

Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal



CONTRAT DE PRESTATIONS N°088/2016/OMVS-IDA-C PGIRE II

**EVALUATION DE LA VULNERABILITE DU BASSIN DU FLEUVE SENEGAL FACE
AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ELABORATION D'UN PLAN POUR
L'ADAPTATION ET LE RENFORCEMENT DE LA RESILIENCE DU BASSIN, AINSI
QUE L'ACTUALISATION DES MODELES DE GESTION DES RESSOURCES
HYDRIQUES UTILISES PAR L'OMVS**

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE (VE)

ARTELIA Eau & Environnement
Branche RESSOURCES EN EAU ET RISQUES NATURELS
6 rue de Lorraine
38130 - Echirolles, France
Tel. : +33 (0) 4 76 33 40 00
Fax : +33 (0) 4 76 33 43 33



PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

N°8 41 1203 – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changements Climatiques					
R2 – Rapport du diagnostic d'évaluation de la vulnérabilité					
Version	Description	Rédaction	Vérifié	Approuvé	Date
E	Prise en compte des remarques de l'atelier régional à Nouakchott, 25-26/04/2018	JRL et les experts	JRL		25/05/2018
D	Prise en compte des remarques des ateliers CNC et CLC	JRL et les experts	JRL		09/04/2018
C	Prise en compte des remarques du Client	JRL et les experts	JRL		22/12/2017
B	Compléments	JRL et les experts	JRL		30/09/2017
A	Création du document	JRL et les experts	JRL		07/07/2017

SOMMAIRE

ABREVIATIONS	I
OBJET DE L'ETUDE ET DU RAPPORT	IV
SYNTHESE ET CONCLUSIONS	V
1. INTRODUCTION	1
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS DU RAPPORT	1
1.2. ZONE D'ETUDE - LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL	2
1.3. OBJECTIF DU PRESENT RAPPORT	2
1.4. ORGANISATION DU RAPPORT	3
2. LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL	4
2.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE SENEGAL	4
2.1.1. LES PRINCIPAUX AFFLUENTS DU FLEUVE SENEGAL	5
2.1.1.1. Le Bafing	5
2.1.1.2. Le Konkouré	6
2.1.1.3. Le Bakoye	6
2.1.1.4. Le Baoulé	6
2.1.1.5. La Falémé	6
2.1.1.6. La Kolimbiné	6
2.1.1.7. Le Karakoro	7
2.1.1.8. Les affluents du Sénégal inférieur	7
2.1.2. LES DEFLUENTS DU SENEGAL INFERIEUR	7
2.1.2.1. Lac de Guiers	8
2.1.2.2. Le lac d'Aleg et de Mâle, région du Brakna	8
2.1.2.3. Lac de Rkiz	9
2.1.3. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL	9
2.2. APPROCHE PAR SOUS-BASSINS	10
3. VISITES DE TERRAIN ET COLLECTE DE DONNEES COMPLEMENTAIRES (T2.1)	12
3.1.1. ANALYSE DOCUMENTAIRE	12
3.1.1.1. Présentation des rapports OMVS	12
3.1.1.2. Présentation de la Monographie du fleuve Sénégal	13
3.1.1.3. Présentation des rapports nationaux dans le cadre de la CCNUCC	14
3.1.1.4. Récupération des modèles de gestion de l'OMVS	15
3.1.1.5. Récupération de couches SIG et d'images satellites	16
3.1.2. COLLECTE DE DONNEES HYDRO-CLIMATOLOGIQUES	17
3.1.2.1. Présentation des données pluviométriques	18

3.1.2.2. Présentation des autres données climatologiques	29
3.1.2.3. Présentation des données hydrologiques	30
3.1.2.4. Présentation des données piézométriques	32
3.1.3. COLLECTE DES DONNEES SOCIOECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES	33
3.1.3.1. Présentation des données socioéconomiques	33
3.1.3.2. Présentation des données environnementales	34
3.1.3.3. Documentation sur les microprojets financés dans le cadre du GEF	36
3.1.4. VISITE DE TERRAIN ET ENQUETES	37
3.1.4.1. Déroulement des visites de CNC	37
3.1.4.2. Déroulement des visites des CLC	39
3.1.4.3. Déroulement des enquêtes	42
3.1.4.4. Visites des microprojets financés dans le cadre de la phase 1 du projet GEF	43

4. IDENTIFICATION DES TENDANCES CLIMATIQUES ACTUELLES ET SCENARIOS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

(T2.2) 48

4.1. CLIMAT DU BASSIN DU FLEUVE SENEGAL 48

4.2. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES (T2.2) 49

4.2.1. ANALYSE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES	49
4.2.1.1. SB1- Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali	50
4.2.1.2. SB2- Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé	52
4.2.1.3. SB3- Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé	54
4.2.1.4. SB4- La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal	57
4.2.1.5. SB5- Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel	59
4.2.1.6. SB6- Le Sénégal moyen de Bakel à Podor	63
4.2.1.7. SB7- Le Sénégal aval de Podor à l'océan	64
4.2.1.8. Analyse synthétique des cycles saisonniers des précipitations	67
4.2.1.9. Analyse synthétique de la variabilité interannuelle des précipitations	68
4.2.1.10. Synthèse de l'analyse pluviométrique sur le BFS	69
4.2.2. ANALYSE DES AUTRES DONNEES CLIMATOLOGIQUES	71
4.2.2.1. Analyse des températures	71
4.2.2.2. Analyse des données de vitesse du vent	73
4.2.2.3. Analyse de l'humidité relative	74
4.2.2.4. Synthèse climatique du BFS	74
4.2.3. ANALYSE DES DEBITS ET NIVEAUX	75
4.2.3.1. SB1- Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali	82
4.2.3.2. SB2- Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé	86
4.2.3.3. SB3- Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé	90
4.2.3.4. SB4- La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal	95
4.2.3.5. SB5- Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel	99
4.2.3.6. SB6- Le Sénégal moyen de Bakel à Podor	105
4.2.3.7. SB7- Le Sénégal aval de Podor à l'océan	105
4.2.3.8. Synthèse de l'analyse des débits	106
4.2.4. ANALYSE PAR LA METHODE SPEED	106
4.2.4.1. Présentation de la méthode SPEED	107
4.2.4.2. Détermination des pivots	108

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

4.2.4.3. Ajustements probabilistes des séries annuelles de pluies	114
4.2.4.4. Relation pluie-débits	115
4.2.4.5. Détermination des apports naturels annuels pour différentes périodes de retour	123
4.2.5. ANALYSE DES DONNEES PIEZOMETRIQUES	125
4.2.5.1. Présentation des différentes nappes	125
4.2.5.2. Paramètres et données sur les nappes	126
4.3. EVALUATION PAR SOUS-BASSIN DE LA PERCEPTION DU CLIMAT ET DE SES IMPACTS PAR LES POPULATIONS (T2.7)	130
4.3.1.1. SB1 – Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali	131
4.3.1.2. SB2- Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé	133
4.3.1.3. SB3- Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé	133
4.3.1.4. SB4- La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal	134
4.3.1.5. SB5- Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel	134
4.3.1.6. SB6- Le Sénégal moyen de Bakel à Podor	135
4.3.1.7. SB7- Le Sénégal aval de Podor à l'océan	136
4.3.1.8. Conclusions de l'enquête	137
4.4. PREDICTION DES EVOLUTIONS CLIMATIQUES : TENDANCE FUTURE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.2)	137
4.4.1. RESULTATS DES ETUDES ANTERIEURES	137
4.4.2. APPROCHE MISE EN ŒUVRE POUR LES PREDICTIONS CLIMATIQUES	138
4.4.3. EXPLOITATION DES MODELES GLOBAUX ET REGIONAUX – TENDANCES CLIMATIQUES	138
4.4.3.1. Les projections de température	139
4.4.3.2. Les projections de pluies	140
4.4.3.3. Projections de la pluviométrie interannuelle	145
4.4.3.4. Synthèse sur les projections climatiques	146
4.4.4. IMPACT SUR LES ECOULEMENTS	146
4.4.4.1. Impact sur les écoulements de surface	146
4.4.4.2. Impact sur les écoulements souterrains	148
4.4.4.3. Impact sur l'évaporation et l'évapotranspiration	149
4.4.4.4. Impact sur le fleuve à l'aval du barrage de Diama	150
5. ANALYSE DIAGNOSTIQUE GLOBALE DE LA VULNERABILITE DU BASSIN AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	152
5.1. ETAT DES LIEUX DES SECTEURS ECONOMIQUES, SOCIAUX ET DES ECOSYSTEMES (T2.6)	152
5.1.1. CARACTERISATION SOCIALE DU BASSIN	152
5.1.1.1. La population	152
5.1.1.2. La santé	153
5.1.1.3. Des populations très vulnérables aux changements climatiques	154
5.1.2. LES GRANDS SECTEURS ECONOMIQUES	155
5.1.2.1. Agriculture	155
5.1.2.2. AEP, Elevage et Industries	160
5.1.2.3. Pêche	165
5.1.2.4. Energie	166
5.1.2.5. Navigation	167
5.1.2.6. Autres secteurs d'activités (tourisme, exploitation forestière...)	168

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

5.1.2.7. Situation par sous bassin versant _____	168
5.1.3. LE SECTEUR ENVIRONNEMENTAL _____	178
5.1.3.2. Présentation des écosystèmes sur le bassin _____	182
5.1.3.3. Situation par sous bassin versant _____	183
5.2. ZONES VULNERABLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.4) _____	191
5.2.1. ANALYSE A PARTIR D'IMAGES SATELLITES _____	191
5.2.2. ANALYSE DE LA VULNERABILITE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES PAR PAYS _____	198
5.2.2.1. Guinée _____	198
5.2.2.2. Mali _____	203
5.2.2.3. Mauritanie _____	210
5.2.2.4. Sénégal _____	210
5.2.3. EVALUATION DE LA VULNERABILITE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU BFS _____	214
5.3. ANALYSE DES IMPACTS POTENTIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES GRANDS SECTEURS ECONOMIQUES ET LES ECOSYSTEMES (T2.6) _____	215
5.3.1. EVALUATION DE L'IMPACT SUR LES GRANDS SECTEURS ECONOMIQUES _____	215
5.3.1.1. Agriculture _____	216
5.3.1.2. Elevage _____	220
5.3.1.3. AEP et Industries _____	220
5.3.1.4. Pêche _____	220
5.3.1.5. Navigation _____	221
5.3.1.6. Energie _____	221
5.3.1.7. Exploitation forestière _____	221
5.3.1.8. Tourisme _____	222
5.3.1.9. Conclusion _____	222
5.3.2. EVALUATION DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT _____	222
5.3.2.1. Evaluation globale _____	222
5.3.2.2. Situation par sous bassin versant _____	223
5.4. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES BARRAGES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.5) _____	227
5.4.1. PRESENTATION DES BARRAGES EXISTANTS _____	227
5.4.1.1. Barrage de Manantali _____	227
5.4.1.2. Barrage de Félou _____	230
5.4.1.3. Barrage de Diama _____	230
5.4.1.4. Commentaire sur le stockage d'eau _____	232
5.4.2. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES BARRAGES DE DIAMA, FELOU ET MANANTALI AU CHANGEMENT CLIMATIQUE _____	232
5.4.2.1. Manantali _____	232
5.4.2.2. Félou _____	233
5.4.2.3. Diama _____	233
5.4.3. ANALYSE DES MODES DE GESTION _____	233
5.4.3.1. Règles de gestion du barrage de Manantali _____	233
5.4.3.2. Règles de gestion du barrage de Félou _____	236
5.4.3.3. Règles de gestion du barrage de Diama _____	236
5.4.3.4. Gestion coordonnée _____	238
5.4.3.5. Tableau de bord _____	239
5.4.3.6. Conclusion sur les modèles de gestion de l'OMVS _____	240

5.5. MODELISATION RESSOURCES-BESOINS, SIMULATION DES SCENARIOS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.3)	241
5.5.1. LES LOGICIELS DE MODELISATION RESSOURCES-BESOINS	241
5.5.2. PRESENTATION DU LOGICIEL RETENU ET DE LA METHODOLOGIE	243
5.5.2.1. Présentation du logiciel	243
5.5.2.2. Présentation du modèle	245
5.5.3. ANALYSE DES RESULTATS	270
5.5.3.1. Analyse de la demande pour les besoins actuels et futurs	270
5.5.3.1. Scénarios de référence	272
5.5.3.2. Impact de la priorisation de l'Hydroélectricité	302
5.5.3.3. Impact de la priorisation de la crue artificielle.	307
5.5.3.4. Impact de la priorisation de l'Irrigation	314
5.5.3.5. Impact de la priorisation de la navigation.	319
5.5.3.6. Synthèse des résultats des scénarios complémentaires	324
5.5.3.7. Scénario « tendanciel »	327
6. EVALUATION DE LA PREPARATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	332
6.1. EVALUATION DE LA PREPARATION DES ETATS A LA PRISE EN CHARGE DE LA VARIABILITE ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AINSI QUE DES MESURES D'ADAPTATION ET D'ATTENUATION (EXISTANTES ET EN COURS DE MISE EN ŒUVRE DANS LE BASSIN) (T2.8)	332
6.1.1. MESURES D'ATTENUATION A L'ECHELLE DU BASSIN	332
6.1.1.1. La Guinée	333
6.1.1.2. Le Mali	334
6.1.1.3. La Mauritanie	335
6.1.1.4. Le Sénégal	335
6.1.2. STRATEGIES D'ADAPTATION DES ETATS MEMBRES	337
6.1.2.1. Guinée	337
6.1.2.2. Mali	340
6.1.2.3. Mauritanie	342
6.1.2.4. Sénégal	343
6.1.3. MESURES D'ADAPTATION A L'ECHELLE DU BASSIN	347
6.2. EVALUATION DES MICRO-PROJETS FINANCES DANS LE CADRE DE LA PHASE 1 DU PROJET GEF ET MIS EN ŒUVRE PAR LES POPULATIONS A TRAVERS DES OCB (T2.9)	348
6.2.1. CHOIX DES MICRO-PROJETS	348
6.2.1.1. Présentation des micro-projets	348
6.2.2. EVALUATION DES MICROPROJETS	349
6.2.2.1. Aspect financier	349
6.2.2.2. Pertinence du projet	349
6.2.2.3. Analyse socioéconomique des microprojets	350
6.2.2.4. Cadre institutionnel	359
6.3. CONCLUSION SUR L'EVALUATION DE LA PREPARATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	360

7. CONCLUSION SUR LA VULNERABILITE DU BASSIN DU FLEUVE SENEGAL AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES _____ 362

ANNEXE 1 : COMPTES-RENDUS DES REUNIONS AVEC LES CNC

ANNEXE 2 : COMPTES-RENDUS DES REUNIONS AVEC LES CLC

ANNEXE 3 : DOCUMENTATION DU SYSTEME HYDROLOGIQUE SPEED

ANNEXE 4 : BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE 5 : COMPTE-RENDUS DES ATELIERS NATIONAUX

TABLEAUX

Tableau I - Evolution de la pluviométrie sur la Bassin du fleuve Sénégal entre 1950-1971 et 1972- 2000 (source : ce rapport)	X
Tableau II - Moyenne mensuelle à Matam sur les périodes 1918-1971 et 1972-2007 (mm) (source : ce rapport)	XI
Tableau III – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Bafing à Bafing Makana sur 2 périodes distinctes (1904-1969 ; 1970-2016) (source : ce rapport)	XIV
Tableau IV – Hauteurs d'eau actuelles et projetées dans l'estuaire du Sénégal (source : thèse de Moussa Sall)	XVIII
Tableau V - Production intérieure de 1985 à 1992 (Tonnes) (source : Ministère de l'Economie et Finances (1993))	XIX
Tableau VI – Priorisation des besoins en eau pour les scénarios complémentaires telle que paramétrée dans WEAP (source : ce rapport)	XXII
Tableau VII – Synthèse des scénarios analysés (source : ce rapport)	XXIII
Tableau VIII – Demandes totales et non satisfaites, en volume (Mm ³) et pourcentage de la demande totale, pour les besoins actuels et futurs selon les différents scénarios climatiques et de gestion de la ressource (référence 4 barrages et 8 barrages) (source : ce rapport)	XXIV
Tableau IX – Production hydroélectrique annuelle moyenne (en GWh) pour l'ensemble des scénarios étudiés (source : ce rapport)	XXV
Tableau X – Synthèse des respects des débits environnementaux et de navigation (source : ce rapport)	XXXIII
Tableau XI – Synthèse des respects des débits minima à Diama (source : ce rapport)	XXXIV
Tableau XII – Impacts sur les gestions de la ressource en eau pour chaque priorisation moyenne : (i) Hydroélectricité, (ii) Crue artificielle ROCHE, (iii) Crue artificielle POGR, (iv) Irrigation et (v) Navigation. (source : ce rapport)	XXXV
Tableau XIII – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec deux priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental, Hydroélectricité et Irrigation (Scénario tendanciel). (source : ce rapport)	XXXVI
Tableau XIV – Comparaison de la production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) du débit environnemental, de l'hydroélectricité et de l'irrigation. (source : ce rapport)	XXXVII
Tableau XV – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _ Priorité moyenne donnée au Débit environnemental, à l'Irrigation et à l'Hydroélectricité. (source : ce rapport)	XXXVIII

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Tableau 1- Informations sur les modèles récupérées lors de la réunion du 13 janvier 2017.....	15
Tableau 2- Les principales stations pluviométriques sur le sous bassin du Bafing amont (en jaune les stations utilisées dans l'analyse)	19
Tableau 3- Présentation des stations pluviométriques sur le Bafing aval (en jaune les stations utilisées dans l'analyse).....	20
Tableau 4 - Présentation des stations pluviométriques sur le Bakoye (en jaune les stations utilisées dans l'analyse).....	21
Tableau 5 - Présentation des stations pluviométriques sur la Falémé (en jaune les stations utilisées dans l'analyse).....	23
Tableau 6 - Présentation des stations pluviométriques sur le Sénégal amont (en jaune les stations utilisées dans l'analyse).....	25
Tableau 7 - Présentation des stations pluviométriques sur le Sénégal moyen (en jaune les stations utilisées dans l'analyse).....	27
Tableau 8 - Présentation des stations pluviométriques sur le Sénégal aval (en jaune les stations utilisées dans l'analyse).....	29
Tableau 9 - Présentation des stations hydrométriques fournies par l'OMVS.....	30
Tableau 10 - Présentation des stations hydrométriques récupérées sur le site du SIEREM	31
Tableau 11 – Déroulement de la mission de visite des CNC	37
Tableau 12 – Déroulement de la mission de visite des CLC.....	40
Tableau 13 - Présentation des microprojets effectivement visités et audités	44
Tableau 14 – Moyenne mensuelle des stations du Bafing Amont (mm).....	51
Tableau 15- Moyenne mensuelle à Sagabari sur les périodes 1950 - 1972 et 1972 - 2000 (mm).....	52
Tableau 16 - Moyenne mensuelle des stations du Bafing aval (mm)	53
Tableau 17 - Moyenne mensuelle à Bafoulabé sur les périodes 1931-1973 et 1973-2000 (mm).....	54
Tableau 18 - Moyenne mensuelle des stations du Bakoye (mm)	55
Tableau 19 - Moyenne mensuelle à Kita sur les périodes 1931-1971 et 1971-2000 (mm)	57
Tableau 20 - Moyenne mensuelle des stations de la Falémé (mm)	58
Tableau 21 - Moyenne mensuelle à Kidira sur les périodes 1918-1971 et 1971-2007 (mm)	59
Tableau 22 - Moyenne mensuelle des stations du Sénégal amont (mm).....	60
Tableau 23 - Moyenne mensuelle à Kayes sur les périodes 1891-1971 et 1971-2000 (mm)	62
Tableau 24 - Moyenne mensuelle à Bakel sur les périodes 1856-1971 et 1971-2007 (mm)	62
Tableau 25 - Moyenne mensuelle des stations du Sénégal moyen (mm)	63
Tableau 26 - Moyenne mensuelle à Matam sur les périodes 1918-1971 et 1972-2007 (mm)	64
Tableau 27 - Moyenne mensuelle des stations du Sénégal aval (mm)	65
Tableau 28 - Moyenne mensuelle à Podor sur les périodes 1919-1970 et 1971-2007 (mm).....	67
Tableau 29 – Evolution de la pluviométrie sur la Bassin du fleuve Sénégal entre 1950-1971 et 1972- 2000	69
Tableau 30 – Moyenne des températures maximales et minimales mensuelles (°C) (source : ce rapport)...	71
Tableau 31 – Vitesses moyenne et directions du vent (1971 – 2009) (source : ce rapport).....	74
Tableau 32 - Humidité relative - Moyennes mensuelles (%) à Mamou, Labé, et Siguiri (source : ce rapport)	74
Tableau 33 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Bafing à Bafing Makana sur 2 périodes distinctes (1904-1969 ; 1970-2016).....	84
Tableau 34 – Quantiles d'apports en eau annuel Qan(T) (m ³ /s) sur les 2 périodes pour la station du Bafing à Bafing Makana.....	86
Tableau 35 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Bafing à Dibia sur 2 périodes distinctes (1904-1969 ; 1970-2016).....	88
Tableau 36 – Quantiles d'apports en eau annuel Qan(T) (m ³ /s) sur les 2 périodes pour la station du Bafing à Dibia.....	90

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Tableau 37 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Bakoye à Oualia sur 3 périodes distinctes (1904-1971 ; 1972-1993 ; 1994-2010).....	92
Tableau 38 – Quantiles d’apports en eau annuel Qan(T) (m3/s) sur les 3 périodes pour la station du Bakoye à Oualia.....	94
Tableau 39 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits de la Falémé à Kidira sur 3 périodes distinctes (1904-1967 ; 1968-1993 ; 1994-2016).....	97
Tableau 40 – Quantiles d’apports en eau annuels Qan(T) (m3/s) sur les 3 périodes pour la station du Falémé à Kidira.....	99
Tableau 41 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Sénégal à Bakel sur trois périodes distinctes (1904-1971 ; 1972-1992 ; 1993-2016).....	102
Tableau 42 – Quantiles d’apports en eau annuel Qan(T) (m3/s) sur les 3 périodes pour la station du Sénégal à Bakel.....	104
Tableau 43 – Hauteurs d’eau maximales annuelles à Siant-Louis (1964-2003) (source : thèse de Moussa Sall).....	106
Tableau 44 – Résultats de la synthèse régionale, pivots des pluies annuelles	111
Tableau 45 – Sensibilité du calcul des pluies fréquentielles à une erreur sur les pivots	113
Tableau 46 – Précipitation annuelle pour différentes périodes de retour sur les stations représentatives des sous-bassins du fleuve Sénégal.....	115
Tableau 47 – Résultats des L sur la période avant et après 1971 et sur la période totale	119
Tableau 48 – Résultats de l’analyse de la stabilité spatiale de la relation	122
Tableau 49 – Apports naturels annuels du Bafing à Bafing Makana calculés par SPEED.....	125
Tableau 50 – Apports naturels annuels du Bafing au barrage réservoir de Manantali calculés par SPEED.....	125
Tableau 51 – Comparaison des mesures piézométriques entre 1964 et 2011 (source : thèse Ahmed Salem Mohamed).....	128
Tableau 52 – Modules caractéristiques des apports aux sous-bassins en amont de Bakel sur les périodes 1970-1990, 1990-2010 et selon les prédictions sans correction du biais	148
Tableau 53 – Hauteurs d’eau actuelles et projetées dans l’estuaire du Sénégal (source : thèse de Moussa Sall).....	150
Tableau 54 – Répartition de la démographie dans le Bassin versant entre les Etats riverains (source : Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière)	152
Tableau 55 – Occupations des populations du bassin par activités principales et secondaires (en %) (source : MCG 2011)	153
Tableau 56 - Besoins actuels en eau d’irrigation (source : SDAGE du fleuve Sénégal, 2011)	158
Tableau 57 - Prévisions d’extensions des superficies irriguées à l’horizon 2025 (source : Monographie du fleuve Sénégal, FAO 2009)	159
Tableau 58 - Prévisions d’extensions des superficies irriguées à l’horizon 2025 par sous bassin (source : Monographie du fleuve Sénégal, FAO 2009)	159
Tableau 59 - Superficies irriguées et consommation d’eau par sous bassin	160
Tableau 60 - Quantités d’eau prélevées par les sociétés d’exploitation (source : Monographie du fleuve Sénégal)	161
Tableau 61 - Estimation des besoins actuels et futurs en AEP, élevage et industrie minière (source : SDAGE du fleuve Sénégal, 2011).....	162
Tableau 62 - Estimation des besoins actuels et futurs en AEP, élevage et industrie minière réparties par sous bassin (source : SDAGE du fleuve Sénégal, 2011).....	162
Tableau 63 - Production intérieure de 1985 à 1992 (Tonnes) (source : Ministère de l’Economie et Finances (1993))	165
Tableau 64 - Principales zones de pêches (source : SDAGE).....	166
Tableau 65 – Potentiel de puissance et d’énergie sur le bassin du fleuve Sénégal (source OMVS)	167
Tableau 66 – Vulnérabilité de la Guinée aux changements climatiques (source : PANA)	198

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Tableau 67 – Conséquences et tendances des changements climatiques en Guinée (source : PANA)	199
Tableau 68 – Barème de l'ampleur des risques (source : PANA du Mali)	204
Tableau 69 – Evaluation des secteurs les plus vulnérables (source : PANA du Mali).....	204
Tableau 70 Dégradation des écosystèmes au Mali (source : PANA du Mali).....	207
Tableau 71 – Prévisions d'augmentation de la population et de la consommation d'eau à Dakar	211
Tableau 72 – Vulnérabilité des zones côtières sénégalaises avec, en rouge, les principaux éléments de vulnérabilité (source : PANA)	214
Tableau 73- Informations relatives aux modèles de gestion de l'OMVS.....	240
Tableau 74 – Stations hydrométriques clés par sous bassin versant	246
Tableau 75 – Répartition du débit pour l'Oued Ghorfa, le Niorde et le Gorgol	247
Tableau 76 – Dynamique de la superficie saisonnière du lac de Mâle	248
Tableau 77 – Apports mensuels du fleuve vers le Lac de Guiers (source : Fonctionnement et bilan hydrologique du lac de Guiers en 1991).....	248
Tableau 78 – Evaporation moyenne mensuelle sur le tronçon Bakel-Diama (source Bader et al. 2003)	250
Tableau 79 – Récapitulatif des caractéristiques de production hydroélectrique des barrages actuels et en projet (source : SDAGE et OMVS)	252
Tableau 80 - Lois hauteur/volume et hauteur/surface de la retenue de Boureya (source : SDAGE)	256
Tableau 81 - Retenue de Boureya – pertes brutes, pertes nettes et apports – moyennes mensuelles	256
Tableau 82 - Lois hauteur/volume et hauteur/surface de la retenue de Gourbassi (source : SDAGE)	258
Tableau 83 - Lois hauteur/volume et hauteur/surface de la retenue de Koukoutamba (source : SDAGE) ..	259
Tableau 84- Retenue de Koukoutamba – pertes mensuelles nettes (source : Coyne et Bellier)	259
Tableau 85 - Lois hauteur/volume et hauteur/surface de la retenue (source : SDAGE).....	260
Tableau 86 - Retenue de Manantali – pertes mensuelles nettes (source : SDAGE).....	260
Tableau 87 – Besoins actuels et futurs pour l'irrigation (Mm ³) (source : SDAGE).....	263
Tableau 88 – Synthèse des besoins annuels actuels (2010) et en projection 2025 et 2075 pour les usages en AEP, élevage et industrie minière	264
Tableau 89 – Correspondance entre les volumes de crue minimum à Bakel et les superficies potentiellement cultivables pour les cultures de décrue (Source : IRD)	265
Tableau 90 – Synthèse des Scénarios modélisés dans WEAP.....	267
Tableau 91 – Synthèse des besoins en eau 'Actuel', 'Projection 2025' et 'Projection 2075' tel que paramétrés dans WEAP.	268
Tableau 92 – Priorisation des besoins en eau telle que paramétrée dans WEAP.	269
Tableau 93 – Priorisation des besoins en eau pour les scénarios complémentaires telle que paramétrée dans WEAP.	270
Tableau 94 – Contribution à la demande annuelle par usage pour les besoins actuels et en projection 2025 et 2075.	272
Tableau 95 – Synthèse des scénarios analysés sur la période humide.	272
Tableau 96 – Synthèse des variations de réserve mensuelle des barrages-réservoirs du BFS.	278
Tableau 97 – Synthèse des évaporations nettes mensuelles des barrages-réservoirs du BFS.....	278
Tableau 96 – Non-satisfaction de la demande par usage pour les scénarios de gestion de référence 4 barrages et 8 barrages au pas de temps mensuel.....	280
Tableau 98 – Non-satisfaction de la demande à l'aval du prélèvement pour l'irrigation Richard Toll et un rappel pour cet usage uniquement pour les scénarios de gestion de référence 4 barrages et 8 barrages au pas de temps mensuel.....	281
Tableau 97 – Synthèse des scénarios analysés sur la période sèche.	282
Tableau 98 – Non-satisfaction de la demande par usage pour les scénarios de gestion de référence 4 barrages et huit barrages ; besoins actuels et en projection 2025 et 2075 ; sur la période humide et la période sèche	287

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Tableau 99 – Demandes totales et non satisfaites, en volume (Mm ³) et pourcentage de la demande totale, pour les besoins actuels et futurs selon les différents scénarios climatiques et de gestion de la ressource (référence quatre barrages et huit barrages)	289
Tableau 100 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion de référence (quatre barrages) - besoins actuels - sur la période humide et la période sèche.....	290
Tableau 101 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins actuels et en projection 2025 sur la période humide.....	291
Tableau 102 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins actuels et en projection 2075 sur la période sèche.....	292
Tableau 103 – Production hydroélectrique annuelle moyenne (en GWh) pour l'ensemble des scénarios étudiés	293
Tableau 104 – Volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali pour l'ensemble des scénarios étudiés	295
Tableau 105 – Synthèse des respects des débits environnementaux et de navigation	298
Tableau 106 – Synthèse des respects des débits minima à Diama	301
Tableau 107 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec deux priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental et Hydroélectricité	302
Tableau 108 – Comparaison de la production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) du débit environnemental et de l'hydroélectricité.....	305
Tableau 109 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _ Priorité moyenne donnée à l'Hydroélectricité.	307
Tableau 110 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec trois priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) crue artificielle selon ROCHE et (iii) crue artificielle POGR.....	308
Tableau 111 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) de la crue artificielle selon ROCHE et (III) selon POGR.	311
Tableau 112 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _ Priorité moyenne Crue artificielle.....	313
Tableau 113 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec deux priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental et Irrigation.....	315
Tableau 114 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) de débit environnemental et de l'irrigation.	317
Tableau 115 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _ Priorité moyenne Irrigation.....	319
Tableau 116 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec 2 priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental et Navigation.....	320
Tableau 117 – Comparaison de la production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (II) du débit environnemental et de la navigation.	322
Tableau 118 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _ Priorité Navigation.	323
Tableau 119 – Impacts sur les gestions de la ressource en eau pour chaque priorisation moyenne : (i) Hydroélectricité, (ii) Crue artificielle ROCHE, (iii) Crue artificielle POGR, (iv) Irrigation et (v) Navigation.	326
Tableau 120 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec deux priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental, Hydroélectricité et Irrigation (Scénario tendanciel).....	327

Tableau 121 – Comparaison de la production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) du débit environnemental, de l'hydroélectricité et de l'irrigation.	329
Tableau 122 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _ Priorité moyenne donnée au Débit environnemental, à l'Irrigation et à l'Hydroélectricité.	330
Tableau 123 - Objectifs d'atténuation des contributions du Mali (source : CPDN Mali, Septembre 2015)...	335
Tableau 124- Objectifs d'atténuation des contributions de la Mauritanie (source : CPDN Mauritanie, Septembre 2015).....	335
Tableau 125- Objectifs d'atténuation des contributions inconditionnelle et conditionnelle (source : CPDN Sénégal, Septembre 2015).....	336

FIGURES

Figure I – Le bassin du fleuve Sénégal (source : SDAGE du BFS)	V
Figure II – Le découpage du bassin du fleuve Sénégal en sept sous-bassins (source OMVS)	VI
Figure III – Les zones climatiques du bassin du fleuve Sénégal (source : OMVS)	VIII
Figure IV – Cumul annuel à la station de Matam (1918-2007) (source : ce rapport).....	IX
Figure V – Anomalies normalisées des cumuls annuels des précipitations de la station de Kita (source : ce rapport)	IX
Figure VI –Taux de réduction de la pluviométrie par sous bassin entre la période avant et après 1971 (source : ce rapport)	X
Figure VII – Cycle saisonnier des moyennes mensuelles de précipitations (mm) sur les stations sélectionnées (source : ce rapport)	XI
Figure VIII – Evolution des températures annuelles moyennes aux stations de Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis (source : ce rapport).....	XII
Figure IX – Simple cumul des débits mensuels du Bafing à Bafing Makana (mai 1903 – mars 2017) (source : ce rapport)	XIII
Figure X – Débits moyens annuels du Bafing à Bafing Makana (source : ce rapport)	XIII
Figure XI – Variations de précipitations moyennes mensuelles climatologiques - Simulations historiques corrigées 1975-2004 (noir), projections futures avec RCP4.5 (bleu) et RCP8.5 (rouge) : 2021-2050 (courbes continues) et 2071-2100 (courbes étoilées) (source : ce rapport).....	XVI
Figure XII – Localisation des sites de demande en eau tel que paramétrés dans le modèle WEAP (source : ce rapport)	XXIII
Figure XIII – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence 4 barrages – besoins actuels pour la période humide (source : ce rapport).....	XXVI
Figure XIV – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins actuels pour la période humide (source : ce rapport)	XXVII
Figure XV – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence 4 barrages – besoins 2025 pour la période humide.....	XXVIII
Figure XVI – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins 2025 pour la période humide (source : ce rapport).....	XXIX
Figure XVII – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins 2075 pour la période sèche (source : ce rapport)	XXX
Figure XVIII – Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les 4 scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025 (source : ce rapport)	XXXI
Figure XIX – Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période sèche sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2075 (source : ce rapport)	XXXI

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Figure XX – Débits mensuels (m ³ /s) simulés à Bakel sous besoins actuels pour les scénarios de gestion de la ressource de référence 4 barrages (bleu) et huit barrages (en rouge) et avec les besoins en projection 2025 4 barrages (en orange) et 8 barrages (en vert) sur une période humide de 20 ans (source : ce rapport)	XXXII
Figure XXI – Superficie des cultures de décrue en période humide sur une période de 20 ans pour les quatre scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025. (source : ce rapport)	XXXIII
Figure XXII – Comparaison du volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (en vert), (II) du débit environnemental, de l'irrigation et de l'hydroélectricité (en violet). (source : ce rapport)	XXXVII
Figure 1. Le bassin du fleuve Sénégal (source : Actualisation de la Monographie du fleuve Sénégal, OMVS, 2012)	4
Figure 2. Localisation des lacs sur la partie aval du BFS (source : Google et ce rapport)	7
Figure 3. Le découpage du bassin du fleuve Sénégal en sept sous-bassins (source : ce rapport)	11
Figure 4. Carte de localisation des stations hydro-climatiques sur le bassin versant du Sénégal (source : ce rapport)	18
Figure 5. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le sous bassin versant du Bafing Amont (source : ce rapport)	19
Figure 6. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Bafing aval (source : ce rapport)	20
Figure 7. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Bakoye (source : ce rapport)	22
Figure 8. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin de la Falémé (source : ce rapport)	23
Figure 9. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Sénégal amont (source : ce rapport)	26
Figure 10. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Sénégal moyen (source : ce rapport)	28
Figure 11. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Sénégal aval (source : ce rapport)	29
Figure 12. Carte de localisation des stations hydrométriques sur le bassin du Sénégal (source : ce rapport)	32
Figure 13. Carte de localisation des CLC qui étaient projeté de visiter (source : ce rapport)	42
Figure 14. Carte de localisation des zones climatiques (source : OMVS)	48
Figure 15. Migration des isohyètes sur la période 1961-1990 (IED, PRESA – août 2015)	49
Figure 16. Graphique du double cumul des stations de Sagabari et de Dalaba, 1950-1992 (mm)	50
Figure 17. Graphique du cumul annuel des pluies à la station de Sagabari entre 1950 et 2000	51
Figure 18. Graphique du double cumul des stations de Bafoulabé et de Kassama, 1971-1998 (mm)	52
Figure 19. Graphique du cumul annuel des pluies à la station de Bafoulabé entre 1931 et 1998	53
Figure 20. Graphique du double cumul des stations de Diema et de Oualia, 1950-2000 (mm)	54
Figure 21. Graphique du cumul annuel des pluies à la station de Kita entre 1931 et 2000	56
Figure 22. Graphique du cumul annuel des pluies à la station d'Oualia entre 1950 et 2000	56
Figure 23. Graphique du double cumul des stations de Kidira et de Gourbassi, 1950-1999 (mm)	57
Figure 24. Cumul annuel sur la station de Kidira, 1919 – 2007 (mm)	58
Figure 25. Graphique du double cumul des stations de Kayes et Bakel, 1926-2000 (mm)	59
Figure 26. Cumul annuel sur la station de Bakel, 1918 – 2007 (mm)	61
Figure 27. Cumul annuel sur la station de Kayes, 1926 – 2000 (mm)	61
Figure 28. Graphique du double cumul des stations de M'Bout et de Matam, 1923-2004 (mm)	63
Figure 29. Cumul annuel à la station de Matam (1918-2007)	64

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Figure 30. Graphique du double cumul des stations de Saint-Louis ville et de Saint-Louis aéro, 1950-1999 (mm).....	65
Figure 31. Cumul annuel à la station de Saint-Louis ville (1848-1999) (mm)	66
Figure 32. Cumul annuel à la station de Podor (1923-2007)	66
Figure 33. Cycle saisonnier des moyennes mensuelles de précipitations (mm) sur les stations sélectionnées (source : ce rapport)	67
Figure 34. Anomalies normalisées des cumuls annuels des précipitations de la station de Dalaba (source : ce rapport)	68
Figure 35. Anomalies normalisées des cumuls annuels des précipitations de la station de Kita (source : ce rapport)	69
Figure 36. Taux de réduction de la pluviométrie par sous bassin entre la période avant et après 1971 (source : ce rapport)	70
Figure 37. Evolution des températures annuelles moyennes aux stations de Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis (source : ce rapport).....	72
Figure 38. Évolution des anomalies (par rapport à la normale de 1961-1990) des températures de 1950 à 2014 du Sénégal durant la période fraîche (novembre à mars) en haut et durant la période chaude (avril à octobre) en bas (Source : Sagna et al. (2015))	73
Figure 39. Croisement des données SIEREM et OMVS au pas de temps mensuel sur les périodes communes (source : ce rapport).....	76
Figure 40. Croisement des données SIEREM et OMVS au pas de temps annuel sur les périodes communes (source : ce rapport)	77
Figure 41. Croisement des données de la monographie du BFS et des chroniques OMVS_SIEREM au pas de temps mensuel sur les périodes communes (source : ce rapport)	79
Figure 42. Croisement des données de la monographie du BFS et des chroniques OMVS_SIEREM au pas de temps annuel sur les périodes communes (source : ce rapport)	80
Figure 43. Simple cumul des débits mensuels du Bafing à Bafing Makana (mai 1903 – mars 2017).....	82
Figure 44. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Daka Saidou et de Bafing Makana sur le Bafing (juillet 1903 – mars 2017).....	83
Figure 45. Débits moyens annuels du Bafing à Bafing Makana.....	84
Figure 46. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bafing à Bafing Makana (1904-1969)	85
Figure 47. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bafing à Bafing Makana (1970-2016)	85
Figure 48. Simple cumul des débits mensuels du Bafing à Dibia (mai 1903 – novembre 2011).....	87
Figure 49. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Bafing Makana et de Dibia sur le Bafing (mai 1903 – novembre 2011)	87
Figure 50. Débits moyens annuels du Bafing à Dibia	88
Figure 51. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bafing à Dibia (1904-1969)	89
Figure 52. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bafing à Dibia (1970-2010)	89
Figure 53. Simple cumul des débits mensuels du Bakoye à Oualia (mai 1903 – mars 2017).....	90
Figure 54. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Toukoto (Bakoye) + Siramakana (Baoulé) et d'Oualia (Bakoye) (mai 1903 – avril 2012)	91
Figure 55. Débits moyens annuels du Bakoye à Oualia	92
Figure 56. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bakoye à Oualia (1904-1971)	93
Figure 57. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bakoye à Oualia (1972-1993)	94
Figure 58. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bakoye à Oualia (1994-2016)	94
Figure 59. Simple cumul des débits mensuels du Falémé à Kidira (mai 1903 – mars 2017).....	95
Figure 60. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Gourbassi et de Kidira sur la Falémé (juillet 1903 – mars 2017).....	96
Figure 61. Débits moyens annuels du Falémé à Kidira.....	96

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Figure 62. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Falémé à Kidira (1904-1967)	98
Figure 63. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Falémé à Kidira (1968-1993)	98
Figure 64. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Falémé à Kidira (1994-2016)	98
Figure 65. Simple cumul des débits mensuels du Sénégal à Bakel (mai 1903 – mars 2017)	100
Figure 66. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Kidira (Falémé) + Kayes (Sénégal) et de Bakel (Sénégal) (juin 1953 – mars 2017)	101
Figure 67. Débits moyens annuels du Sénégal à Bakel.....	101
Figure 68. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Sénégal à Bakel (1904-1971)	103
Figure 69. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Sénégal à Bakel (1972-1992)	103
Figure 70. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Sénégal à Bakel (1993-2016)	104
Figure 71. Ajustement des racines carrées des pluies annuelles sur un papier de Gauss	108
Figure 72. Essai d'interception des ellipses avec la valeur $\lambda = 40.5$ sur la partie centrale du BFS sur la période avant 1971	109
Figure 73. Cartographie des valeurs des pivots des stations (source : ce rapport)	110
Figure 74. Répartition des stations pluviométriques sélectionnées (source : ce rapport).....	111
Figure 75. Intervalles des valeurs des pivots avant et après 1971	112
Figure 76. Exemple d'ajustement des stations de la zone centrale sur toutes les périodes.....	114
Figure 77. Illustration de la relation pluies-apports.....	116
Figure 78. Classement des valeurs de L	120
Figure 79. Résultat de l'analyse de la stabilité temporelle de la relation	121
Figure 80. Stabilité spatiale de la relation - graphique	123
Figure 81. Paramètres hydrodynamiques des nappes (source : SDAGE phase I).....	127
Figure 82. Carte piézométrique de la saison sèche 2011 (thèse Ahmed Salem Mohamed).....	129
Figure 83. Elévation des températures globales en degrés Celsius en fonction du temps pour les quatre scénarios RCP (source : KNMI)	138
Figure 84. Prédiction d'évolution des anomalies de températures à la station de Kiffa (source : ce rapport)	139
Figure 85. Prédiction d'évolution des anomalies de températures à la station de Kiffa après correction par la méthode delta (source : ce rapport)	140
Figure 86. Variations de précipitations moyennes mensuelles climatologiques (1975-2004) des données observées (noir), des simulations historiques non corrigées (rouge) et corrigées (bleu) pour les 7 sous-bassins étudiés (source : ce rapport)	142
Figure 87. Variations de précipitations moyennes mensuelle climatologiques - Simulations historiques corrigées 1975-2004 (noir), projections futures avec RCP4.5 (bleu) et RCP8.5 (rouge) : 2021-2050 (courbes continues) et 2071-2100 (courbes étoilées) (source : ce rapport).....	144
Figure 88. Projections de la pluviométrie interannuelle sur la période 2020-2050 (source : ce rapport).....	145
Figure 89. Projections de l'élévation globale du niveau marin (source : GIEC, 2013)	151
Figure 90. Prélèvements mensuels dans le fleuve pour l'irrigation (source : Monographie du fleuve Sénégal)	158
Figure 91. Localisation du parc national du Djoudj (source : Google)	190
Figure 92. Analyse diachronique de l'évolution des périmètres hydroagricoles dans la région du lac de Guiers (source : ce rapport).....	192
Figure 93. Analyse diachronique de l'évolution des plantes aquatiques sur le lac de Guiers (source : ce rapport)	193
Figure 94. Analyse diachronique de l'évolution de la langue de Barbarie (source : ce rapport)	194
Figure 95. Analyse diachronique de l'évolution du couvert forestier en Guinée (source : ce rapport)	196
Figure 96. Photo d'un site d'orpillage sur un cours d'eau	196
Figure 97. Site d'orpillage sur la Falémé dans la région de Koundama au Mali (source : ce rapport)	197

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Figure 98. Evolution de la demande en eau dans les régions (axe des ordonnées : prévision de facturation en m ³)	212
Figure 99. Problématiques environnementales du BFS (source : ce rapport)	224
Figure 100. Le barrage de Manantali vu de la route d'accès	228
Figure 101. Hydrogramme minimal de crue nécessaire à Bakel pour permettre d'irriguer en moyenne 50 000 hectares de cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal (Source : POGR, 2002)	229
Figure 102. Barrage de Diama (source : Artelia).....	231
Figure 103. Interface du modèle WEAP (source : SEI).....	244
Figure 104. Architecture du modèle développé sur le BFS (source : ce rapport)	245
Figure 105. Niveaux moyens journaliers du lac de Guiers de 1985 à 1997.....	249
Figure 106. Présentation du modèle WEAP avec les affluents et les barrages considérés (source : ce rapport)	251
Figure 107. Carte de localisation des barrages existants et en projet dans le BFS (source : ce rapport)....	253
Figure 108. Courbes de fonctionnement du réservoir de Boureya (source : SDAGE)	257
Figure 109. Courbes de fonctionnement du réservoir de Gourbassi (source : SDAGE)	258
Figure 110. Courbes de fonctionnement du réservoir de Koukoutamba (source : SDAGE).....	259
Figure 111. Courbes de fonctionnement du réservoir de Manantali (source : SDAGE)	260
Figure 112. Niveau maximal à respecter dans la retenue pour permettre de laminier les crues du Sénégal à Bakel à 4 500 m ³ /s, (source : POGR).....	262
Figure 113. Niveau minimal à respecter dans la retenue pour permettre d'effectuer le soutien d'étiage désiré (pour des besoins en irrigation égaux à k = un, deux ou trois fois les besoins actuels) (source : POGR) ...	262
Figure 114. Hydrogramme de crue optimisé proposé par ROCHE, volume 8 Mdm ³ , et dans le POGR qui répond à un objectif de culture de décrue sur 50 000 ha – Volume : 4.5 Mdm ³ (source : ce rapport)	266
Figure 115. Crue artificielle (nommée POGR et Navigation) telle que paramétrée dans le modèle WEAP (source : ce rapport)	269
Figure 116. Localisation des sites de demande en eau tel que paramétrés dans le modèle WEAP (source : ce rapport)	271
Figure 117. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence 4 barrages – besoins actuels pour la période humide	273
Figure 118. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence 4 barrages – besoins 2025 pour la période humide.....	274
Figure 119. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins actuels pour la période humide.....	275
Figure 120. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins 2025 pour la période humide	276
Figure 120. Fonctionnement global des retenues des barrages amont – besoins actuels pour la période humide	279
Figure 121. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence quatre barrages – besoins actuels pour la période sèche	284
Figure 122. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins actuels pour la période sèche	285
Figure 123. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins 2075 pour la période sèche	286
Figure 124. Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les 4 scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025.....	293
Figure 125. Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période sèche sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2075	294

Figure 126. Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Diama sur une période humide de 20 ans pour les scénarios de gestion de la ressource de Référence 4 barrages et Huit barrages - besoins actuels et en projection 2025	295
Figure 127. Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Diama sur une période sèche de 20 ans pour le scénario de gestion huit barrages - besoins actuels et en projection 2075	296
Figure 128. Débits mensuels (m ³ /s) simulés à Bakel sous besoins actuels pour les scénarios de gestion de la ressource de référence 4 barrages (bleu) et huit barrages (en rouge) et avec les besoins en projection 2025 4 barrages (en orange) et 8 barrages (en vert) sur une période humide de 20 ans	297
Figure 129. Débits mensuels (m ³ /s) simulés à Bakel sous besoins actuels pour les scénarios de gestion de la ressource de référence 4 barrages (bleu) et huit barrages (en rouge) et avec les besoins en projection 2075 (en vert) sur une période sèche de 20 ans.....	298
Figure 130. Relation entre volume de crue à Bakel (en million de m ³) et les superficies de culture de décrue d'après le SDAGE (en bleu). Relation linéaire pour des volumes de crue inférieurs (en rouge) et supérieurs (en vert) à 5 500 m ³	299
Figure 131. Superficie des cultures de décrue en période humide sur une période de 20 ans pour les quatre scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025.	300
Figure 132. Superficie des cultures de décrue en période sèche sur une période de 20 ans pour les quatre scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025.	301
Figure 133. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne donnée à l'hydroélectricité – besoins 2025 pour la période humide	303
Figure 134. Comparaison du volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (en vert), (II) du débit environnemental et de l'hydroélectricité (en violet).	306
Figure 135. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne à la crue ROCHE – besoins 2025 pour la période humide	309
Figure 136. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne à la crue POGR – besoins 2025 pour la période humide.....	310
Figure 137. Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les trois scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec (I) une priorisation de la production hydroélectrique (en vert), (II) de la crue artificielle selon ROCHE (en orange) et (III) selon POGR (en violet).	312
Figure 138. Superficie des cultures de décrue en période humide pour des besoins 2025 sur une période de 20 ans avec 3 priorisations différentes : (i) Débit environnemental, (ii) crue artificielle selon ROCHE et (iii) crue artificielle POGR.	314
Figure 139. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne irrigation – besoins 2025 pour la période humide	316
Figure 140. Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (en vert), (II) du débit environnemental et de l'irrigation (en bleu).	318
Figure 141. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne navigation – besoins 2025 pour la période humide.....	321
Figure 142. Volume stocké (Md m ³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne du seul débit environnemental (en vert), du débit environnemental et de la navigation (en bleu).	322
Figure 143. Superficie des cultures de décrue en période humide pour des besoins 2025 sur une période de 20 ans avec 2 priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnement et Navigation.....	324

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Figure 144. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne donnée à l’hydroélectricité, l’irrigation et le débit environnemental – besoins 2025 pour la période humide 328

Figure 145. Comparaison du volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (en vert), (II) du débit environnemental, de l’irrigation et de l’hydroélectricité (en violet)..... 330

ABREVIATIONS

ADRS	Agence de Développement Rural de la vallée du fleuve Sénégal (Mali)
ADT	Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière
AEDD	Agence de l'Environnement et du Développement Durable (Mali)
AEP	Approvisionnement en Eau Potable
AGR	Activité Génératrice de Revenu
AME	Accords Multilatéraux sur l'Environnement
ANACIM	l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
APS	Avant-Projet Sommaire
AR5	5 ^{ème} rapport du GIEC
BE	Bureau d'Etude
BFS	Bassin du Fleuve Sénégal
BGGA	Bureau Guinéen de Géologie Appliquée
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BV	Bassin versant
CADL	Centre d'Appui au Développement Local
CC	Changement Climatique
CCUNCC	Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CDN	Contribution Déterminée Nationale
CILSS	Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CIP	Centre International de la Pomme de terre
CLC	Comité Local de Coordination
CMIP5	Couple Model Intercomparison Project, phase 5
CN	Communication Nationale
CNC	Comité National de Coordination
COP21	21 ^{ème} Conférence des Parties
COP22	22 ^{ème} Conférences des Parties
CORDEX	Coordinated Regional Downscaling Experiment
CPE	Commission Permanente des Eaux
CPDN	Contributions Prévues Déterminées au niveau National
CR	Communauté Rurale
CRD	Communauté Rurale de Développement (Guinée)
CSE	Centre de Suivi Ecologique (Sénégal)
CSS	Compagnie Sucrière Sénégalaise
CT	Continental Terminal
DATAR	Direction de l'Aménagement du Territoire et de l'Action Régionale (Mauritanie)
DCTD	Département de la Coopération Technique pour le Développement
DEAR	Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural (Mauritanie)
DEEC	Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés
DGPRES	Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (Sénégal)
DMG	Direction des Mines et de la Géologie (Mauritanie)
DNH	Direction Nationale de l'Hydraulique (Guinée, Mali)
DNGR	Direction Nationale du Génie Rural
DNSI	Direction nationale de la statistique et de l'informatique (Mali)
DREEC	Division Régionale de l'Environnement et des Etablissements Classés
DRHA	Direction Régionale de l'Hydraulique (Sénégal)
EIES	Etudes d'impact environnemental et social
EnR	Energie Renouvelable
FAO	Food and Agriculture Organization
FEM ou GEF	Fonds pour l'Environnement Mondial / Global Environmental Fund
GES	Gaz à Effet de Serre
GIE	Groupement d'Intérêt Economique
GIE CETOM	Groupements d'intérêt économique pour la collecte, l'évacuation et le traitement

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

	des ordures ménagères
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GPF	Groupement de Promotion Féminine
IDA	International Development Association
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRD	Institut de Recherche et de Développement
IRRI	Institut international de recherche sur le riz
KNMI	Royal Netherlands Meteorological Institute
MAED	Ministère des Affaires Economiques et du Développement
MAER	Ministère de l'Agriculture et de l'Equipement Rural
MCA	Millenium Challenge Account
MCG	Mauritanian Consulting Group
Md m ³	Milliard de m ³ = 10 ⁹ m ³
MHA	Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement
MILDA	Moustiquaires Imprégnées à Longue Durée d'Action
Mm ³	Millions de m ³ = 10 ⁶ m ³
MNT	Maladie Non Transmissible
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONS	Office National de la Statistique (Mauritanie)
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
ORTM	Office de Radiodiffusion et Télévision (Mali)
PADDY	Projet d'Appui au Développement Durable du cercle de Yélimané
PANA	Programme d'Action National d'Adaptation
PAS	Plan d'Action Stratégique
PDIAM	Projet de développement intégré en aval du barrage de Manantali
PDRI / HGO	Projet de Développement Rural Intégré de la Haute Guinée Occidentale
PDRIK	Projet de Développement Rural Intégré de Kita
PEPAM	Programme National d'Eau Potable et d'Assainissement du Millénaire
PFNL	Produits forestiers non ligneux
PGES	Plan de Gestion Environnemental et Social
PGIRE	Projet de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement
PIB	Produit Intérieur Brut
PIDAM	Programme Intégré de Développement Agricole de Matam
PIP	Périmètre irrigué privé
PIRL	Projet Inventaire des Ressources ligneuses (Mali)
PIV	Périmètre irrigué villageois
PMA	Pays les Moins Avancés
PNA	Plan National d'Adaptation
PMS	Programme de MicroSubventions
PNUD	Programme des Nations-Unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations-Unies pour l'environnement
POGR	Programme d'Optimisation et de Gestion des Réservoirs
POP	Polluants organiques persistants
PPM	Petits périmètres maraichers
RCP	Representative Concentration Pathway
RSE	Responsabilités Sociétales de l'Entreprise
SAED	Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta
SAP	Système d'Alerte Précoce
SB	Sous-bassin
SBA	Situation de Base actuelle

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

SCA	Stratégie de Croissance Accélérée
SCO	SCénario Optimiste
SCP	Scénario Pessimiste
SCP	Société du Canal de Provence
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDE	Sénégalaise Des Eaux
SIEREM	Système d'Informations Environnementales sur les Ressources en Eau et leur Modélisation
SIG	Système d'Information Géographique
SNAPE	Service National d'Aménagement des Points d'Eaux (Guinée)
SNDE	Société Nationale D'Eau
SOGED	Société de Gestion et d'Exploitation de Diama
SOGEM	Société de Gestion de l'Energie de Manantali
SOGENAV	Société de Gestion et d'Exploitation de la Navigation sur le Fleuve Sénégal
SONADER	SOciété NAtionale pour le DEveloppement Rural (Mauritanie)
SONES	Société Nationale des Eaux (Sénégal)
SPEED	Système Probabiliste d'Etudes par Evènements Discrets
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TBR	Tableau de Bord de la Ressource
TdR	Termes de Référence
THR	Très Haute Résolution
UNITAR	United Nations Institute for Training and Research
UPV	Université Polytechnique de Valencia
USAID	United States Agency for International Development
USGS	United States Geological Survey
VFS	Vallée du Fleuve Sénégal
WEAP	Water Evaluation And Planning System

OBJET DE L'ETUDE ET DU RAPPORT

La présente mission d'étude, confiée par l'OMVS au groupement ARTELIA/IDEVIC/BETICO/SARAH, dont ARTELIA est pilote, est effectuée dans le cadre du Projet de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de développement des usages multiples dans le bassin du fleuve Sénégal (PGIRE 2).

La mission d'étude a pour objet l'évaluation de la vulnérabilité du bassin du fleuve Sénégal face aux changements climatiques et l'élaboration d'un plan pour l'adaptation et le renforcement de la résilience du Bassin, ainsi que l'actualisation des modèles de gestion des ressources hydriques utilisés par l'OMVS.

Le marché, qui est enregistré à l'OMVS sous le numéro 088/2016/OMVS-IDA-C, a été signé le 25 novembre 2016. Par lettre référencée 2017/ER/HC/PGIRE, M. Le Haut Commissaire a notifié le démarrage de la mission d'étude en date du 25 novembre 2016.

Il est à noter que cette mission d'étude est enregistrée chez ARTELIA sous le numéro d'affaire 8411203.

Comme suite à la notification de démarrage de la mission d'étude, le Groupement s'est immédiatement mobilisé et l'atelier de démarrage s'est tenu dès que possible, le 11 janvier 2017 à Dakar.

Le présent rapport est le Rapport de Diagnostic d'évaluation de la vulnérabilité – R2.

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

A. Objectif du présent rapport

L'OMVS a besoin d'un diagnostic approfondi pour mieux appréhender les modifications actuelles et futures du climat à l'échelle du bassin et de quantifier leurs impacts réels et potentiels sur l'environnement, sur la disponibilité et la gestion des ressources en eau et sur la vie socioéconomique des populations du bassin.

Le présent Rapport R2 – « Diagnostic d'évaluation de la vulnérabilité » constitue le premier rapport de la phase 2 - Collecte, analyse des données et diagnostic. Il a pour objectif principal de faire un état des lieux de la situation sur le bassin du fleuve Sénégal.

B. Le bassin du fleuve Sénégal, les affluents du fleuve Sénégal et le découpage en sous bassins utilisé pour l'étude

Avec une longueur de 1800 km et un bassin de près de 300 000 km², le fleuve Sénégal est le deuxième plus grand cours d'eau d'Afrique de l'Ouest après le fleuve Niger. Il est formé par la réunion du Bafing et du Bakoye à Bafoulabé au Mali. La composante principale du fleuve, le Bafing, avec une longueur de près de 800 km, prend sa source dans le massif du Fouta Djallon en Guinée à environ 800 mètres d'altitude. La Falémé rejoint le fleuve Sénégal à environ 50 kilomètres à l'amont de Bakel. Les autres affluents de faibles apports en territoire malien sont la Kolombiné et le Karakoro. Les apports des affluents du Sénégal inférieur sont très faibles.



Figure 1 – Le bassin du fleuve Sénégal (source : SDAGE du BFS)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Le bassin versant du fleuve Sénégal s'étend sur quatre pays. Sa superficie est inégalement répartie entre les différents pays membres :

- 22% au Sénégal (régions septentrionale et orientale)
- 30% en Mauritanie (région méridionale)
- 38% au Mali (partie occidentale)
- 10% en Guinée (Hauts Plateaux du Fouta Djalon)

Une approche par sous-bassins a été mise en place, conformément à l'hydrographie du bassin du fleuve Sénégal (BFS) et en cohérence avec les études antérieures ; le BFS a été découpé en 7 sous-bassins auxquels se rajoute la partie finale du fleuve Sénégal entre Diama et l'océan :

- SB1 : Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali ;
- SB2 : Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé, à savoir la confluence avec le Bakoye, dont naît le Sénégal ;
- SB3 : Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé, à savoir la confluence avec le Bafing, dont naît le Sénégal ;
- SB4 : La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal ;
- SB5 : Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel ;
- SB6 : Le Sénégal moyen de Bakel à Podor ;
- SB7 : Le Sénégal aval de Podor à l'océan.

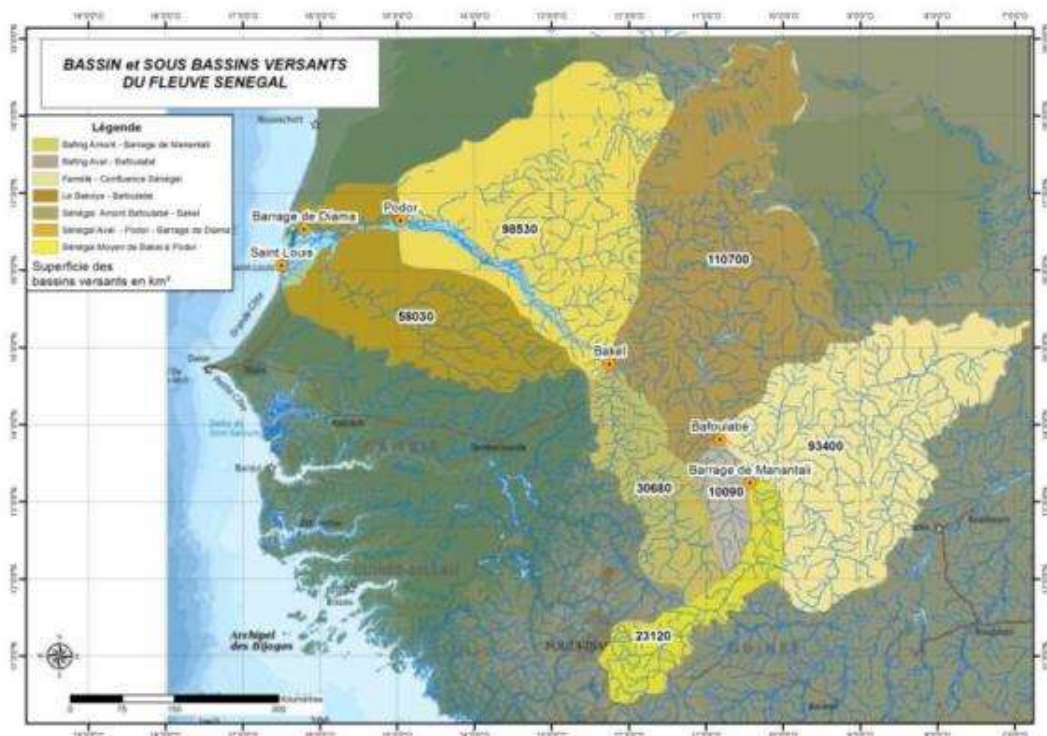


Figure II – Le découpage du bassin du fleuve Sénégal en sept sous-bassins (source OMVS)

C. Déroulement de la phase de collecte des données et de visite sur le terrain

a) Collecte de données

Parmi les documents collectés les rapports suivants se sont avérés particulièrement pertinents pour l’analyse :

- SDAGE (2009-2011)
- Elaboration de la nomenclature des seuils d’autorisation et de déclaration des prélèvements d’eau du fleuve Sénégal (2013)
- Monographie du fleuve Sénégal (2011 et 2013)
- Rapports nationaux dans le cadre de la CCNUCC
- Documentation sur les microprojets OMVS financés dans le cadre du GEF

Les données hydro-climatiques ont été collectées auprès de services météorologiques des quatre pays, de l’OMVS, de la banque de données du SIEREM¹ et également des banques de données des consultants.

b) Visites de terrain

Deux séries de visites ont été effectuées en juillet-août 2017 :

- la visite, dans chacune des capitales des quatre Etats membres, du Comité National de Coordination (CNC) menée 17 au 20 juillet 2017 au Sénégal, puis du 08 au 13 août en Mauritanie, du 14 au 19 août au Mali et du 21 au 26 août en Guinée ;
- la visite de plusieurs Comités Locaux de Coordination (CLC) dans chacun des quatre Etats-membres ainsi que la visite de microprojets GEF, 24 juillet au 13 août 2017.

Ces visites ont été particulièrement riches pour l’analyse car elles ont permis de rassembler une information de première main au plus près des acteurs institutionnels d’une part et des populations locales du bassin d’autre part.

D. Identification des tendances climatiques actuelles, prédictions des évolutions climatiques et impacts sur les écoulements

On distingue, du Sud au Nord, 4 climats différents :

- **Le domaine guinéen** avec une pluviométrie élevée et une saison des pluies de huit mois (d’avril à novembre) avec août le mois le plus pluvieux. Le domaine guinéen englobe la quasi-totalité du Fouta Djallon jusqu’à Daïkka-Saidou. On parle de climat foutanien. Le Fouta Djallon constitue une barrière et s’oppose à la progression de la mousson ;
- **Le domaine sud soudanien** avec une pluviométrie moyenne et une saison des pluies de 6 à 8 mois (d’avril à novembre). Ce domaine englobe les contreforts septentrionaux du Fouta Djallon et la partie occidentale des plateaux Mandingues;
- **Le domaine nord soudanien** avec une pluviométrie plus faible et une saison des pluies qui dure de 4 à 6 mois (de mai à octobre). Il s’étend dans la partie restante du haut bassin jusqu’à la station de Bakel;
- **Le domaine sahélien** avec une pluviométrie très faible. La saison des pluies dure 3 mois (Juillet à Septembre). Ce domaine climatique s’étend au nord de Bakel et à l’ensemble de la vallée du Sénégal (à l’exception de la zone littorale) et il s’apparente depuis ces quelques 15 dernières années au domaine saharien.

¹ Le laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM) a développé un système d’informations (SIEREM) sur l’ensemble de l’Afrique qui contient plusieurs types de variables environnementales. (Source : <http://www.hydrosociences.fr/sierem/consultation/Choixaccess.asp>)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
 R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE



Figure III – Les zones climatiques du bassin du fleuve Sénégal (source : OMVS)

a) *Précipitations*

L'analyse des données pluviométriques a été effectuée pour chacun des sept sous-bassins.

Précipitations annuelles

Lorsque l'on trace le graphe du cumul des précipitations annuelles (graphiques de simple cumul) aux stations, on observe une cassure au niveau des années 70, marquant une diminution de la pluviométrie. A titre d'exemple, le graphique de simple cumul des précipitations à la station de Matam illustre ce fait. Ce phénomène a été observé au niveau régional sur l'Afrique et sur l'ensemble du bassin du fleuve Sénégal. Il est noté une certaine remontée des précipitations annuelles à partir des années 2000 sans retrouver toutefois les précipitations annuelles d'avant 1970.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

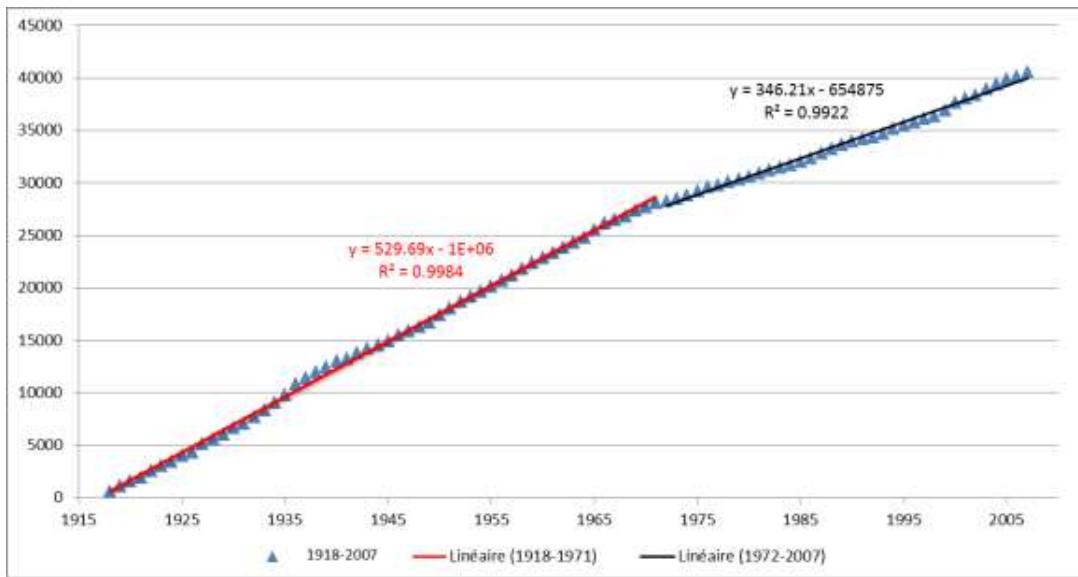


Figure IV – Cumul annuel à la station de Matam (1918-2007) (source : ce rapport)

Ce déficit pluviométrique est également identifié lorsqu’on examine les variations des précipitations autour de leur moyenne (exemple ci-dessous à la station de Kita) ; on constate la signature de la grande sécheresse des années 70 et celle du retour des précipitations à partir des années 2000 :

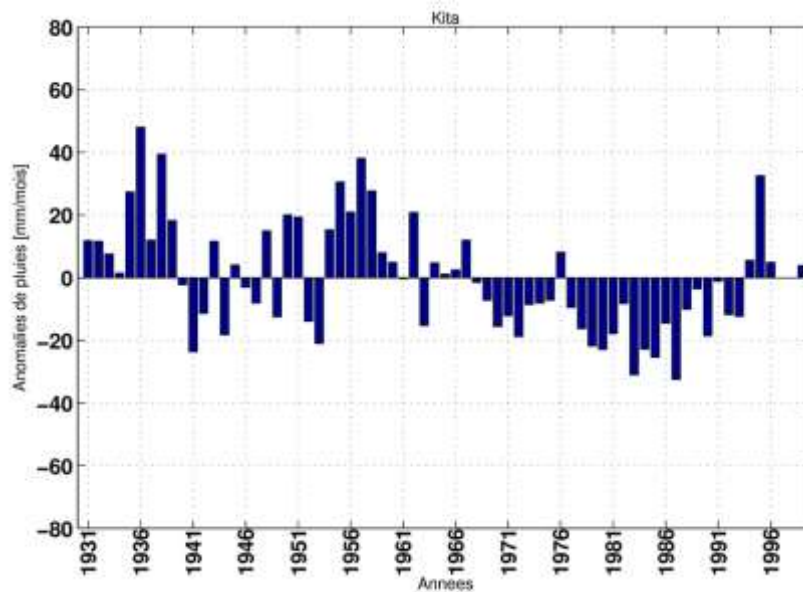


Figure V – Anomalies normalisées des cumuls annuels des précipitations de la station de Kita (source : ce rapport)

La variation des précipitations sur la période déficitaire 1970-2000 n’est pas uniforme sur le BFS ; elle a été plus marquée à l’aval qu’à l’amont.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau I - Evolution de la pluviométrie sur la Bassin du fleuve Sénégal entre 1950-1971 et 1972- 2000 (source : ce rapport)

Sous bassin	SB1		SB2	SB3	SB4	SB5		SB6		SB7	
Station	Mamou	Sagabari	Bafoulabé	Kita	Kidira	Kayes	Bakel	Matam	Boghé	Podor	Saint Louis
Moyenne pluie (mm) 1950-1971	1985.2	1203.7	907.2	1130.1	722.6	740.4	521.5	515.0	330.2	317.5	364.2
Moyenne pluie (mm) 1972-2000	1734.9	988.6	756.5	918.7	550.8	592.5	495.7	359.3	207.2	192.8	255.4
Taux de réduction (%)	-13%	-18%	-17%	-19%	-24%	-20%	-5%	-30%	-37%	-39%	-30%

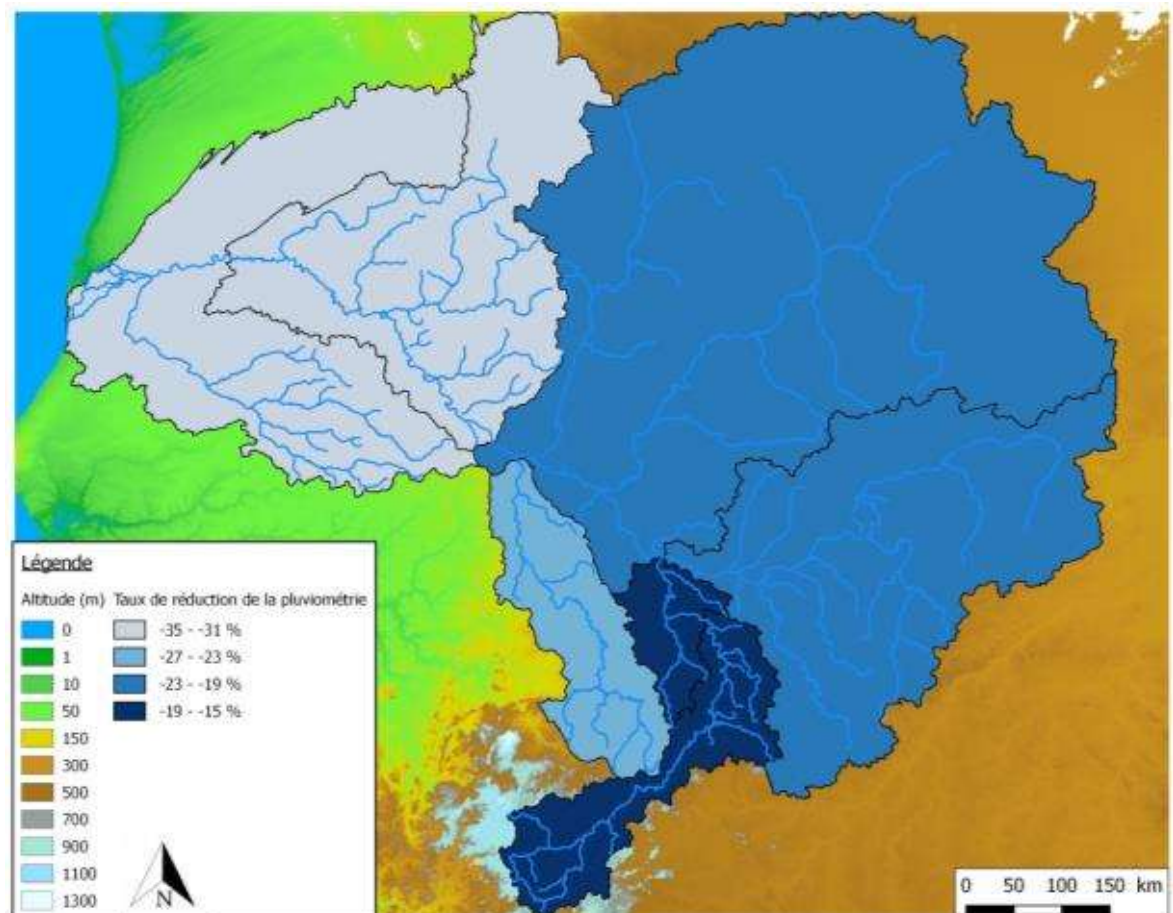


Figure VI – Taux de réduction de la pluviométrie par sous bassin entre la période avant et après 1971 (source : ce rapport)

Précipitations mensuelles

La figure ci-dessous présente les cycles saisonniers des précipitations sur les 22 stations sélectionnées. Il s'agit des moyennes mensuelles de précipitation des 12 mois de l'année sur chaque station et sur la période 1975-2004. Les pluies sont en moyenne obtenues de mai à septembre avec un maximum enregistré au courant du mois d'août. La figure met également en évidence le caractère très variable de la pluviométrie dans le BFS. La répartition des pluies dans le BFS est très contrastée. Le climat y est marqué par un fort gradient pluviométrique allant des

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

zones semi-arides au Nord aux zones humides au Sud, dans la région du Fouta Djalon où le fleuve prend sa source.

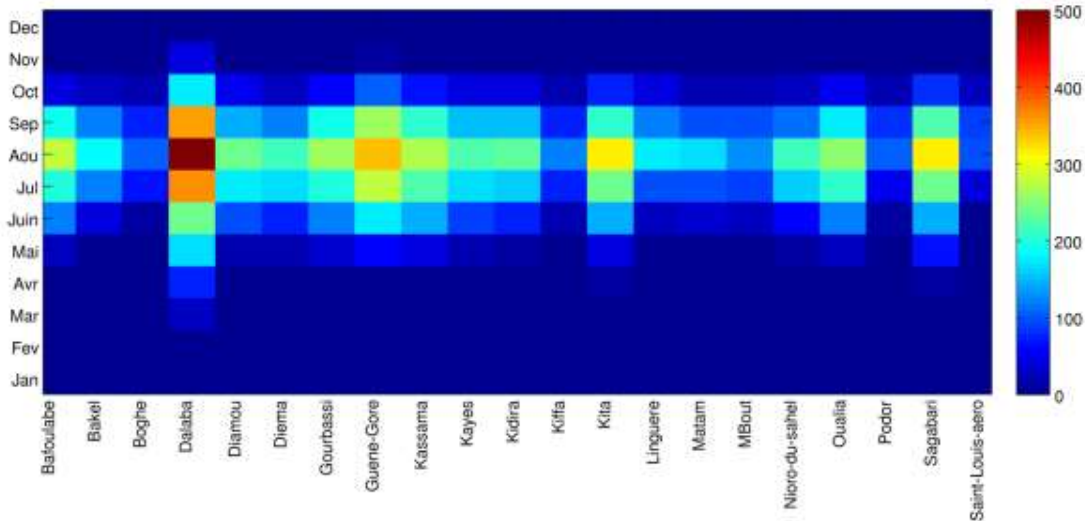


Figure VII – Cycle saisonnier des moyennes mensuelles de précipitations (mm) sur les stations sélectionnées (source : ce rapport)

Il est important de noter qu’il est observé, sur certaines stations et dans une certaine mesure, une modification de la répartition des pluies mensuelles ; la période pluvieuse tend à se raccourcir. Ceci est surtout identifié sur la partie moyenne et aval du bassin et est illustré ci-dessous à la station de Matam (sous-bassin 6) où il est observé que la contribution au total annuel de la pluie du mois de juin est moindre qu’auparavant.

Tableau II - Moyenne mensuelle à Matam sur les périodes 1918-1971 et 1972-2007 (mm) (source : ce rapport)

période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Précipitations													
1918-2007	0.5	0.6	0.1	1.2	4.1	37.7	104.7	174.3	104	20.7	1.8	1	450.7
1918 - 1972	0.7	0.9	0.2	1.9	5.1	49.6	119.2	193	116.3	24.5	1.5	1.3	514.2
1972 - 2007	0.2	0.3	0	0.2	2.5	19	82.1	144.9	84.6	14.7	2.1	0.5	351.1
Contribution mensuelle													
1918-2007	0.1%	0.1%	0.0%	0.3%	0.9%	8.4%	23.2%	38.7%	23.1%	4.6%	0.4%	0.2%	100%
1918 - 1972	0.1%	0.2%	0.0%	0.4%	1.0%	9.6%	23.2%	37.5%	22.6%	4.8%	0.3%	0.3%	100%
1972 - 2007	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.7%	5.4%	23.4%	41.3%	24.1%	4.2%	0.6%	0.1%	100%

b) Températures

L’analyse des observations des températures moyennes annuelles depuis 1960, menée sur quatre stations réparties dans le BFS, montre un accroissement des températures bien réel pour l’ensemble des quatre stations. De 1960 à 2016, l’analyse des anomalies de températures montre une augmentation de +1°C. Une augmentation qui pourrait contribuer à l’amplification des effets de la sécheresse (Funk et al., 2012).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
 R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

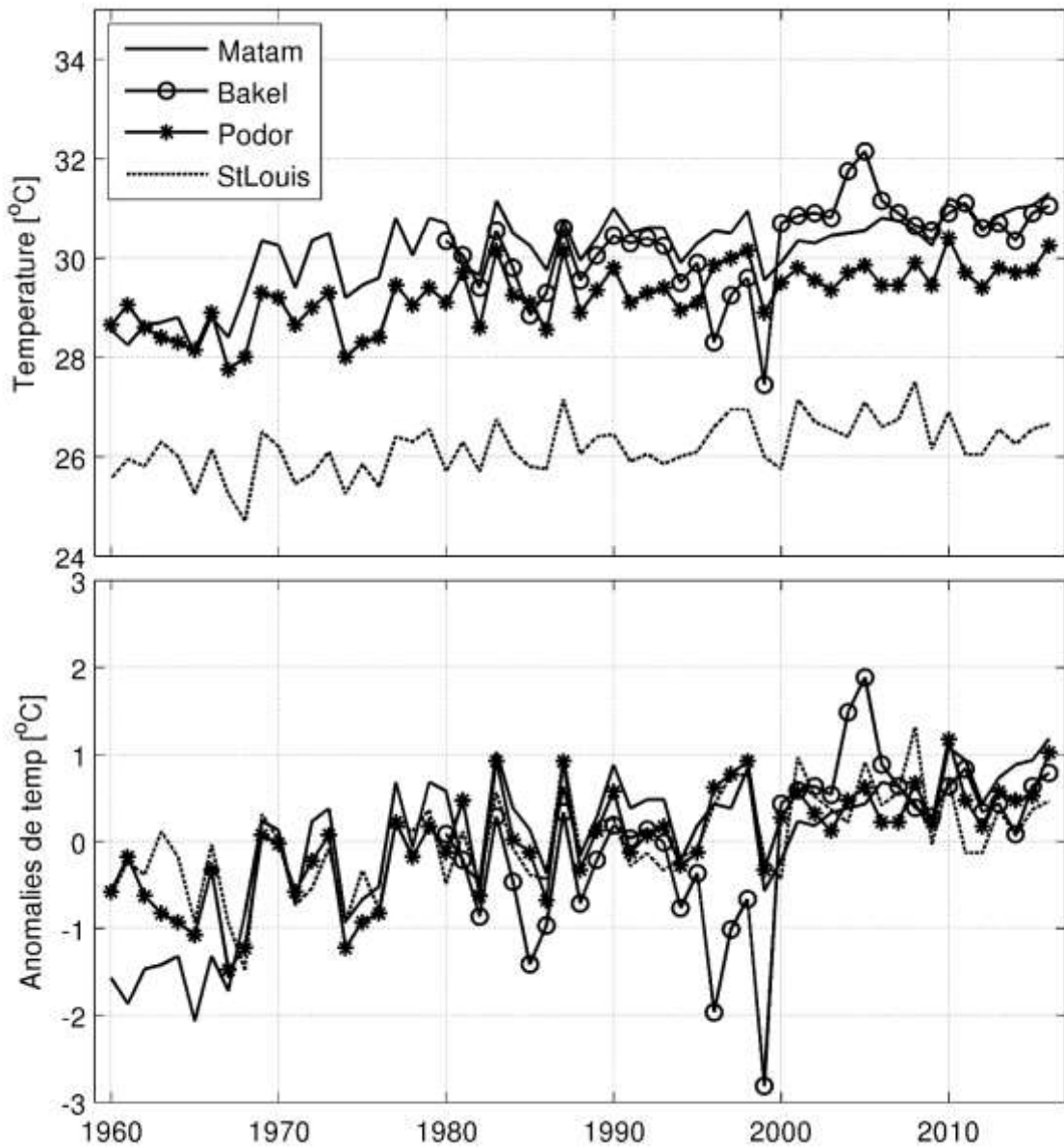


Figure VIII – Evolution des températures annuelles moyennes aux stations de Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis (source : ce rapport)

c) Les débits

Afin d’analyser la variabilité sur le long terme des apports, c’est-à-dire des débits cumulés, un test de simple cumul des apports journaliers a été réalisé sur des stations caractéristiques des sous-bassins comme illustré dans la figure ci-dessous sur la série à Bafing Makana, dans le sous-bassin 1 – Bafing amont. La cassure est la signature d’une diminution durable des débits au début des années 70, ce qui est effectivement observé sur le graphique des débits moyens annuels.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

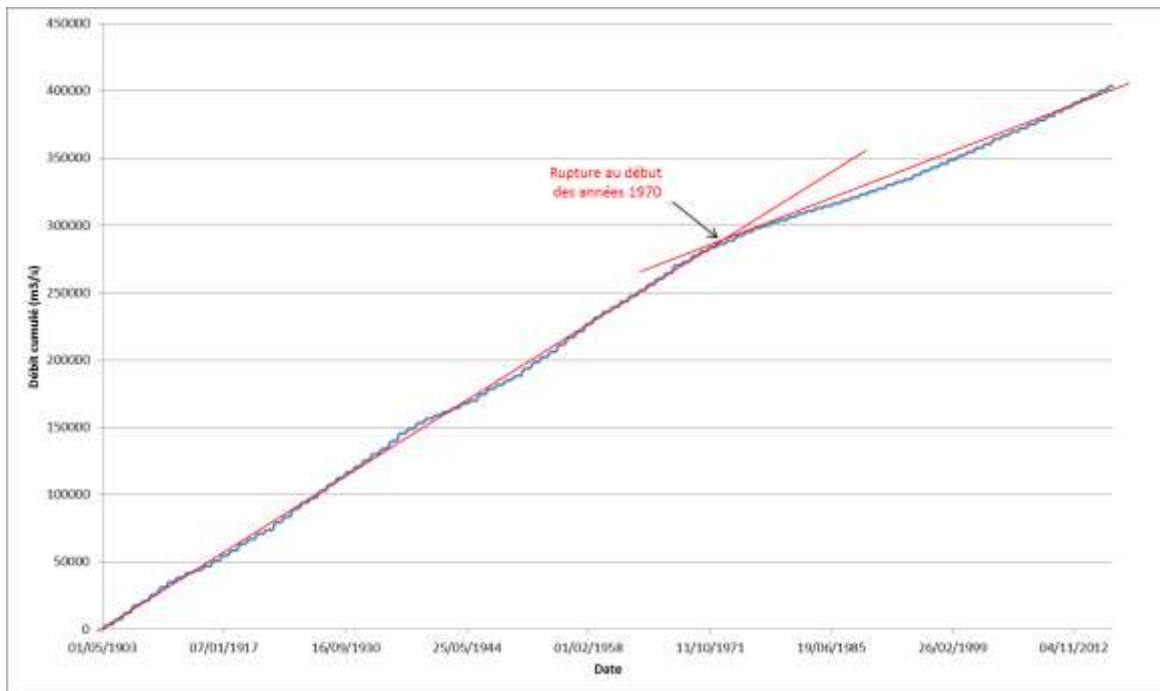


Figure IX – Simple cumulé des débits mensuels du Bafing à Bafing Makana (mai 1903 – mars 2017) (source : ce rapport)

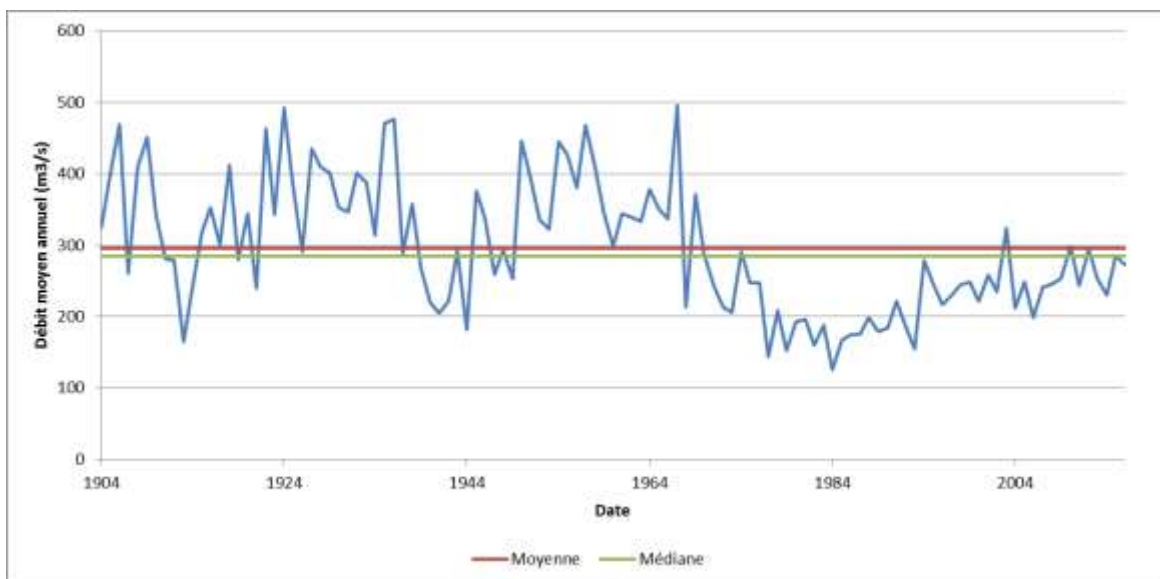


Figure X – Débits moyens annuels du Bafing à Bafing Makana (source : ce rapport)

Nous avons considéré, dans l'analyse, 2 périodes différentes en raison de la cassure observée en 1970. Les différences entre les débits d'une période à l'autre sont très importantes. Cependant, la contribution mensuelle au débit annuel reste globalement stable entre les 2 périodes, avec néanmoins une plus faible contribution en juin après 1970. On retrouve au niveau des apports ce qui a été observé au niveau des pluies et qui est relaté sur le terrain par les populations, à savoir un raccourcissement de la saison humide.

Tableau III – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Bafing à Bafing Makana sur 2 périodes distinctes (1904-1969 ; 1970-2016) (source : ce rapport)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avant	Débit (m3/s)	84.2	52.9	32.7	21.3	22.4	112.4	391.9	1074.5	1223.2	694.2	297.6	143.2
1970	Contribution (%)	2.0	1.3	0.8	0.5	0.5	2.7	9.4	25.9	29.5	16.7	7.2	3.5
Après	Débit (m3/s)	48.8	27.9	13.2	5.3	4.9	47.2	240.5	734.8	843.6	443.3	191.4	85.8
1970	Contribution (%)	1.8	1.0	0.5	0.2	0.2	1.8	9.0	27.3	31.4	16.5	7.1	3.2

Il est à noter que le signal de diminution de la contribution de l'apport de juin aux apports annuels n'est pas décelable sur les stations à l'aval de Manantali de par le soutien d'étiage assuré par la retenue.

d) Perception du climat et de ses impacts par les populations

Les enquêtes de perception réalisées au cours de la mission de collecte de données dans les quatre pays révèlent de réelles inquiétudes aussi bien des populations que des autorités face aux impacts des changements climatiques.

Les populations enquêtées avaient du mal à donner une définition du concept de changements climatiques. Mais les constats faits par les uns et les autres montrent que les populations vivent effectivement les impacts liés à ces changements climatiques. A la question de savoir « qu'est-ce que le changement climatique? » la réponse a toujours été de dire « les cours d'eau tarissent, les pluies sont rares, il fait plus chaud maintenant ».

Sur la question liée aux causes qui entraînent les changements climatiques, trois réponses différentes ont été recueillies,

- 98% des personnes enquêtées accusent l'homme d'être la cause principale des changements climatiques avec les coupes abusives de bois, les cultures au niveau des berges entraînant un ensablement des cours d'eau ;
- 1,5% des réponses donnent pour cause la pollution par les gaz à effet de serre dont les pays occidentaux sont à l'origine ;
- 0,5% qui considèrent les changements climatiques comme une volonté divine.

Ces impacts locaux sont analysés en termes de vulnérabilité des populations et leurs incapacités à développer des activités résilientes permettant de faire face à ces chocs que créent les changements climatiques. L'hivernage s'installe tardivement, les pluies sont de plus en plus rares ou mal réparties avec souvent de longues pauses pluviométriques rendant ainsi difficile la possibilité pour les agriculteurs de caler leurs activités agricoles sur un calendrier saisonnier pour lequel ils n'ont aucune maîtrise.

La forte diminution de la pluviométrie a aussi beaucoup d'impacts sur le cheptel, car sans pluies, il n'y a pas d'herbes alors que le prix des aliments de bétail augmente de manière exagérée. Les troupeaux de bétail meurent par dizaines parce qu'il n'y a rien à leur donner. C'est l'explication que donne cet agriculteur/éleveur qui, en l'espace de deux ans, a perdu plus de quinze vaches sans compter les dizaines de petits ruminants de sa famille qui sont morts.

Il faut également noter que les impacts locaux liés aux changements climatiques entraînent parfois même des inondations. Quand elles arrivent, les maisons sont inondées, les champs sont envahis par les eaux et elles entraînent une dissémination du cheptel.

E. Prédications des évolutions climatiques et impacts sur les écoulements

a) Exploitation des modèles climatiques

Comme les modèles de prévision numérique du temps, les modèles climatiques sont entachés d'incertitudes liées aux processus chaotiques intrinsèques à l'atmosphère et aux interactions surface/atmosphère. Au lieu de se focaliser sur une seule simulation fournissant une unique vision

de l'évolution de l'atmosphère, une moyenne d'ensemble comprenant plusieurs simulations (ou membres) fournit une vision probabiliste prenant en compte les incertitudes associées aux modèles. C'est pourquoi nous avons travaillé avec la moyenne d'ensemble de 29 simulations climatiques globales CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project, phase 5²). La première phase a consisté à préparer des données de simulations historiques et futures à l'échelle des 22 stations pour les modèles CMIP5. La période de référence utilisée est 1975-2004. Cette période est choisie parce qu'en climatologie, le cycle standard appelé normale climatologique est de 30 ans. Pour les projections futures, deux scénarios de concentration de gaz à effet de serre RCP du groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC ; <https://www.ipcc.ch/>) ont été utilisés comme représentant deux scénarios socio-économiques futurs: le RCP4.5 et le RCP8.5. Ils correspondent respectivement à des forçages radiatifs de +4.5 et +8.5 W/m² à l'horizon 2100, soit une augmentation globale de température de l'ordre de plus de 2 et 4 °C.

b) Les projections de pluies

Il est important de veiller à réaliser une correction des biais, ce qui a été fait, sinon les prédictions donnent des pluies futures beaucoup faibles non réalistes.

Pour un aperçu de l'impact des changements climatiques (CC) sur la pluviométrie dans le BFS, nous avons comparé au niveau de chaque sous bassin et avec les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, les variations moyennes mensuelles sur les périodes 2021-2050 et 2071-2100 à celles sur la période de référence 1975-2004 (Figure 87). Les résultats montrent que, contrairement aux températures où les effets du CC se font ressentir dès l'horizon 2050 (Figure 84 et Figure 85), avec les pluies, jusqu'à 2050 un changement significatif entre les scénarii 4.5 et 8.5 n'est pas observé. Les changements entre ces scénarii en terme de précipitations dans le BFS apparaissent au-delà de 2050.

Avec le scénario RCP4.5, le changement en d'amplitude n'apparaît pas très important. Le seul changement qu'on note est le déplacement du pic de la saison de mousson d'août vers septembre et ce changement est plus net dans les SB 6 et SB 7. Nous avons aussi remarqué que malgré ce décalage, aucun changement significatif n'est observé en terme de retrait de la mousson (septembre-octobre). Pour le scénario RCP8.5, le changement sur le décalage du pic de la saison de la mousson d'août en septembre est également bien marqué. En plus des SB 6 et 7, on le note aussi aux SB 4 et 5 à l'horizon 2100. Ce décalage noté dans les SB du Nord (zones soudano-sahéliennes) peut donc être considéré comme une conséquence des CC sur la pluviométrie dans le BFS.

Comme avec le RCP4.5, ce décalage n'est pas accompagné de changement net dans le retrait de la mousson. Il peut être plutôt interprété comme une conséquence d'une baisse de l'intensité des pluies dans les phases d'installation et de maturation de la mousson. En effet, les projections à l'horizon 2100 sous le RCP8.5 sont significativement inférieures de mai en août aux observations historiques et à celles de l'horizon 2050 sur tous les SB.

² http://cmippcmdi.llnl.gov/cmip5/data_description.html

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
 R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

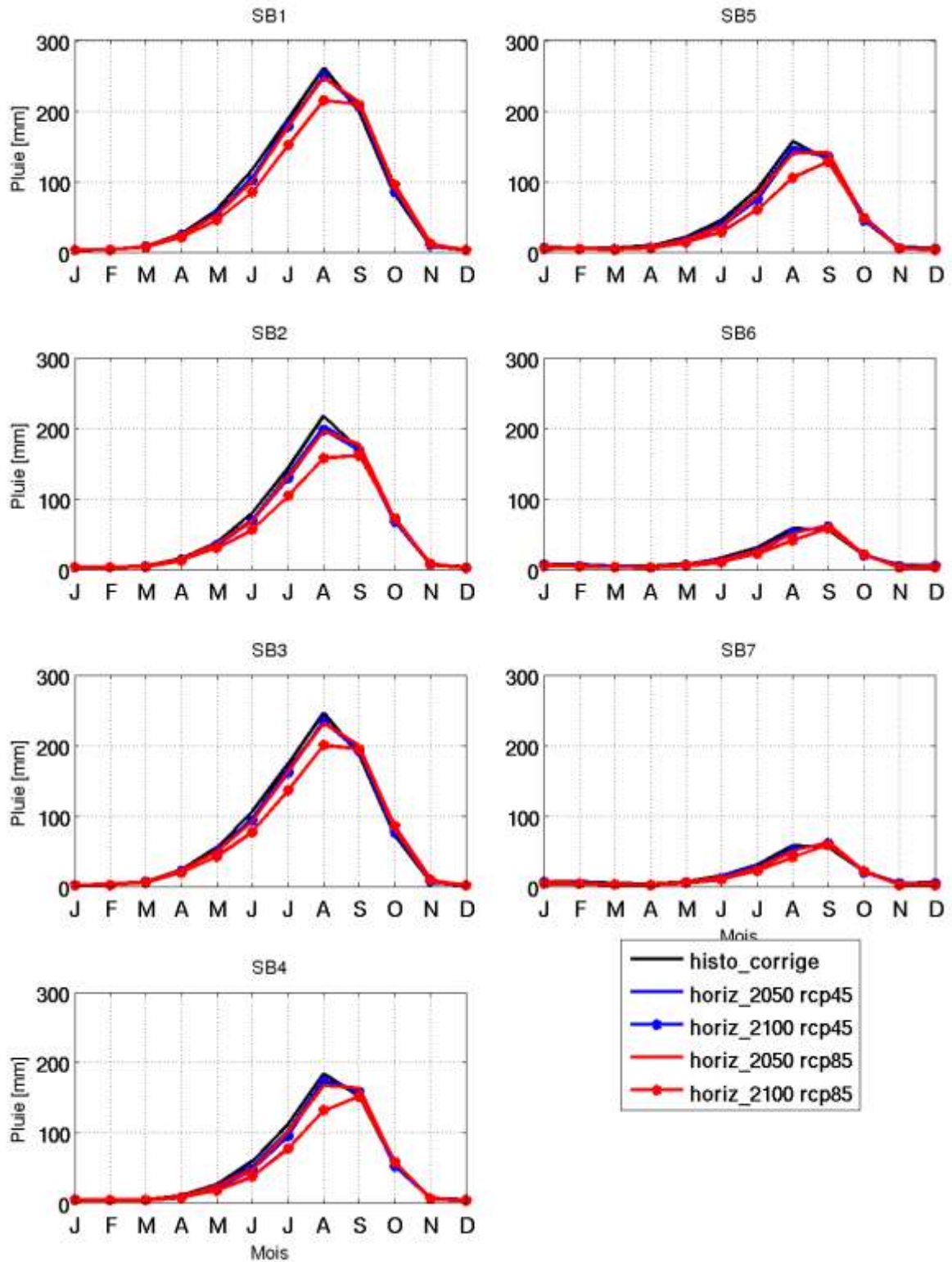


Figure XI – Variations de précipitations moyennes mensuelles climatologiques - Simulations historiques corrigées 1975-2004 (noir), projections futures avec RCP4.5 (bleu) et RCP8.5 (rouge) : 2021-2050 (courbes continues) et 2071-2100 (courbes étoilées) (source : ce rapport)

En résumé, les analyses montrent qu'en plus de la température, les CC vont significativement impacter la pluviométrie du BFS. Pour la température, même si elle augmente, aucune grande différence entre les scénarii RCP4.5 et RCP8.5 n'est observée jusqu'en 2035. Cela peut s'expliquer par le fait que l'effet de l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre sur la température est déjà assez marqué en réalité et ne pourra être influencé par aucune intervention (même une baisse) avant 2035. La différence entre ces deux projections de température (scénario haut et bas de gaz à effet de serre) ne sera détectable qu'au-delà de 2035. Ce qui par ailleurs pourrait signifier que le réchauffement dû aux CC sera plus accentué à l'échelle locale après 2035 dans le cas d'un scénario élevé de gaz à effet de serre. Une augmentation de +3°C est attendue à l'horizon 2050.

Par ailleurs pour la pluie, les effets du CC semblent avoir des impacts significatifs un peu plus tard comparés à ceux pour la température. Le changement significatif en terme de pluviométrie s'observe qu'après 2050 et se manifeste par une diminution de l'ordre de 20 % de l'intensité des pluies sur la première phase de la mousson (Mai-Août). Ceci entraînera un déplacement du pic de la mousson d'août vers septembre et les SB les moins humides (SB 3-7) seront les SB les plus affectés par ce changement.

c) Impact sur les écoulements

L'impact des changements climatiques sur les écoulements de surface est étroitement lié à l'impact sur les précipitations et la relation est non linéaire ; moins de pluie se traduit par beaucoup moins de débit. L'élévation du niveau de la mer conduit par ailleurs à relever les conditions aux limites de niveau de l'estuaire sur le littoral et entraîne des remontées salines pouvant avoir des conséquences environnementales et socioéconomiques importantes.

A partir des prédictions de pluies, nous pouvons estimer les débits sur la période 2011-2050 afin de construire le modèle d'allocation avec ces données. Les tendances climatiques relatives aux précipitations sur la période 2011-2050 semblent confirmer une certaine stabilité de la pluviométrie proche de celle observée actuellement. La première hypothèse a donc conduit à considérer les débits observés sur la période 1990-2010 comme apports pour la période future. Toutefois, malgré la conservation des précipitations à l'échelle annuelle, on distingue une modification de la répartition mensuelle des précipitations dans les différents scénarios climatiques étudiés. En effet, les cumuls mensuels seront moins importants en juillet et en août mais plus importants en septembre et octobre pour l'ensemble des bassins étudiés traduisant ainsi un décalage de la saison des pluies. La modification du régime pluviométrique impactera également le régime hydrologique des rivières. Ainsi, on peut considérer que le module des cours d'eau sera inchangé entre la période actuelle (1990-2010) et la période future jusqu'à 2050, mais le pic de crue subira un étalement dans le temps. Il sera moins marqué au mois de septembre et à l'inverse, les débits devraient être plus importants aux mois d'octobre et novembre.

A partir de 2050 et à l'horizon 2100, une diminution de la pluviométrie est attendue. Le modèle de prédictions représente bien la période 1975-2004, qui correspond à une période d'alternance de sécheresse et de reprise) ; on peut imaginer qu'une prédiction de pluies en-deçà des observations correspond à un épisode de sécheresse. Un second scénario a donc été étudié afin d'évaluer l'impact d'une pluviométrie moindre sur le BFS. Ce second scénario correspond à des précipitations du même ordre de grandeur que celles observées sur la période sèche de 1970-1990. Les apports annuels futurs sur la période 2050-2100 ont ainsi été considérés comme similaires aux apports annuels de la période 1970-1990.

d) Impact sur les niveaux à l'aval de Diama

Concernant les niveaux d'eau en crue à Saint-Louis, il faudra compter dans l'avenir sur l'effet cumulé de l'élévation du niveau marin et des hautes eaux liées aux crues. Moussa Sall dans sa thèse a examiné la question pour la situation d'ici à 2100. Il considère 3 pronostics différents pour l'élévation du niveau marin : pronostic bas (+11 cm), pronostic moyen (+50 cm) et pronostic élevé (+ 77 cm). Le cumul des niveaux de crue dans l'état de référence et de l'élévation du marin conduit aux hauteurs d'eau suivantes :

Tableau IV – Hauteurs d’eau actuelles et projetées dans l’estuaire du Sénégal (source : thèse de Moussa Sall)

Crue	Etat actuel (cm)	Etat actuel + élévation prévue du niveau de la mer d’ici à 2100		
		Pronostic bas (+ 11 cm)	Pronostic moyen (+ 50 cm)	Pronostic élevé (+ 77 cm)
Cote d’alerte	140	151	190	217
Décennale	187	198	237	264
Centennale	244	255	294	321

Les chiffres d’élévation du niveau marin peuvent être affinés avec les projections plus récentes du rapport de la 12^{ème} session du GIEC (2013). D’ici 2100, les scientifiques estiment maintenant que le niveau marin peut augmenter en moyenne de +26 à +98 cm suivant les modèles contre +18 à +59 cm dans le précédent rapport paru en 2007.

Pour 2100, selon le scénario RCP8.5, l’élévation du niveau des mers est comprise entre 0,52 et 0,98 m, avec un rythme moyen de 8 à 15 mm.an⁻¹.

e) Impact sur les écoulements souterrains

L’impact des changements climatiques sur les écoulements souterrains est étroitement lié à la baisse des précipitations et des écoulements de surface. Moins de précipitations conduit à moins d’infiltration et donc à une baisse des nappes. En outre, l’abaissement du niveau des cours d’eau conduit à rabaisser les conditions aux limites des nappes d’eau souterraines et affecte les échanges nappe-cours d’eau. De même l’élévation du niveau de la mer conduit à relever les conditions aux limites des nappes sur le littoral et entraîne des intrusions salines. Il s’y ajoute l’évaporation directe de nappe phréatiques.

L’impact à la baisse des eaux superficielles conduit à rediriger les prélèvements vers les nappes, accentuant encore leur baisse.

La propension à la baisse du niveau des nappes de la vallée du fleuve Sénégal en raison des changements climatiques responsables d’une diminution des précipitations et d’une augmentation de la température et donc de l’évaporation/évapotranspiration est toutefois contrecarrée par les aménagements hydrauliques réalisés dans le bassin. L’analyse menée par l’OMVS à partir de l’instrumentation des nappes entre 1985 et 1990 a permis d’estimer la recharge à partir des cours d’eau à 330 millions de m³ par an soit, près de 30% supérieure à ce qu’elle était dans les années 1971-72, qui étaient pourtant plus pluvieuses, avant la construction du barrage de Manantali.

F. Analyse globale de la vulnérabilité des secteurs socio-économiques du BFS au changement climatique

a) La population

La population du bassin du fleuve Sénégal (BFS) est passée de 3,5 millions en 1990 à près de 7 millions de personnes aujourd’hui³, soit 14% de la population cumulée des 4 Etats riverains (Guinée, Mali, Mauritanie et Sénégal) qui est de 46 millions d’habitants.

La plupart de la population habite relativement proches du fleuve. En effet, le SDAGE note que 85% des habitants du bassin, soit près de 6 millions de personnes, vivent à proximité du fleuve.

Cette forte croissance démographique soulève de nombreuses questions environnementales et sociales :

- Le défrichement des terres au profil de l’expansion des terres agricoles ;
- L’appauvrissement des sols dû à la surexploitation;
- Un exode rural important, principalement provoquées par la précarité du système agricole ;

³ Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière du Bassin du Fleuve Sénégal, février 2017

- Une insécurité alimentaire.

Les changements climatiques rendent plus vulnérables les populations, surtout celles des zones rurales. L'agriculture qui a toujours été la principale activité et la première source de revenus des ménages connaît de réelles difficultés. Les agriculteurs n'ont plus aucune maîtrise sur le calendrier saisonnier à cause d'une pluviométrie très perturbée.

b) L'agriculture

Les pays partageant le bassin du fleuve Sénégal sont fortement dépendants de l'agriculture qui contribue pour plus de 30% de leur produit intérieur brut moyen et occupe les 3/4 de la population active. Cette dépendance vis-à-vis de l'agriculture est encore plus nette pour les populations qui vivent dans le bassin même du fleuve Sénégal. Pour les pays membres de l'OMVS la lutte contre la pauvreté passe par le développement du secteur agricole.

Dans le bassin du fleuve Sénégal, la pratique de l'agriculture reste essentiellement une agriculture de subsistance. L'économie du BFS reste dominée par l'agriculture dont on distingue 3 types principaux : l'agriculture pluviale –Haut-bassin en raison de la bonne pluviométrie, l'agriculture de décrue (concentrée dans la vallée et le delta) et l'irrigation qui s'est développée avec une meilleure maîtrise de l'eau (barrages de Manantali et de Diama) dans le but de réduire la vulnérabilité aux déficits pluviométriques.

c) AEP, élevage et industrie

Les besoins en eau des populations sont très variables suivant leur niveau de confort et le niveau d'équipement des collectivités. Une part importante de la population du bassin n'a toujours pas accès à l'eau potable. Divers programmes d'AEP ont été exécutés ou sont prévus de l'être, basés sur la potabilisation des eaux du fleuve Sénégal ou de ses affluents.

L'alimentation en eau potable des populations, à partir des eaux du fleuve Sénégal, concerne essentiellement l'alimentation des villes de Dakar et de Nouakchott, ainsi que les réseaux de quelques villes riveraines.

Du fait de la raréfaction des points d'eau et des pâturages, des conflits sont fréquents entre les agriculteurs et les éleveurs. La taille des troupeaux tend à diminuer.

L'activité minière est très présente et continue à se développer sur la Falémé (orpaillage), or cette activité est particulièrement polluante aux métaux lourds.

d) Pêche

Comme le montre le tableau ci-dessous, le sous-secteur de la pêche artisanale a connu un essor entre 1985 et 1990, où sa production est passée de 2 137 tonnes à 3 572 tonnes. Puis elle a suivi une dynamique régressive avec une chute de 1 572 tonnes entre 1990 et 1992 passant ainsi de 3 572 tonnes à 2 000 tonnes.

Tableau V - Production intérieure de 1985 à 1992 (Tonnes) (source : Ministère de l'Economie et Finances – Sénégal (1993))

Désignation	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Artisanale	2 137	2 238	2 807	2 873	3 490	3 572	2 221	2 000

Cette dynamique à la baisse du secteur de la pêche est, par ailleurs, perceptible sur les infrastructures et le nombre d'exploitants.

e) Energie

Les barrages hydroélectriques actuellement présents sur le BFS sont Manantali et Félou. Manantali permet de retenir un volume maximal de 11.3 milliards de m³. Celui de Félou est

construit au fil de l'eau, il n'a pas de retenue d'eau significative. Ces deux barrages ne consomment pas d'eau, sauf l'évaporation dans le réservoir de Manantali.

Il existe un très fort potentiel hydro-électrique sur le BFS, principalement sur la partie amont du Bafing, en Guinée.

En saison sèche, l'assèchement des barrages hydro-électriques entraîne un déficit de production d'énergie.

Bien qu'il s'agisse d'utilisations non consommatrices de l'eau, les secteurs de l'hydroélectricité imposent parfois des contraintes à la disponibilité de l'eau pour les autres usages. Afin d'atteindre leurs objectifs de production d'électricité, les barrages turbinent en permanence des quantités importantes d'eau. Ils ont besoin d'un débit minimum garanti toute l'année.

f) *Navigation*

Le fleuve Sénégal est potentiellement navigable sur 905 km entre l'embouchure et Ambidédi. Les mises en service, d'une part du barrage de Manantali et d'autre part du barrage de Diama, ont permis de sécuriser et de pérenniser tout au long de l'année l'activité. Il est couramment admis que dans les conditions actuelles, un débit d'étiage de 350 m³/s à Bakel permet la navigation sur toute la zone navigable du fleuve.

La navigation n'est pas, à proprement parler, une activité qui consomme de l'eau. Ses besoins se traduisent en termes de tirant d'eau et donc de hauteur d'eau et de débit, et ne peuvent pas être dissociés des autres usages.

G. Evaluation de la vulnérabilité au changement climatique du BFS

Globalement, il est admis que le réchauffement de la terre conduira, d'une part, à des étiages plus sévères, et d'autre part à des crues plus importantes. Au niveau annuel, la combinaison de ces deux aspects peut se traduire par des effets contrastés allant de la diminution des apports à leur augmentation en passant par le maintien du statu quo. La variabilité et les changements climatiques sont supposés être les principaux facteurs de telles modifications, induisant la baisse des précipitations et des débits, l'augmentation des inondations, la perte de la biodiversité fluviale, etc. En revanche, l'écosystème du BFS subit aussi les effets de facteurs non climatiques tels que : la surpêche, les mauvaises pratiques de pêche, la pollution par l'agriculture irriguée, la mauvaise exploitation des ressources, l'urbanisation et la surpopulation. Ainsi, la combinaison des facteurs climatiques et non climatiques accroît la pression sur les dégradations dans ces milieux. En ce qui concerne le BFS, les impacts de la variabilité et du changement climatiques sont bien visibles et perceptibles. Plusieurs travaux scientifiques dans le domaine des changements climatiques, de la vulnérabilité dans les bassins hydrologiques de fleuves africains à travers des activités de pêche, d'agriculture, de pastoralisme, de production hydroélectrique ont confirmé ces impacts.

De façon générale, l'environnement du bassin, en particulier les zones à haute valeur de biodiversité, fait l'objet de pressions et menaces diverses, suite à une conjonction de facteurs tels que le changement des conditions hydro-climatiques et la forte croissance démographique. A cela s'ajoute le besoin d'amélioration des conditions de vie dans le bassin, une des régions les plus pauvres du monde.

La diminution des volumes d'eau dans le fleuve Sénégal et le développement d'infrastructures de gestion de la ressource en eau va modifier le régime hydrologique du fleuve. Ces modifications peuvent avoir des conséquences importantes sur les écosystèmes du bassin du fleuve.

L'une des principales causes de perturbation des écosystèmes aquatiques est l'arrêt de la crue annuelle. En effet, la priorité donnée à l'hydroélectricité et la diminution importante des débits va conduire à une régression du soutien de crue, voir à sa disparition. Or la crue annuelle est essentielle au bon fonctionnement naturel de l'écosystème fluvial. Elle permet d'entretenir le lit majeur de la rivière, de fertiliser les terres de décrues, de recharger les nappes souterraines et les marigots, de favoriser la reproduction des poissons dans les zones de frayères.

Pour chacune des zones vulnérables, nous avons analysé leur vulnérabilité aux changements climatiques.

- **La tête de bassin (Guinée) :** Les principales menaces sur cette partie Guinéenne du bassin sont :
 - La pression démographique croissante accélérant la déforestation au profit de terres agricoles et la dégradation des sols ;
 - La diminution des précipitations, impactant l'agriculture pluviale, principale forme d'agriculture en termes de superficie ;
- **La partie amont (Mali) :** la principale pression sur cette région est une pression anthropique liée à l'accroissement de la population et la volonté de développement de cette région. La diminution des précipitations et l'augmentation des températures vont augmenter les conflits sur l'utilisation de la ressource, principalement avec les producteurs de coton. De plus, cette diminution des eaux de surface va accélérer la déstabilisation des berges et du lit de la rivière, pouvant avoir des conséquences importantes pour la gestion des barrages réservoirs.
- **La Falémé :** le développement du secteur minier va accentuer les conflits de gestion de l'eau et les risques de contamination de l'eau. Sur la Falémé, les prévisions de volumes d'eau sont moitié moins que les volumes actuels. Cette zone du bassin va donc nécessiter une attention particulière en termes de gestion de l'eau et de proposition de mesures d'adaptation.
- **L'aval :** L'urbanisation croissante et le développement de périmètres irrigués va pousser les populations à s'installer de plus en plus proche du lit majeur du fleuve. Malgré les diminutions importantes de débit du fleuve Sénégal, on peut supposer une augmentation des événements extrêmes comme les inondations. L'urbanisation incontrôlée, toujours plus proche du fleuve, va donc augmenter la vulnérabilité des populations de la plaine aux risques d'inondations et aux maladies liées à l'eau. La modification du régime hydrographique, due à la construction de barrages-réservoirs et la diminution des débits liés au changement climatique a profondément diminué le niveau des crues annuelles et permet un soutien constant du débit d'étiage, favorisant le développement de végétaux aquatiques et des maladies hydriques. La baisse des débits de pointe va diminuer la recharge des nappes souterraines et des marigots par le fleuve. L'assèchement des marigots va avoir d'importantes conséquences sur les écosystèmes aquatiques de la plaine, surtout pour les forêts de gonakiers, vivant le long du fleuve. La prolifération des végétaux aquatiques va provoquer des incidences écologiques et socioéconomiques importantes. Cette prolifération sera favorisée par les faibles précipitations et l'augmentation des températures.

H. Evolution de la vulnérabilité des barrages au changement climatique

Créé en 1972 l'OMVS a défini un programme d'infrastructures régionales devant permettre la maîtrise des ressources en eau du bassin. Les enjeux de la gestion résident dans la recherche d'un équilibre entre les différents usages de l'eau qui se répartissent schématiquement entre :

- Les usages traditionnels (pêche, élevage et agriculture de décrue) ;
- Les équilibres écologiques (forêts, ressources halieutiques, faune terrestre, etc.) ;
- Le soutien d'étiage (énergie hydroélectrique, agriculture irriguée et navigation).

Dans le souci de répondre au défi du développement, les États du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal ont procédé, dans le cadre de l'OMVS, à l'aménagement progressif du bassin du fleuve Sénégal en y érigeant les ouvrages de Diama (1985) et de Manantali (1988).

Les barrages de Diama et Manantali ont été conçus pour permettre, au total, l'irrigation de 375 000 ha, dont 120 000 ha pour Diama, et 255 000 pour Manantali.

D'autres barrages viennent ou viendront progressivement s'ajouter à ces deux premiers barrages réservoirs. Le barrage hydroélectrique de Félou a été mis en service en 2014 et le barrage

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

hydroélectrique de Gouina est en cours de construction. Il est prévu de construire d'autres barrages à l'amont, dont des barrages réservoirs.

La vulnérabilité des barrages au changement climatique doit être appréhendée comme la vulnérabilité vis-à-vis de la mission qu'ils doivent remplir. Cette analyse a été traitée au moyen du modèle d'allocation ressources-besoins.

I. Résultats de la modélisation de l'allocation ressources-besoins

Une modélisation de l'allocation ressources-besoins a été réalisée à l'aide du logiciel WEAP. Différentes simulations ont été réalisées afin de prendre en compte l'ensemble des scénarios possibles, aussi bien d'un point de vue climatique (période humide 2011-2050 et période sèche 2050-2100) que vis-à-vis de l'augmentation du besoin (chiffres du SDAGE, horizon 2025, horizon 2075) ou de la gestion de la ressource : situation actuelle avec 4 barrages et situation future avec 8 barrages. Différents indicateurs ont été analysés afin de mettre en évidence les conséquences de ces évolutions sur le bassin : satisfaction de la demande, production hydroélectrique, remplissage des réservoirs de Manantali et Diama et respect des débits environnementaux, de navigation et de crues artificielles pour la culture de décrue.

Une priorité haute a été donnée systématiquement à la satisfaction de la demande AEP. Dans les scénarios de base il a été donné une priorité moyenne au respect du débit environnemental à Bakel (52 m³/s) et il a été donné aux autres demandes en eau la même priorité, une priorité basse, pour respecter le principe d'équité.

Des scénarios alternatifs ont ultérieurement été analysés où, tour à tour, il a été donné une priorité moyenne à l'hydroélectricité, puis à la crue artificielle de ROCHE, puis à la crue artificielle de POGR, puis à l'irrigation, et enfin à la navigation, les autres besoins restant avec une priorité basse.

Tableau VI – Priorisation des besoins en eau pour les scénarios complémentaires telle que paramétrée dans WEAP (source : ce rapport)

		Priorisation de référence	Priorisation "Hydro électricité"	Priorisation "Crue artificielle"	Priorisation "Irrigation"	Priorisation "Navigation"
Barrages	Production hydroélectricité	Basse	Moyenne	Basse	Basse	Basse
Demande en eau	AEP	Haute	Haute	Haute	Haute	Haute
	Irrigation	Basse	Basse	Basse	Moyenne	Basse
	Cheptel	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse
	Mines	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse
Débits minimaux	Crue artificielle	Basse	Basse	Moyenne	Basse	Basse
	Navigation	Basse	Basse	Basse	Basse	Moyenne
	Debit environnemental	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne

Les scénarios ont été simulés sur la période humide correspondant aux données hydroclimatiques de la période 1990-2010 et sur la période sèche correspondant aux données hydroclimatiques de la période 1970-1990.

Les scénarios suivants ont été analysés dans la situation de référence des priorités :

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau VII – Synthèse des scénarios analysés (source : ce rapport)

Scénarios de gestion	"Période Humide - 4 barrages - Demande actuelle"	"Période Humide - 4 barrages - Demande 2025"	"Période Humide - 8 barrages - Demande actuelle"	"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"
Gestion de la ressource	4 Barrages	4 Barrages	8 Barrages	8 Barrages
Demande en eau	Actuelle (sur la base de 2010)	En projection 2025	Actuelle (sur la base de 2010)	En projection 2025

Scénarios de gestion	"Période Sèche - 4 barrages - Demande actuelle"	"Période Sèche - 8 barrages - Demande actuelle"	"Période Sèche - 8 barrages - Demande 2075"
Gestion de la ressource	4 Barrages	8 Barrages	8 Barrages
Demande en eau	Actuelle (sur la base de 2010)	Actuelle (sur la base de 2010)	En projection 2075

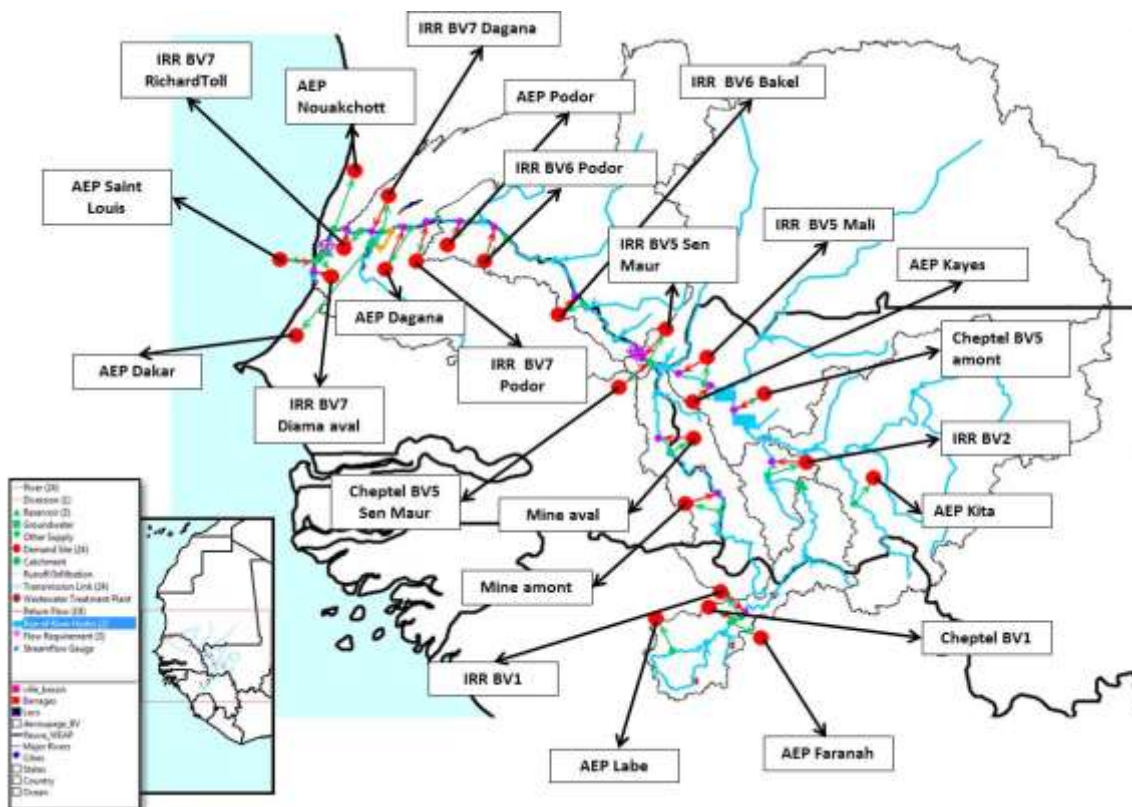


Figure XII – Localisation des sites de demande en eau tel que paramétrés dans le modèle WEAP (source : ce rapport)

En période humide et pour la situation actuelle de quatre barrages et la demande en eau 2010 (dite actuelle) de 1,6 Md m³ par an, les demandes AEP sont totalement satisfaites, à l'exception de 23% pour Kita, et les autres besoins sont globalement satisfaits. Seuls 17 Mm³/an de la demande totale, soit 1.1%, ne sont pas satisfaits. Les non satisfactions se situent toutes dans le haut bassin.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Dans le modèle, la demande en eau 2025 est considérablement augmentée par rapport à la demande actuelle ; elle passe de 1,6 Md m³ à 5,7 Md m³, soit 3,5 fois supérieure, cette augmentation étant due surtout à l'irrigation et dans une moindre mesure aux mines (chiffres du SDAGE). En période humide, avec la demande en eau 2025 et quatre barrages, les non satisfactions augmentent significativement et s'établissent à 252 Mm³/an, soit 4,5% de la demande totale 2025.

L'ajout de quatre barrages permet de doubler la production hydroélectrique qui passe, en période humide, de 1974 GWh à 3870 GWh y compris une augmentation lors des mois secs d'avril à juillet. Des incidences sont toutefois observées avec 8 barrages sur la satisfaction des demandes en eau de la demande actuelle; certaines demandes en eau sont mieux satisfaites tandis que d'autres le sont moins bien. La demande de l'AEP est peu affectée. Au global la non satisfaction de la demande actuelle augmente à 110 Mm³/an, soit 6,9%. L'irrigation à Richard Toll, à l'aval du bassin, est particulièrement affectée avec une non satisfaction de 91 Mm³.

Avec 8 barrages la satisfaction des demandes en eau à l'horizon 2025 est également affectée par rapport à la situation avec 4 barrages, elle passe de 252 Mm³/an à 646 Mm³/an, soit de 5% à 11% de la demande totale annuelle. C'est à nouveau l'irrigation à Richard Toll, à l'aval du bassin, qui est surtout affectée ainsi que la satisfaction des demandes à l'amont du bassin. Les demandes amont sont visiblement pénalisées par la consigne de remplissage des réservoirs. En revanche les demandes sur le bassin intermédiaire, à l'aval des barrages réservoirs, se trouvent mieux satisfaites.

La situation se dégrade considérablement en 2075 avec une demande en eau qui augmente à 7,1 Md m³/an et une période sèche. La non satisfaction de la demande globale s'établit à 1.4 Md m³/an, soit 19.7%.

Les figures suivantes présentent les situations de non satisfaction de la demande en eau respectivement pour la situation de référence (4 barrages et besoins actuels, période humide), une simulation test à titre de comparaison (8 barrages, besoins actuels, période humide), une seconde simulation test (4 barrages, besoins en eau à l'horizon 2025, période humide), la situation 2025 (8 barrages, besoins en eau à l'horizon 2025, période humide) et la situation 2075 (8 barrages, besoins en eau à l'horizon 2075, période sèche).

Les tableaux suivants synthétisent pour les différents scénarios (i) les non satisfactions de la demande en eau et (ii) la production hydroélectrique.

Tableau VIII – Demandes totales et non satisfaites, en volume (Mm³) et pourcentage de la demande totale, pour les besoins actuels et futurs selon les différents scénarios climatiques et de gestion de la ressource (référence 4 barrages et 8 barrages) (source : ce rapport)

	Besoins actuels			Besoins 2025			Besoins 2075	
	Besoins (Mm ³ /an)	Non satisfaction des besoins (Mm ³ /an et %)		Besoins (Mm ³ /an)	Non satisfaction des besoins (Mm ³ /an et %)		Besoins (Mm ³ /an)	Non satisfaction des besoins (Mm ³ /an et %)
		Référence 4 barrages	8 barrages		Référence 4 barrages	8 barrages		8 barrages
Période humide	1600	17	110	5646	252	646	7065	
		1%	7%		5%	11%		
Période sèche		111	208					1394
		7%	13%					20%

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau IX – Production hydroélectrique annuelle moyenne (en GWh) pour l'ensemble des scénarios étudiés (source : ce rapport)

Production hydroélectrique annuelle moyenne	Besoins actuels		Besoins 2025		Besoins 2075
	Référence 4 Barrages	8 barrages	Référence 4 Barrages	8 barrages	8 barrages
Période humide (en GWh)	1 974	3 870	1 935	3 784	
Période sèche (en GWh)	1 684	3 279			3 196

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

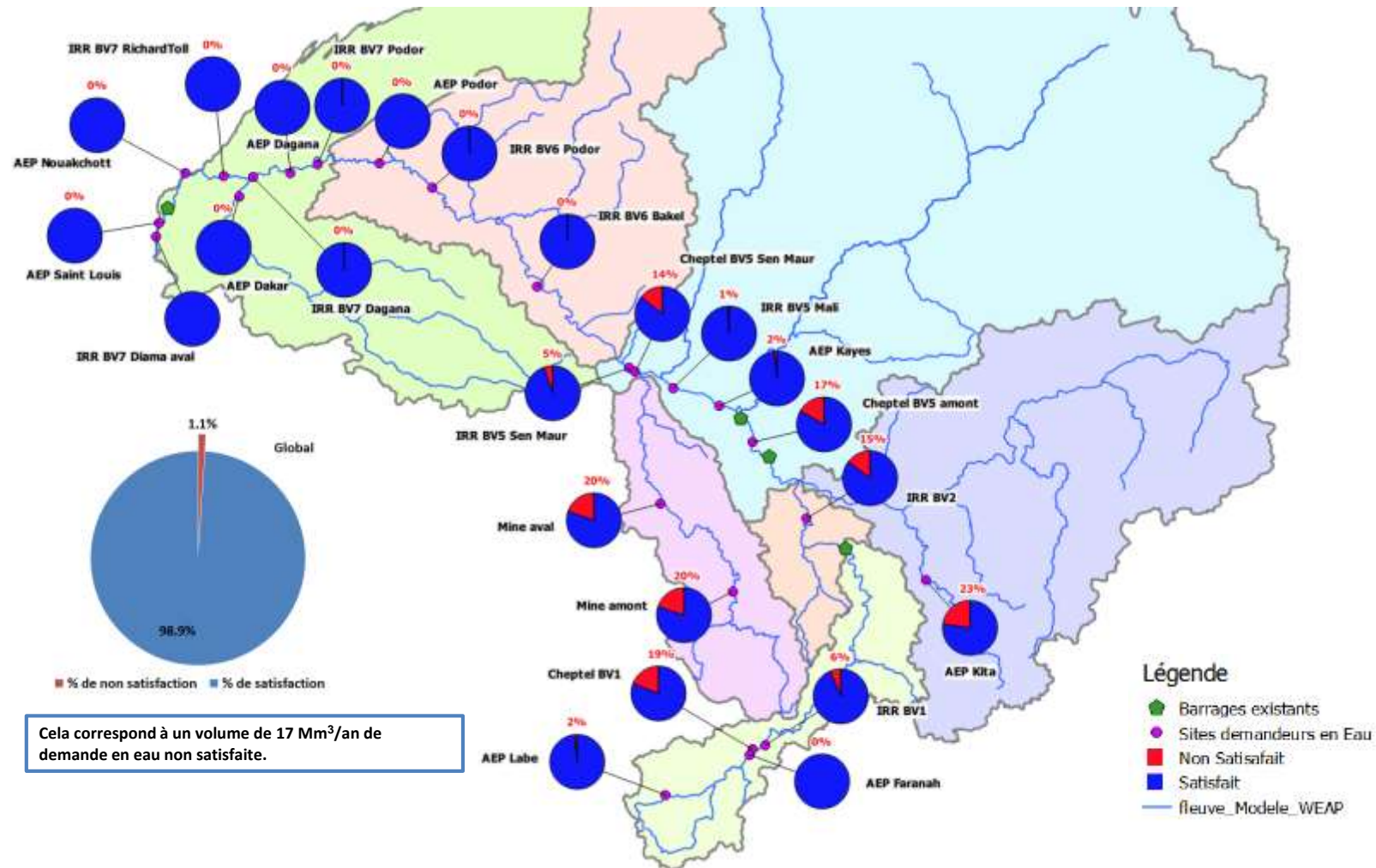
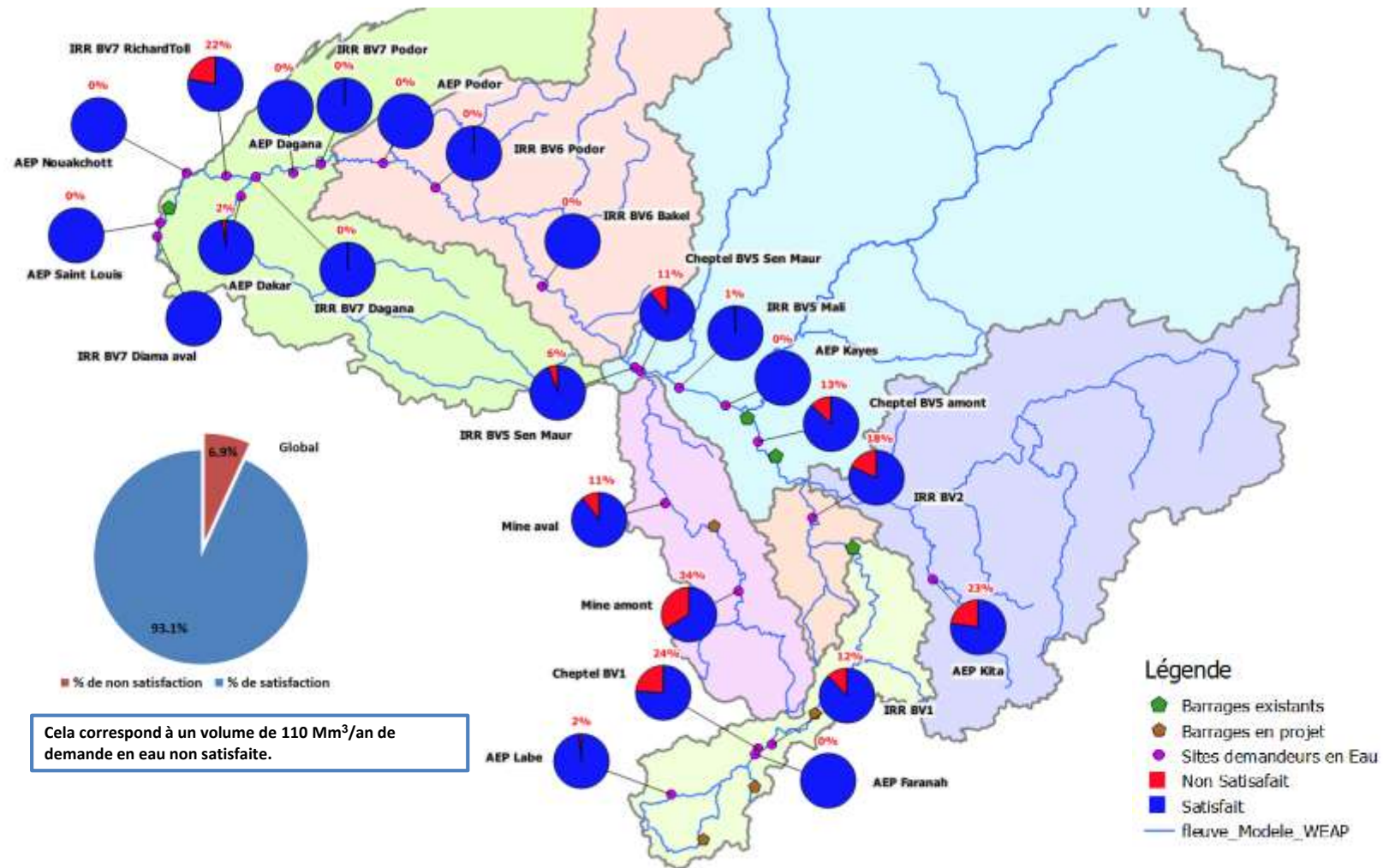


Figure XIII – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence 4 barrages – besoins actuels pour la période humide (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE



Cela correspond à un volume de 110 Mm³/an de demande en eau non satisfaite.

Figure XIV – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins actuels pour la période humide (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

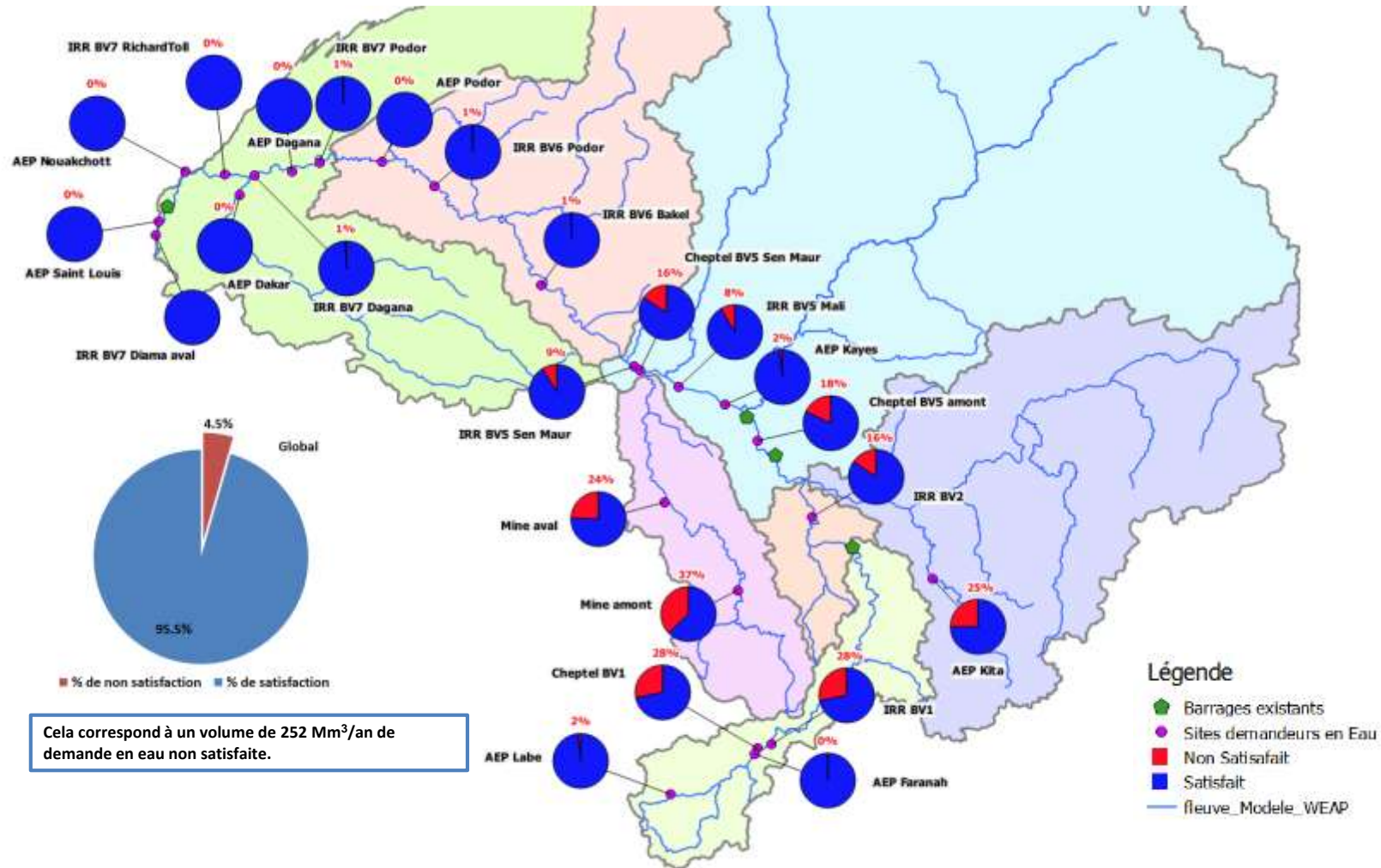


Figure XV – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence 4 barrages – besoins 2025 pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

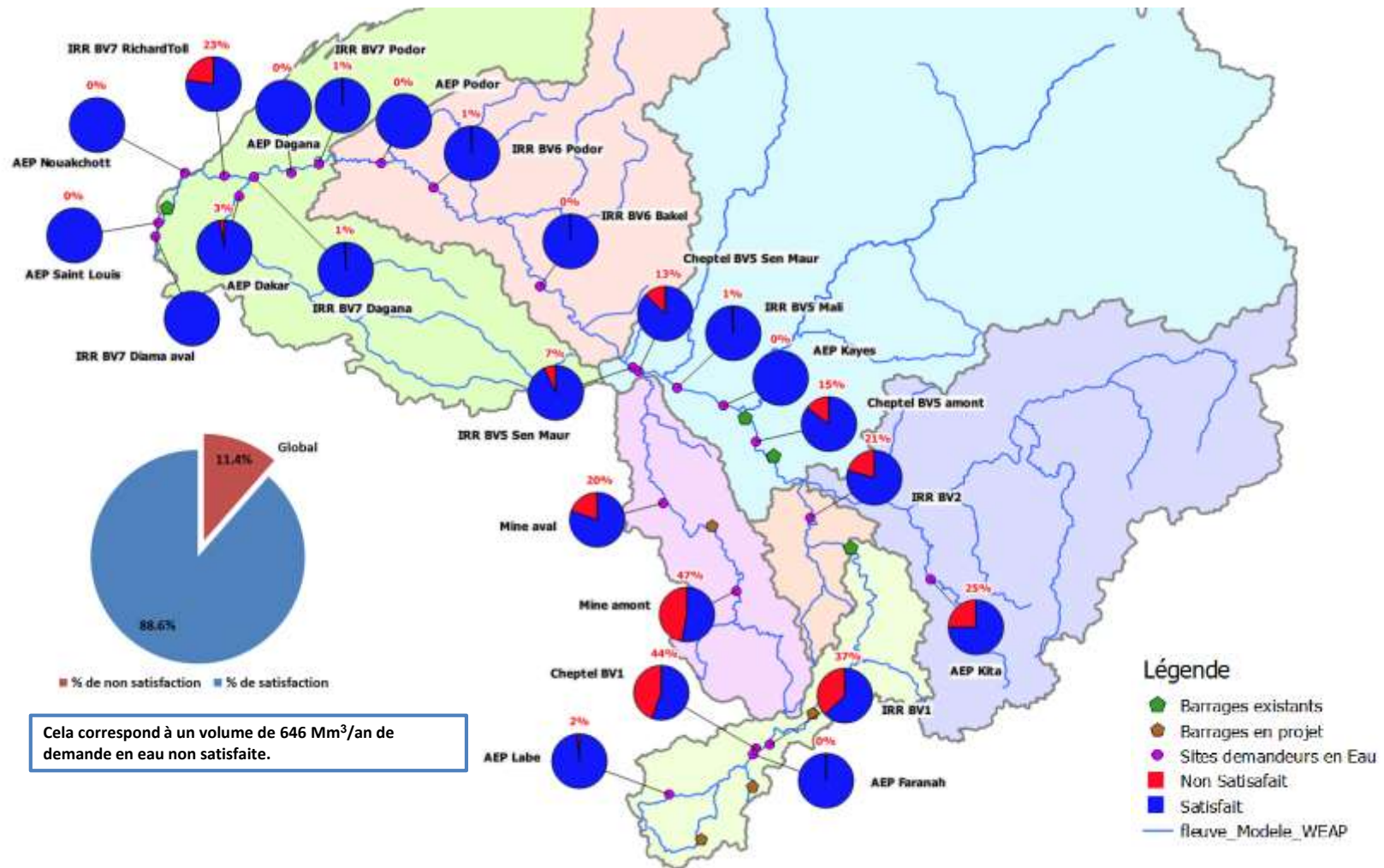


Figure XVI – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins 2025 pour la période humide (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

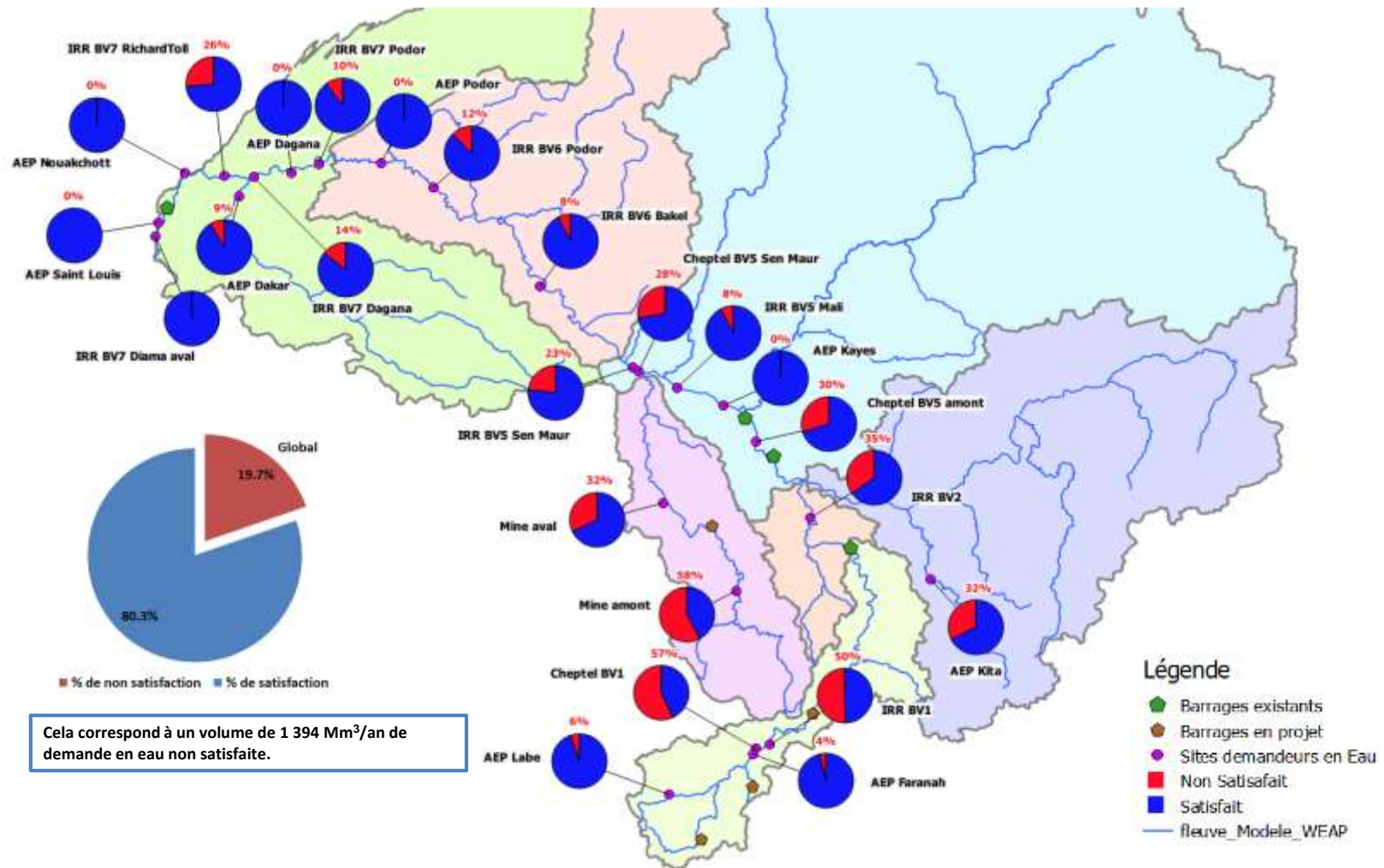


Figure XVII – Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins 2075 pour la période sèche (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

La figure ci-dessous présente l'évolution temporelle du volume stocké dans le réservoir de Manantali pour les différents scénarios en période humide. Le volume stocké oscille entre les niveaux de remplissage minimum et maximum fixés en paramètres (respectivement 3,3 Md m³ et 11,3 Md m³). Le niveau minimum n'est atteint qu'une seule année. Pour une situation donnée d'équipement du BFS en barrages, les différences relatives à l'augmentation des besoins sont faibles quel que soit le scénario de gestion de la ressource. La prise en compte de nouveaux ouvrages régulateurs sur le bassin permet de stocker un volume plus important dans le réservoir mais également de décaler dans le temps le stock. Ainsi, le maximum de stockage se produit principalement de novembre à décembre avec le scénario huit barrages.

En période sèche le niveau minimal de la retenue est atteint très régulièrement.

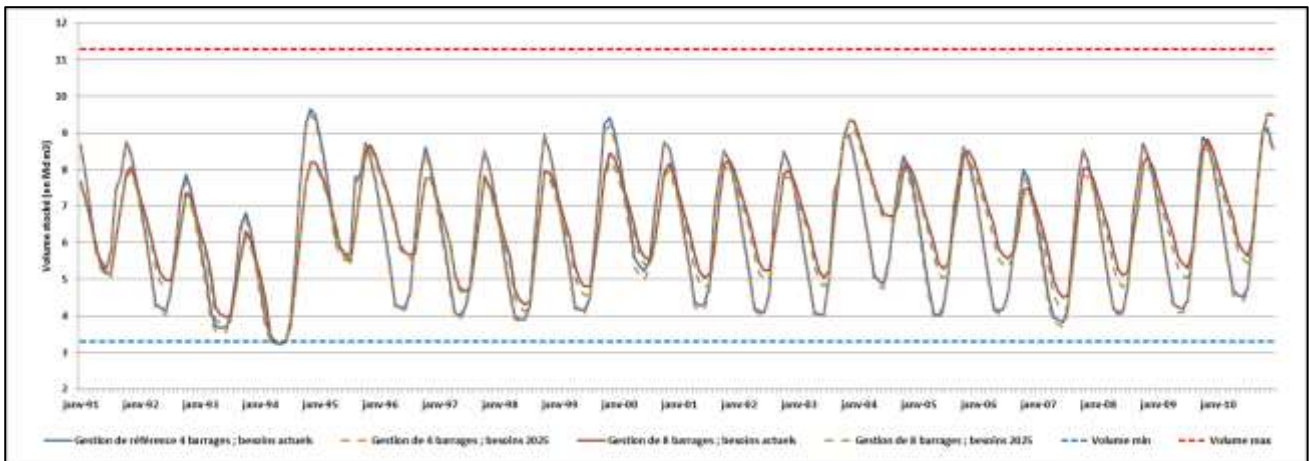


Figure XVIII – Volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les 4 scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025 (source : ce rapport)

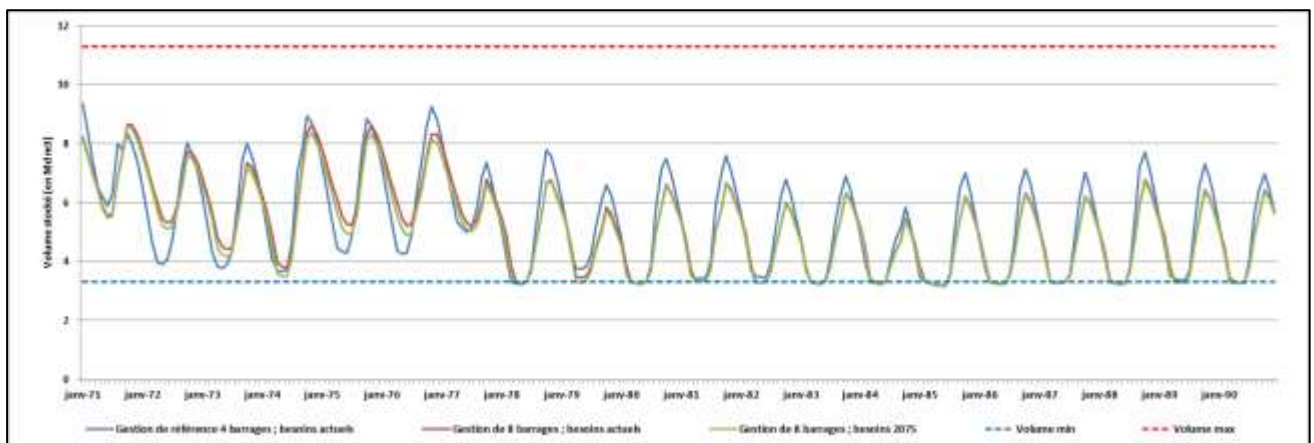


Figure XIX – Volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période sèche sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025 (source : ce rapport)

La figure suivante correspond à une situation où la priorité est donnée à l'hydroélectricité. Elle représente la variation mensuelle des débits simulés à Bakel sur une période humide de 20 ans considérée comme proche de la période 1990 - 2010 pour les deux scénarios de gestion de la ressource (4 et 8 barrages). Les débits environnementaux (bleu foncé), de navigation (bleu) et de crue artificielle selon ROCHE (rouge) et POGR (orange) ont également été représentés.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

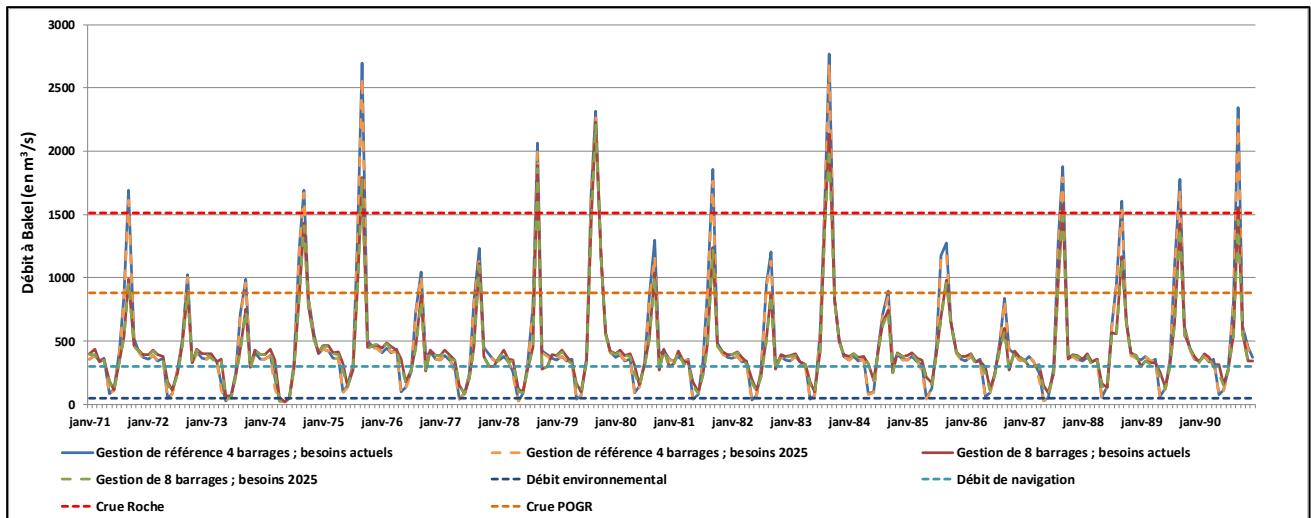


Figure XX – Débits mensuels (m^3/s) simulés à Bakel sous besoins actuels pour les scénarios de gestion de la ressource de référence 4 barrages (bleu) et huit barrages (en rouge) et avec les besoins en projection 2025 4 barrages (en orange) et 8 barrages (en vert) sur une période humide de 20 ans (source : ce rapport)

La courbe bleue correspondant au scénario de gestion de référence (quatre barrages et besoins actuels) montre une alternance de pics. On remarque que le débit environnemental de $52 m^3/s$ est atteint par valeur inférieure (i.e. le débit est inférieur à cette valeur) pour les mois de mai de nombreuses années (11 années sur les 20 ans d'observation). A l'inverse, le débit de crue de $1512 m^3/s$ (ROCHE) en août et septembre est satisfait 5 fois sur la période de simulation de 20 ans et la crue de POGR est satisfait 16 fois sur les 20 années de simulation. Concernant les débits de navigation, en moyenne la navigation est possible pendant 9 mois de l'année. Ces débits sont très proches de ceux obtenus avec une configuration 4 barrages et des besoins en projection 2025.

La courbe rouge correspondant au scénario de gestion huit barrages et besoins actuels montre une alternance de pics moins marquée. Ces débits sont très proches de ceux obtenus avec une configuration huit barrages et des besoins en projection 2025. On remarque que le débit environnemental de $52 m^3/s$ est atteint bien moins souvent que pour le scénario de gestion de référence (quatre barrages). En effet, seule 1 année présente un débit mensuel inférieur au débit minimum préconisé : l'année 1993 pour laquelle il a été montré que les barrages n'ont pu être remplis de manière optimale du fait de la sécheresse de 1992. On observe ainsi l'importance des barrages en soutien d'étiage lorsque la ressource est disponible. A l'inverse, le débit de crue artificiel selon ROCHE de $1512 m^3/s$ en août et en septembre n'est satisfait que 2 fois sur la période de simulation de 20 ans. Le débit de crue artificiel selon POGR est quant à lui satisfait 8 fois. Enfin concernant la navigation, la configuration de 8 barrages ne change pas le temps de navigation possible dans l'année qui reste à 9 mois en moyenne.

La situation est beaucoup plus dégradée en période sèche avec des débits inférieurs au débit environnemental et une réduction des mois de navigation comme on peut le constater sur le tableau de bilan ci-dessous. L'ajout des 4 barrages supplémentaires permet un soutien d'étiage plus récurrent lors des périodes humides. Par contre, avec une pluviométrie plus faible, le maintien d'un débit minimal de $52 m^3/s$ devient plus rare.

En ce qui concerne les cultures de décrue, la crue artificielle selon ROCHE est difficile à mettre en place. Seulement 5 années sur les 20 années d'analyse respectent cette consigne pour la période humide avec une configuration de 4 barrages. Avec l'ajout des quatre barrages supplémentaires et une période de pluviométrie faible, cette consigne est encore plus difficile à respecter.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau X – Synthèse des respects des débits environnementaux et de navigation (source : ce rapport)

	Référence (4 barrages)		8 barrages		Référence (4 barrages)	8 barrages	
	Besoins actuels	Besoins 2025	Besoins actuels	Besoins 2025	Besoins actuels	Besoins actuels	Besoins 2025
	Période humide				Période sèche		
Débit environnemental (Nb de dépassements / 20 ans)	11	11	1	2	18	14	14
Débit de navigation (Nb de mois navigables en moyenne /an)	9	9	9	9	8	8	8
Culture de décrue Roche (Nb d’années respectant la consigne / 20 ans)	5	5	2	2	2	1	1
Culture de décrue POGR (Nb d’années respectant la consigne / 20 ans)	16	15	8	8	9	4	4

Les superficies où il est possible d’effectuer de la culture de décrue sont présentées sur la figure suivante selon les différents scénarios en période humide. Avec une configuration 4 barrages, les superficies de cultures de décrues sont plus importantes qu’avec une configuration de 8 barrages. En moyenne, ces superficies sont 30% plus élevées avec une configuration 4 barrages. Par contre l’augmentation de la demande en eau en projection 2025 a un impact faible sur la superficie des cultures de décrue avec une diminution de 3% en moyenne entre les besoins actuels et la projection 2025. Ces superficies diminuent considérablement en période sèche et certaines années elles sont même nulles.

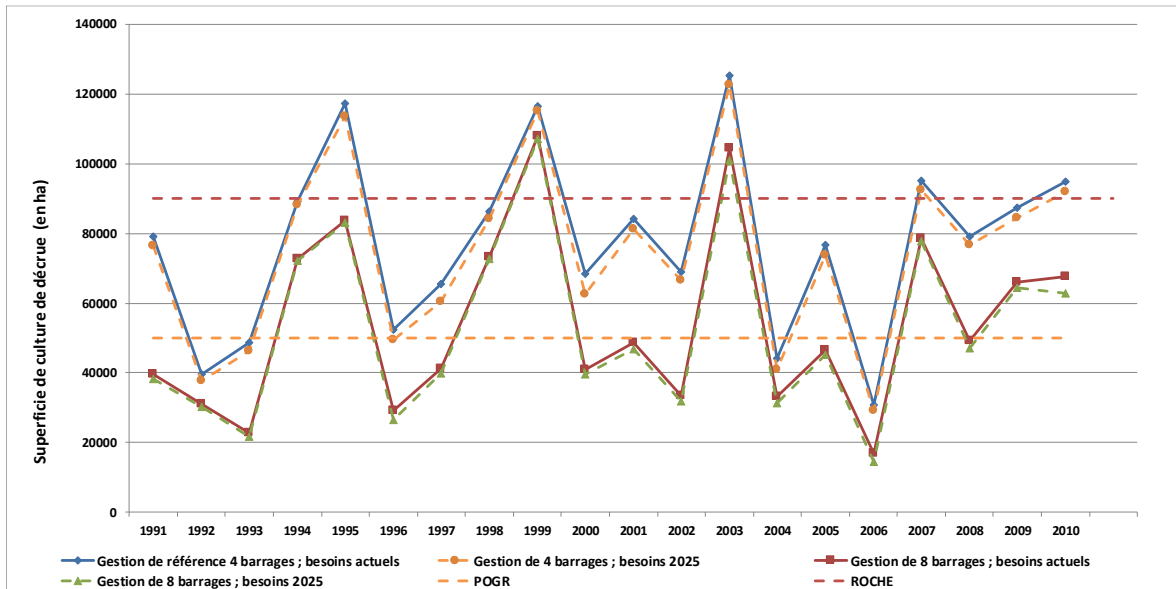


Figure XXI – Superficie des cultures de décrue en période humide sur une période de 20 ans pour les quatre scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025. (source : ce rapport)

Le rôle principal de la retenue de Diama est d’éviter les remontées de la langue saline dans les terres. Un maintien d’un débit minimal à l’aval de la retenue permettrait de protéger les remontées de la langue saline à l’aval du barrage.

Comme pour Bakel, un débit minimum à l’aval de Diama est considéré (ici ce débit est de 50 m³/s). Le tableau ci-dessous permet de faire une synthèse sur les débits à Diama pour les différents

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

scénarios analysés. Ainsi le nombre d'années où le débit à l'aval de Diama est inférieur à ce débit minimum de 50 m³/s ainsi que la durée moyenne (en nombre de mois) de cet étiage sont estimés.

L'ajout des quatre barrages supplémentaires permet un soutien d'étiage plus récurrent lors des périodes humides. Par contre, avec une pluviométrie plus faible, le maintien d'un débit minimal de 50 m³/s devient plus rare.

Tableau XI – Synthèse des respects des débits minima à Diama (source : ce rapport)

	Référence (4 barrages)		8 barrages		Référence (4 barrages)		8 barrages	
	Besoins actuels	Besoins 2025	Besoins actuels	Besoins 2025	Besoins actuels	Besoins actuels	Besoins 2075	
	Période humide				Période sèche			
Débit minimum (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	6	17	1	2	18	17	16	
Débit minimum (Nb moyen de mois sous la consigne / 20 ans)	1	1	1	2	2	3	4	

Les résultats obtenus pour les scénarios avec les priorités de référence ont été comparés aux résultats de scénarios alternatifs où il a été donné tour à tour une priorité moyenne à l'un des besoins autres que l'AEP qui, elle, a été maintenue en priorité haute. Les simulations ont été menées sur la période humide pour les besoins 2025. Les résultats d'analyse sont regroupés dans le tableau suivant dont il ressort les points suivants :

- La **priorisation moyenne des cultures de décrue** (ROCHE et dans une moindre mesure POGR) permet d'augmenter les superficies des cultures de décrue mais dégrade tous les autres indicateurs. Ces deux scénarios paraissent particulièrement pessimistes.
- La **priorisation moyenne de la navigation** permet une augmentation faible (+1mois) des périodes de navigation. Par contre, pour satisfaire ce débit de navigation minimum, tous les autres indicateurs sont également dégradés. Ce scénario paraît peu recommandable.
- La **priorisation de la demande pour l'irrigation** permet d'augmenter le taux de satisfaction de la demande en eau en particulier sur l'amont du bassin. Avec ce scénario, peu d'impacts sont observés sur les remplissages des retenues et les respects des consignes. De plus, les dégradations des indicateurs tels que la production hydroélectrique et les superficies des cultures de décrues restent faibles.
- Enfin, la **priorisation de la production hydroélectrique** engendre certes une certaine dégradation des taux de satisfaction en particulier à l'amont de la confluence du fleuve Sénégal et de la Falémé, par contre, l'augmentation de la production hydroélectrique s'accompagne par une augmentation des réserves d'eau dans les retenues et un soutien à l'étiage amélioré aussi bien à Bakel qu'à Diama. Ce scénario paraît le plus raisonnable car la production hydroélectrique est un usage non consommateur d'eau. Ce scénario reste donc sécuritaire avec des réserves d'eau dans les retenues plus importantes ce qui permet une gestion de la ressource en eau plus durable et moins aléatoire.

De par ces conclusions, il semble intéressant de préconiser un scénario dénommé « tendanciel » qui :

- Garde toujours les demandes en eau potable (AEP) en priorité haute,
- Préconise le respect du débit environnemental, les demandes en eau pour l'irrigation et la production hydroélectrique en priorité moyenne, et,
- Considère tous autres usages en priorité basse.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau XII – Impacts sur les gestions de la ressource en eau pour chaque priorisation moyenne : (i) Hydroélectricité, (ii) Crue artificielle ROCHE, (iii) Crue artificielle POGR, (iv) Irrigation et (v) Navigation. (source : ce rapport)

	Hydroélectricité	Crue de décrue (POGR)	Crue de décrue (ROCHE)	Irrigation	Navigation
Satisfaction de la demande en eau	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Amélioration à l'aval de la confluence Fleuve Sénégal et Falémé. Dégradation à l'amont de la confluence Fleuve Sénégal et Falémé. Au global augmentation de la non satisfaction de la demande en eau (+21%) 	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Dégradation généralisée des taux de non satisfaction des autres usages. Au global augmentation de la non satisfaction de la demande en eau (+20%) 	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Dégradation généralisée des taux de non satisfaction des autres usages. Au global augmentation de la non satisfaction de la demande en eau (+59%) 	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Amélioration des demandes en eau pour l'irrigation. Au global diminution de la non satisfaction de la demande en eau (-11%) 	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Dégradation générale des demandes en eau de l'irrigation, des cheptels et des Mines. Au global augmentation de la non satisfaction de la demande en eau (+5%)
Production Hydroélectrique	<ul style="list-style-type: none"> Faible augmentation de la production hydroélectrique annuelle. Nette augmentation de la production sur les mois d'avril à juin. 	Diminution de la production hydroélectrique (-2%)	Diminution de la production hydroélectrique (-7%)	La priorisation de l'irrigation ne présente pas un fort impact sur la production globale annuelle du bassin (Baisse de 1%)	Pas d'impact
Remplissage des retenues	La retenue de Manantali est marquée par une variation moins marquée et des volumes plus importants.	Une baisse (-13%) notable du volume d'eau stocké dans la retenue de Manantali.	Une baisse notable (-28%) du volume d'eau stocké dans la retenue de Manantali.	Pas d'impact	Une baisse (-5%) du volume d'eau stocké dans la retenue de Manantali.
Respects du débit environnemental	Le soutien à l'étiage est amélioré.	Dégrade considérablement le soutien d'étiage	Dégrade considérablement le soutien d'étiage	Pas d'impact	Dégrade le soutien d'étiage
Respects du débit de navigation	Pas d'impact	Réduit de 0,5 mois en moyenne par an la possibilité de naviguer.	Réduit de 2 mois en moyenne par an la possibilité de naviguer	Pas d'impact	Augmente de 1 mois en moyenne par an la possibilité de naviguer
Respect de la crue artificielle (POGR/ROCHE)	Pas d'impact	<ul style="list-style-type: none"> Dégrade la capacité à produire une crue environnementale de type ROCHE Permet de lâcher plus de 3 années sur 5 un volume égal ou supérieur au volume de la crue POGR. 	<ul style="list-style-type: none"> Ne permet pas d'avoir une forte amélioration d'aide à la réalisation d'une crue environnementale selon ROCHE. Permet de lâcher de façon quasi systématique un volume égal ou supérieur au volume de la crue POGR 	Pas d'impact	Pas d'impact
Superficie des cultures de décrue	Pas d'impact	Augmentation de près de 20% de la superficie de culture de décrue	Augmentation de plus de 49% de la superficie de culture de décrue	Peu d'impact (baisse de 1%)	Baisse de plus de 4% de la superficie de culture de décrue
Soutien d'étiage à l'aval de Diama	Le soutien à l'étiage est amélioré.	Dégrade considérablement le soutien d'étiage	Dégrade considérablement le soutien d'étiage	Pas d'impact	Dégrade le soutien d'étiage

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Les résultats obtenus avec le scénario tendanciel vis-à-vis des priorisations (priorité haute donnée à l'AEP ; priorité moyenne donnée au débit environnemental, à l'hydroélectricité et à l'irrigation ; priorité basse donnée aux autres besoins) ont été comparés à ceux obtenus avec le scénario de référence (priorité haute donnée à l'AEP ; priorité moyenne donnée au débit environnemental ; priorité basse donnée aux autres besoins), ceci dans la situation 8 barrages, période humide et demande en eau 2025.

L'analyse des résultats montre qu'il n'y a pas de variation sur les taux de non satisfactions de la demande en eau potable, mais qu'une certaine amélioration de l'irrigation se fait au dépend du cheptel et des mines.

Tableau XIII – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec deux priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental, Hydroélectricité et Irrigation (Scénario tendanciel). (source : ce rapport)

Usage	"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"		"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025_ scénario tendanciel"	
	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an
Demande Non satisfaite				
AEP Dagana_Richard Toll	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Dakar_Gnit	2.8%	1.3	2.8%	1.3
AEP Kayes	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Nouakchott_Rosso	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Saint Louis	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Faranah	0.1%	0.0	0.1%	0.0
AEP Kita	25.1%	0.3	25.1%	0.3
AEP Labe	1.7%	0.0	1.7%	0.0
AEP Podor	0.0%	0.0	0.0%	0.0
IRR BV1	37.1%	136.9	37.4%	138.1
IRR BV5_Sen_Maur	7.0%	1.2	0.1%	0.0
IRR BV6_Bakel	0.4%	0.6	0.1%	0.2
IRR BV7_Dagana_Richard	0.9%	10.2	0.4%	4.3
IRR BV7_Diama_aval	0.0%	0.0	0.0%	0.0
IRR BV7_Podor_dagana	0.6%	3.6	0.2%	1.0
IRR BV7_RichardToll	22.8%	350.4	22.1%	340.1
IRR Bv2	20.7%	6.1	12.3%	3.6
IRR Bv5_Mali	1.0%	2.2	0.0%	0.0
IRR Bv6_Podor	0.8%	9.5	0.2%	2.9
Cheptel BV1	44.5%	8.0	80.4%	14.5
Mine_Aval	19.8%	1.5	18.0%	1.4
Mine_amont	46.9%	105.4	58.3%	131.0
Cheptel_BV5_Sen_maur	12.7%	2.6	9.8%	2.0
Cheptel_BV5_amont	14.7%	6.6	33.8%	15.2
Somme	11.4%	646.4	11.6%	655.9

La production hydroélectrique annuelle moyenne est légèrement améliorée (+ 7 GWh soit +0.2 % de la production annuelle moyenne). Le scénario tendanciel ne présente pas un fort impact sur la production globale annuelle du bassin. Néanmoins, il apparaît que la production hydroélectrique est augmentée sur les mois d'avril à juin, avec pour le mois de mai une augmentation de 51% de la production.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau XIV – Comparaison de la production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) du débit environnemental, de l’hydroélectricité et de l’irrigation. (source : ce rapport)

Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh)	Configuration 8 barrages															
	Besoins projection 2025								Besoins projection 2025_Hydro_HH							
	Période humide (1990-2010)															
	Balissa	Diarreya	Féla	Goulina	Gouakari	Kakataaria	Manantali	Jon	Balissa	Diarreya	Féla	Goulina	Gouakari	Kakataaria	Manantali	Jon
janvier	6	51	34	59	10	17	109	296	6	41	34	59	10	42	112	324
février	2	58	34	59	8	4	108	274	2	40	34	58	10	5	110	280
mars	1	54	34	58	6	1	102	256	1	57	34	58	7	1	105	264
avril	0	29	33	56	1	1	96	216	0	52	34	58	2	0	102	249
mai	1	9	19	33	0	3	51	119	1	22	26	45	0	3	76	175
juin	10	4	11	19	0	7	21	73	10	4	13	22	0	7	27	83
juillet	52	15	22	37	2	37	25	190	52	14	23	40	3	37	31	200
août	117	82	46	93	8	122	56	546	117	58	45	87	8	119	46	501
septembre	142	109	48	106	12	101	67	585	142	106	48	105	12	97	72	582
octobre	92	157	30	51	12	60	41	443	92	159	30	52	12	60	43	449
novembre	38	116	35	66	11	72	100	432	38	101	23	38	8	45	58	315
décembre	15	67	35	59	10	63	108	358	15	69	35	59	10	71	112	371
Somme	497	761	381	690	83	485	884	3784	497	765	180	683	88	488	895	3791

Le volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali diminue peu par rapport à la situation où l’hydroélectricité est en priorité moyenne et l’irrigation en priorité basse (en moyenne de 1%) en période humide. On peut donc s’attendre à ce que ce scénario tendanciel reste favorable au soutien d’étiage.

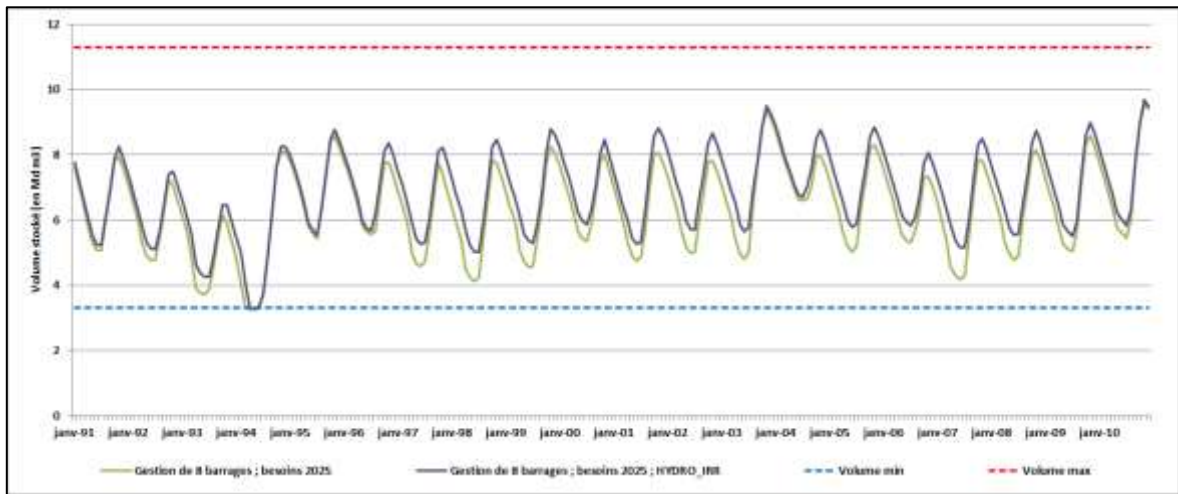


Figure XXII – Comparaison du volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (en vert), (II) du débit environnemental, de l’irrigation et de l’hydroélectricité (en violet). (source : ce rapport)

La priorisation moyenne de l’hydroélectricité impose une variation plus faible des volumes d’eau dans les retenues et des lâchers réguliers pour répondre à la demande de production électrique. Ainsi, le débit environnemental est respecté 19 années sur 20 (contre 18 années sans la priorisation). De même à l’aval de Diama, le maintien de l’étiage est plus souvent respecté. Pour toutes les autres consignes, les résultats restent inchangés.

Tableau XV – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _
Priorité moyenne donnée au Débit environnemental, à l'Irrigation et à l'Hydroélectricité.
(source : ce rapport)

		8 Barrages_Besoin 2025	
		Débit environnemental	Hydroélectricité et Irrigation
		Période humide	
Bakel	Débit environnemental (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	1
	Débit de navigation (Nb de mois navigables en moyenne /an)	9	9
	Culture de décrue Roche (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	2	2
	Culture de décrue POGR (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	8	8
Diama	Débit minimum (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	1
	Débit minimum(Nb moyen de mois sous la consigne / 20 ans)	2	2

Avec une priorisation moyenne du débit environnemental, de l'irrigation et de l'hydroélectricité, les superficies de cultures de décrues sont inchangées par rapport à une priorisation moyenne uniquement sur le débit environnemental.

J. Evaluation de la préparation aux changements climatiques

a) Mesures d'atténuation des Etats membres

Actuellement, les principales mesures d'atténuation des GES prises sont envisagées dans le cadre des accords de Paris. Les CPDN, ultérieurement actualisés et remplacés par les CDN, présentent les engagements des Etats et donc les principales mesures envisagées pour tenir leurs engagements.

Les mesures d'atténuation des quatre Etats membres nécessitent d'importants moyens humains et technologiques, et particulièrement l'appui de la communauté internationale.

b) Mesures d'adaptation des Etats membres

Les mesures d'adaptation à mettre en œuvre dans le BFS doivent être en cohérence avec les stratégies d'adaptation développées par les Etats membres.

Les mesures d'adaptation préconisées par les Etats membres listées dans le présent rapport sont reprises des PANA de chacun des pays.

c) Mesures d'adaptation à l'échelle du bassin

La stratégie d'adaptation sur le BFS doit être développée en cohérence avec les stratégies nationales d'adaptation et participer à leur mise en œuvre. Dans ce cadre l'OMVS a déjà initié, et continuera à initier des actions ou viendra appuyer des initiatives d'adaptation.

L'OMVS a développé des ouvrages importants (barrages réservoirs, barrages hydroélectriques, endiguements) qui participent utilement à la maîtrise de la ressource en eau du BFS. Elle a ultérieurement mis en place des mesures permettant de maîtriser certains effets secondaires

indésirables liés à l’exploitation de ces ouvrages, tels que le développement de maladies hydriques. L’OMVS poursuit le développement de nouveaux ouvrages importants en veillant, dès l’amont des projets, à la maîtrise des impacts environnementaux et sociaux.

L’OMVS a également participé à la mise en place de mesures d’adaptation à plus petite échelle au travers de l’appui à des microprojets. Ceux-ci ont été développés avec les OCB en cohérence avec les stratégies d’adaptation nationales. L’évaluation de ces microprojets est traitée dans le point suivant.

d) Evaluation des microprojets de l’OMVS/GEF

Sur la base du retour d’expérience de l’OMVS et de notre compréhension du BFS nous avons pu effectuer une évaluation a posteriori de quelques micro-projets financés dans le cadre de la Phase 1 du projet GEF. La mission d’études a visité dix micro-projets, répartis dans les quatre Etats, dont huit de la 1^{ère} phase et deux de la seconde phase (en Guinée) ainsi décomposés :

- Dégradation des terres et désertification : 6 ;
- Soutien aux initiatives de gestion des zones humides : 3 ;
- Diversité biologique : 1.

Sur les dix projets visités, quatre étaient destinés spécifiquement à des groupements féminins.

Les aspects financiers, la pertinence du projet, les aspects socio-économiques et les aspects institutionnels ont été analysés.

Certains micro-projets n’ont pas répondu aux attentes, non pas parce qu’ils n’étaient pas pertinents, mais pour des raisons diverses dont la légitimité et le leadership du principal porteur de projet, l’insuffisance du suivi et de l’appui lors de la mise en œuvre et après mise en œuvre, la prise en compte insuffisante des facteurs de durabilité (forte implication des Services techniques), l’approche dans la mise en œuvre.

Si la pertinence des microprojets ne fait l’objet d’aucun doute, il reste vrai que les impacts locaux varient d’un sous-bassin à un autre ou bien d’un site à un autre.

Les microprojets n’ont pas tous été des succès, mais beaucoup d’enseignements peuvent et doivent en être tirés. Il faut continuer dans cette voie en corrigeant les erreurs de cette première vague de microprojets.

e) Conclusion sur l’évaluation de la préparation aux changements climatiques

Les quatre Etats du BFS se sont déjà préparés à travers les PANA à l’atténuation et à l’adaptation. Il est clair que les mesures à prendre sur le BFS doivent être compatibles avec les mesures préconisées dans les PANA. Néanmoins, il est très important d’insister sur le fait que les changements climatiques ne sont pas les seuls responsables des grandes difficultés rencontrées par les populations locales. Comme le ressentent 98% des personnes consultées, les désordres observés seraient avant tout provoqués par la pression abusive des populations locales sur l’environnement avec notamment les coupes abusives de bois et les cultures au niveau des berges entraînant un ensablement des cours d’eau.

Ce ressenti, qui recoupe les observations de terrain signifie, que les changements climatiques viennent exacerber les problèmes systémiques liés à une inadéquation entre ce que l’environnement peut donner et ce qu’on lui demande.

Les mesures d’adaptation ne doivent donc pas être limitées aux seuls impacts des changements climatiques mais doivent être en mesure de résoudre un problème beaucoup plus global lié avant tout à la croissance très rapide de la population et aux nécessaires mutations qui doivent l’accompagner.

K. En conclusion

Le bassin du fleuve Sénégal est soumis depuis les années 1970 à des variations climatiques notables qui se sont d'abord manifestées par une sécheresse sévère qui s'est prolongée jusqu'en dans les années 1990.

La pluviométrie s'est redressée depuis la fin des années 1990 sans pour autant retrouver les hauteurs de précipitations observées avant les années 1970. Mais, depuis quelques années, il est observé un raccourcissement de la saison des pluies doublé d'un caractère aléatoire marqué des précipitations. Les quelques mois où il pleut, les précipitations sont plus intenses provoquant des crues et des inondations.

Les prédictions climatiques suggèrent que d'ici 2050 les précipitations totales annuelles seront peu affectées par rapport à ce qui a été observé sur les années 1990-2010 et suggèrent la pérennité du raccourcissement de la saison pluvieuse. Entre 2050 et 2100 les prédictions suggèrent une légère diminution des précipitations totales annuelles ; on retrouverait des totaux de l'ordre de ceux observés sur la période 1970-2010.

Cette situation erratique observée depuis les années 1970 est très dommageable pour les populations. Il devient très compliqué de pratiquer l'agriculture pluviale. Des récoltes sont perdues, soit parce que la période pour semer n'était pas bien calée, soit parce que la saison sèche arrive trop vite, soit parce que des plantations sont détruites par les inondations.

Néanmoins, les simulations hydriques montrent que, à l'aval des barrages-réservoirs, la demande en eau prélevée dans les cours d'eau devrait être globalement satisfaite jusqu'en 2050, les réservoirs venant compenser la mauvaise répartition des précipitations. Toutefois, ceci se fera au détriment de la culture de décrue.

Ces problèmes de variations climatiques, qu'on peut assimiler aux changements climatiques, viennent exacerber une situation de pression anthropique mal maîtrisée et très dommageable pour l'environnement. La très forte croissance démographique observée en Afrique et particulièrement dans les quatre Etats du BFS, sans qu'une mutation socio-économique n'ait été opérée dans le même temps, conduit à une situation de désespoir. Les populations sollicitent plus que de raison l'environnement avec, pour conséquences, une déforestation massive (charbon de bois), la déstabilisation des cours d'eau par la mise en culture systématique des berges, conduisant à leur ensablement, l'empoisonnement des cours d'eau par l'exploitation minière et par la pêche selon des méthodes illicites, des conflits mal maîtrisés entre les éleveurs et les agriculteurs, etc.

La conjonction des changements climatiques et de la pression anthropique non maîtrisée a des conséquences désastreuses sur l'environnement et sérieuses sur l'équilibre socio-économique des Etats. Dans ces conditions la vulnérabilité des populations est très élevée.

Il est urgent d'opérer une mutation socio-économique qui permette de mieux maîtriser la production des biens dans le respect de l'environnement. Il importe de mettre en place un développement durable. Même si leurs impacts sont une réalité, les grands ouvrages hydrauliques de l'OMVS participent de cette mutation. Ils permettent notamment de réguler l'écoulement des eaux de surface, de produire de l'électricité, d'irriguer des casiers agricoles, de développer la pêche et de faciliter la navigation. Afin d'en atténuer les impacts, la mise en place de ces ouvrages et leur exploitation doivent être accompagnée d'un plan de gestion environnemental et social (PGES). A l'échelle locale, mais susceptibles de produire un effet d'entraînement à l'échelle globale, les microprojets de l'OMVS peuvent et doivent également participer à cette nécessaire mutation en permettant aux populations de se mobiliser autour de projets viables et durables.

Les impacts des premiers ouvrages de l'OMVS ont été maîtrisés (par ex. les maladies hydriques) ou doivent encore l'être (par ex. les plantes aquatiques envahissantes). Il importe de tenir compte du retour d'expérience de ces premiers ouvrages pour la suite de l'aménagement du bassin. Il importe également d'analyser les raisons des succès et des échecs des microprojets et, avec ce retour d'expérience, lancer de nouveaux microprojets corrigés des erreurs des premiers.

1.INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS DU RAPPORT

Malgré son rôle déterminant dans les économies et la stabilité des Etats membres : Guinée, Mali, Mauritanie et Sénégal, le bassin du fleuve Sénégal est actuellement confronté à des difficultés d'ordre structurel mais également environnemental qui ne permettent pas une exploitation optimale de ses ressources. Parmi les problèmes environnementaux, il y a les impacts de la variabilité et des changements climatiques qui sont ressentis dans la zone avec une forte acuité, à l'instar des autres pays du Sahel et même du monde. En effet, les pays en voie de développement comme les Etats riverains du fleuve Sénégal, avec leurs ressources limitées, sont les plus exposés à ces impacts qui compromettent le développement. Ces modifications du climat sont aujourd'hui une réalité et vont se poursuivre, voire s'intensifier, dans l'avenir. Elles entraînent entre autres une accélération de la dégradation des écosystèmes, affectent la disponibilité des ressources naturelles, particulièrement des ressources en eau, et menacent les moyens d'existence et la vie des populations. Conscient des menaces que représentent les changements climatiques sur la gestion durable des ressources en eau et de l'environnement, l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) qui est l'organe de gouvernance régionale du Bassin du fleuve Sénégal a entrepris, à travers le PGIRE 2, un large processus de prise en charge de leurs impacts et d'intégration des risques climatiques à tous les niveaux.

Aussi, l'OMVS s'engage dans un diagnostic approfondi pour mieux appréhender les modifications actuelles et futures du climat à l'échelle du bassin, leurs impacts réels et potentiels sur l'environnement, la disponibilité et la gestion des ressources en eau et sur la vie socioéconomique des populations du bassin. Ensuite, des mesures d'adaptation et de réduction des risques climatiques seront planifiées de manière participative en vue d'un développement durable du bassin.

A l'origine le PGIRE a été formulé pour favoriser l'amélioration des conditions de vie des populations locales dans le BFS, grâce au développement des usages multiples des ressources en eau. Après la mise en œuvre du PGIRE I sur la période 2007 – 2013, la Banque Mondiale et l'OMVS se sont accordées pour poursuivre les activités pendant une seconde phase (PGIRE II) qui s'étendra de 2014 à 2021.

La présente mission d'étude s'inscrit dans le projet PGIRE II.

Le PGIRE II, initialement conçu pour une période de cinq ans a été porté à une durée de sept ans. L'objectif principal du PGIRE II, lancé en juin 2015, est de continuer à améliorer les conditions de vie des populations riveraines pour l'accroissement des activités à usages multiples des ressources en eau tout en renforçant l'intégration régionale entre les quatre pays qui partagent le bassin et qui sont exposés aux impacts des changements climatiques. Il s'agit d'une approche participative en vue d'un développement durable du Bassin avec une utilisation partagée des ressources en eaux.

Le PGIRE II a trois composantes :

- Composante 1 : Développement Institutionnel (19.11 millions de \$US)
 - Renforcer les capacités pour une gestion coopérative. La première composante appuiera aussi bien le développement institutionnel que la mise en œuvre du projet à travers ses sous-composantes.
- Composante 2: développement des usages à buts multiples des ressources en eau (174,23 millions de \$US)
 - Promouvoir les activités génératrices de revenus et améliorer les moyens de subsistance pour les populations du bassin. Cette composante inclut un certain

nombre d'activités multisectorielles de base liées au développement des ressources en eau dans certains sous-bassins.

- Composante 3: Planification et Gestion des infrastructures (29,62 millions de \$US)
 - Faire progresser la planification de ressources d'eau résilientes au climat et le développement dans la région.

1.2. ZONE D'ETUDE - LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

L'évaluation des impacts potentiels et de la vulnérabilité au changement climatique ainsi que la planification de l'adaptation au changement climatique a porté sur l'ensemble du bassin du fleuve Sénégal.

Le bassin du fleuve Sénégal (BFS) est une zone stratégique dans la sous-région ouest-africaine vu les contextes actuels de raréfaction de la ressource eau douce d'une part, et de hausses de la demande pour les multiples usages. En effet, cette zone qui s'étend sur une partie de la Guinée, du Mali, du Sénégal et de la Mauritanie, permet de remplir des fonctions vitales du point de vue écologique, hydraulique et socioéconomique. Ainsi, par ses importants potentiels hydriques et fonciers, il est le support d'activités socio-économiques comme l'agriculture, l'élevage, la pêche, la production d'énergie, les transports et le tourisme, répondant ainsi aux besoins fondamentaux des populations.

Le bassin du fleuve Sénégal est situé dans la partie occidentale de l'Afrique au sud du Sahara, entre les latitudes 10°30 et 17°30 Nord et les longitudes 7°30 et 16°30 Ouest. Il s'étend sur quatre pays: la République de Guinée, la République du Mali, la République Islamique de Mauritanie et la République du Sénégal.

1.3. OBJECTIF DU PRESENT RAPPORT

L'OMVS a besoin d'un diagnostic approfondi pour mieux appréhender les modifications actuelles et futures du climat à l'échelle du bassin et de quantifier leurs impacts réels et potentiels sur l'environnement, sur la disponibilité et la gestion des ressources en eau et sur la vie socioéconomique des populations du bassin.

Le Rapport R2 – Diagnostic d'évaluation de la vulnérabilité constitue le premier rapport de la phase 2 - Collecte, analyse des données et diagnostic. Il a pour objectif principal de faire un état des lieux de la situation sur le bassin du fleuve Sénégal.

Conformément aux Termes de Références (TdR) de la Mission, les objectifs du Rapport R2 sont de :

- Identifier les tendances climatiques actuelles dans le bassin du fleuve Sénégal et les scénarios probables du changement climatique dans le bassin partant de modèles climatiques globaux et régionaux ;
- Evaluer la vulnérabilité des barrages existants sur le fleuve Sénégal et proposer des mesures d'actualisation des modèles de gestions des ressources en eaux utilisés par l'OMVS en prenant en compte les changements climatiques ;
- Analyser les impacts potentiels du changement climatique sur les grands secteurs économiques et les écosystèmes ;
- Evaluer la perception et les connaissances des populations du Bassin des phénomènes climatiques et de leurs impacts ;
- Evaluer la préparation des Etats à la prise en charge de la variabilité et des changements climatiques ainsi que des mesures d'adaptation et d'atténuation (existantes et en cours de mise en œuvre dans le Bassin) ;

- Evaluer les micro-projets financés dans le cadre de la Phase 1 du projet GEF et mis en œuvre par les populations à travers des Organisations Communautaires de Base (OCB) (pertinence, impacts, cadre institutionnel, financement...).

Conformément aux TdR, le processus d'évaluation a été mené de manière participative et inclusive avec le concours de toutes les parties prenantes à savoir les Cellules nationales de l'OMVS, les services techniques étatiques, les institutions de recherches et universitaires, les Comités Nationaux de Coordination / Comités Locaux de Coordination, les ONG et autres partenaires au développement présents dans les 4 Etats.

1.4. ORGANISATION DU RAPPORT

Dans la première partie de ce rapport, le Consultant présente l'objectif et le contexte de cette étude. Le PGIRE II s'inscrit, à la suite du PGIRE I, dans une volonté de continuer à améliorer les conditions de vie des populations riveraines pour l'accroissement des activités à usages multiples des ressources en eau tout en renforçant l'intégration régionale entre les quatre pays du bassin versant. Il s'agit d'une approche participative en vue d'un développement durable du Bassin avec une utilisation partagée des ressources en eaux.

Dans la deuxième partie, le Consultant présente le bassin du fleuve Sénégal, les affluents du fleuve Sénégal et le découpage en sous bassins utilisé pour l'étude. Dans une troisième partie, le Consultant présente le déroulement de la phase de collecte des données et de visite sur le terrain. Dans une quatrième partie, le Consultant analyse les données collectées pour identifier les tendances climatiques actuelles et grâce à l'utilisation de modèle régionaux climatiques, le Consultant présente les tendances climatiques futures globales sur le BFS et pour chaque sous bassin versant. Cette partie permet de faire un état des lieux actuels et futurs sur la ressource en eau dans le bassin du fleuve Sénégal.

Dans une cinquième partie, le consultant utilise les données collectées lors des enquêtes mais également celles provenant de l'étude bibliographique (SDAGE et autres études), pour faire un état des lieux des grands secteurs économiques et environnementaux. A partir de cet état des lieux et des tendances climatiques identifiées dans la partie précédente, le Consultant fait un diagnostic global de la vulnérabilité du BFS au changement climatique. Ce diagnostic porte aussi bien sur les secteurs économiques et environnementaux que sur le mode de gestion actuel de la ressource en eau par les barrages et sur les modèles de l'OMVS. Dans cette partie, le Consultant présente les zones vulnérables du bassin du fleuve Sénégal. A la fin de cette partie, le Consultant présente les résultats d'un modèle hydrique d'adéquation ressources besoins. Ce modèle utilise pour point de départ les données résultant de l'état des lieux.

Dans une sixième partie, le Consultant analyse la préparation des Etats et du BFS face aux changements climatiques. Le Consultant rappelle les différentes mesures d'adaptation recommandées et analyse les résultats de la mise en œuvre de certaines de ces mesures à travers des microprojets financés dans le cadre de la phase 1 du GEF. Il évalue également les mesures d'atténuation mises en place dans chaque pays.

Une dernière partie permet de conclure sur la vulnérabilité du BFS face aux changements climatiques.

2. LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

2.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE SENEGAL

Avec une longueur de 1800 km et un bassin de près de 300 000 km², le fleuve Sénégal est le deuxième plus grand cours d'eau d'Afrique de l'Ouest après le fleuve Niger. Il est formé par la réunion du Bafing et du Bakoye à Bafoulabé au Mali. La composante principale du fleuve, le Bafing, avec une longueur de près de 800 km, prend sa source dans le plateau central du massif du Fouta Djalou, près de la ville de Mamou (Guinée) (Figure 1).



Figure 1. Le bassin du fleuve Sénégal (source : Actualisation de la Monographie du fleuve Sénégal, OMVS, 2012)

A Bafoulabé, en aval de Manantali, le Bafing est rejoint par le Bakoye qui prend naissance dans les Monts Ménien en Guinée à 760 m d'altitude. Le fleuve Sénégal, ainsi formé par la jonction entre le Bafing et le Bakoye, reçoit la Kolimbiné puis le Karokoro sur la droite et la Falémé sur la gauche, à 50 km en amont de Bakel. La Falémé prend sa source dans la partie Nord du Fouta Djalou en Guinée, à 800 m d'altitude. A Bakel, le volume annuel moyen des écoulements du fleuve Sénégal est de 22 milliards m³ (période de référence 1904-1999). Les apports en aval de Bakel sont relativement réduits. Parmi les affluents notables en aval de Bakel, on peut noter l'Oued Ghorfa, le Niorde et le Gorgol (partie mauritanienne de la rive droite). Ces cours d'eau jouent en fait un rôle d'affluents (avec des apports relativement réduits) pendant la saison des pluies et un rôle de défluent sur la majeure partie de l'année (saison sèche).

Le bassin versant du fleuve Sénégal, le fleuve et ses affluents, sont décrits, entre autres, de façon détaillée dans le rapport d'actualisation de la Monographie du fleuve Sénégal effectuée en 2012. Les aspects physiques (hydrographie, climatologie, géologie, pédologie, couvert végétal, etc.) y sont traités en détail.

Le bassin versant du fleuve Sénégal s'étend sur quatre pays. Sa superficie est inégalement répartie entre les différents pays membres :

- 22% au Sénégal (régions septentrionale et orientale)
- 30% en Mauritanie (région méridionale)
- 38% au Mali (partie occidentale)
- 10% en Guinée (Hauts Plateaux du Fouta Djallon)

On a l'habitude de scinder le bassin versant en trois grandes parties :

- Le bassin du Sénégal supérieur en amont de Bakel, région montagneuse et bien arrosée, et constitué des bassins versants de la Falémé, du Bafing, du Bakoye et du Baoulé, et qui se partage entre les trois pays : Guinée, Mali et Sénégal. Le haut bassin a une superficie de 218 000km².
- Le bassin du Sénégal inférieur en aval de Bakel, zone très plate, où le fleuve présente des méandres dans une vallée très large ;
- Le delta, en aval de Dagana, secteur écologique de première importance en Afrique subissant les conséquences des aménagements en amont (les barrages de Diama et Manantali)

Le point le plus haut du bassin est à 1 330 m dans le Fouta Djallon, en Guinée.

L'évaluation des ressources en eau du bassin du Sénégal se fait au niveau de la station de Bakel considérée comme étant la station-clé du fleuve Sénégal parce que située à l'aval de la confluence du dernier affluent important qui est la Falémé. Le module du fleuve mesuré à Bakel, est d'environ 690 m³/s, correspondant à un apport annuel de l'ordre de 22 milliards de m³. L'écoulement moyen annuel évolue entre les valeurs extrêmes de 6,9 milliards m³ minimum à 41,5 milliards m³ maximum. Depuis la construction et mise en service du barrage de Manantali en 1988, le maximum enregistré est de 4 485 m³/s en 1999.

Cependant, pendant la période humide (avant la sécheresse des années 1970), des débits instantanés atteignaient les 7 000 m³/s comme en 1890, en 1906, en 1950 ou en 1958. Ce sont ces crues exceptionnelles (hautes eaux) occasionnées par les écoulements des différents affluents qui provoquent des dégâts importants dans la vallée. Malgré le laminage important des crues par stockage au niveau du barrage de Manantali sur le Bafing, ce phénomène a été enregistré en 1994, 1999 et 2003 occasionnant des inondations dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal. Ces inondations ont fait disparaître une partie du village de Donaye en 1999 et obligé les autorités sénégalaises à ouvrir en 2003 un canal de délestage sur la langue de Barbarie pour protéger Saint-Louis des inondations.

2.1.1. Les principaux affluents du fleuve Sénégal

Le bassin du fleuve Sénégal en territoire malien couvre une superficie de 157 400 km². Il est formé de plusieurs affluents dont les principaux sont le Bafing (38 400 km²), le Bakoye (85 000 km²) et la Falémé (29 000 km²). Le Bafing est considéré comme la branche mère et prend sa source dans le massif du Fouta Djallon en Guinée à environ 800 mètres d'altitude. Le Bakoye rejoint le Bafing à Bafoulabé (région de Kayes) et forme le fleuve Sénégal à partir de cette localité. La Falémé rejoint le fleuve Sénégal à environ 50 kilomètres à l'amont de Bakel. Les autres affluents de faibles apports en territoire malien sont la Kolombiné et le Karakoro.

2.1.1.1. Le Bafing

Le Bafing prend sa source dans le massif de Fouta Djallon, au Nord Est de Mamou en Guinée, à environ 800m d'altitude. Il circule sur sa partie amont entre des massifs granitiques et doléritiques qui l'obligent à prendre des orientations très diverses jusqu'en amont de la station Daka-Saidou. Il traverse ensuite le plateau de grès infracambriens. Dans cette région au relief peu accusé, le

Bafing décrit de nombreux méandres. Dans cette partie de son cours, on relève la présence d'un certain nombre de petits rapides dus à des seuils formés par des bancs de grès infracambriens.

Le Bafing a un bassin versant de 38 400km².

A Bafoulabé, (km 750), le Bafing reçoit le Bakoye sur sa rive droite et devient le Sénégal. Il prend une direction SE-NW et traverse une zone plane parsemée de quelques chutes et de seuils.

Le fleuve Sénégal, reçoit ses principaux affluents en rive droite jusqu'à Bakel, La Kolimbiné et le Karakoro. En rive gauche le seul affluent important est la Falémé qui rejoint le fleuve Sénégal 50 km en amont de Bakel.

2.1.1.2. Le Konkouré

Le Konkouré est un affluent du Bafing. Il prend sa source à 25 km de la ville de Mamou et draine toutes les eaux de la partie occidentale de la préfecture de Mamou. Ce cours d'eau à un régime tropical avec de fortes variations annuelles.

2.1.1.3. Le Bakoye

Le Bakoye a un bassin versant de 85 600 km². Il prend sa source à 760 m d'altitude environ dans la région des monts Menien (11°50' N, 9°40' W), au nord-ouest de Siguiri. Il traverse une région granitique très escarpée avec beaucoup de chutes et de rapides.

Son principal affluent est côté rive droite : le Baoulé. Après 561km, il se jette dans le Bafing en amont de Bafoulabé.

2.1.1.4. Le Baoulé

C'est le principal affluent du Bakoye, son bassin versant fait 59 500 km². Il prend sa source à 750 m d'altitude, dans la région sud-est de Bamako. Il traverse dans la partie supérieure de son cours des reliefs doléritiques puis débouche sur le plateau Mandingue où sa faible pente et le manque de relief lui font décrire une série de nombreux méandres.

Le Baoulé a un régime semi permanent, il coule de juin à mars. Le volume annuel moyen d'eau écoulé à Oualia est de 5 800 Mm³.

2.1.1.5. La Falémé

La Falémé est le principal affluent rive gauche du Sénégal. Le bassin versant du Falémé fait 28 900 km². La Falémé prend sa source à 800 m d'altitude dans une région de plateaux doléritiques. Son cours supérieur est assez irrégulier afin de contourner les sills doléritiques importants. Elle traverse ensuite une région plus plate, constituée de schistes birrimiens. En amont de Fadougou, elle reçoit le Koulounko, son principal affluent. Après 626 km, en aval de Kidira, elle se jette dans le Sénégal. Son cours d'eau longe pendant une grande partie la frontière Sénégal-Maliennne.

La Falémé coule généralement de juin à avril et le volume d'eau écoulé à la station de Gourbassi est d'environ 2 150 000 000 m³ d'eau.

La Falémé est caractérisée dès sa sortie des reliefs doléritiques par une série impressionnante de méandres.

2.1.1.6. La Kolimbiné

Le cours supérieur de la Kolimbiné est formé par la rivière Ouadou qui prend naissance dans la région sud-est de Niore du Sahel à une altitude d'environ 300 m. La rivière traverse une région très plate et ensablée constituée par des schistes et des grès précambriens.

Le bassin du Ouadou, bien que rattaché topographiquement à celui de la Kolimbiné, forme une unité distincte du point de vue hydrographique à cause de l'endoréisme qui le caractérise.

Dans son cours inférieur, la Kolimbiné traverse une suite de dépressions marécageuses dont la plus remarquable est celle de Magui, avant de se jeter dans le Sénégal, en amont de Kayes. Ses apports sont relativement peu abondants dû à l'aridité croissante du climat.

Le Kolimbiné est un cours d'eau saisonnier, il coule de juin à février et débite un volume annuel d'environ 218 000 000 m³.

2.1.1.7. Le Karakoro

Le Karakoro prend sa source dans la région située au nord-est de Kiffa et se jette dans le Sénégal en aval d'Ambidédi. Sa pente est faible et il traverse également des zones basses et marécageuses. Tout comme la Kolimbiné, ses apports sont relativement faibles et son régime est semi permanent. Il coule de juillet à octobre.

2.1.1.8. Les affluents du Sénégal inférieur

Le Doué est le principal bras secondaire du Sénégal, il part de Kaedi et rejoint le Sénégal au niveau de Dagana.

Sur le bassin inférieur du Sénégal, on compte quelques affluents côté rive droite : les oueds Ghorfa (193 km de long) et Niorde, ainsi que le Gorgol. Le Gorgol est composé du Gorgol blanc (345 km de long) et du Gorgol Noir (194 km de long). Ces affluents prennent leurs sources dans le massif gréseux de l'Assaba. Etant donnée la pluviométrie de cette région, les apports de ces affluents ne sont pas comparables avec ceux de la Falémé ou du Bakoye.

2.1.2. Les défluents du Sénégal inférieur

Sur la carte ci-dessous, on peut localiser les principaux lacs du Bassin du fleuve Sénégal. Ils sont alimentés par le Sénégal.

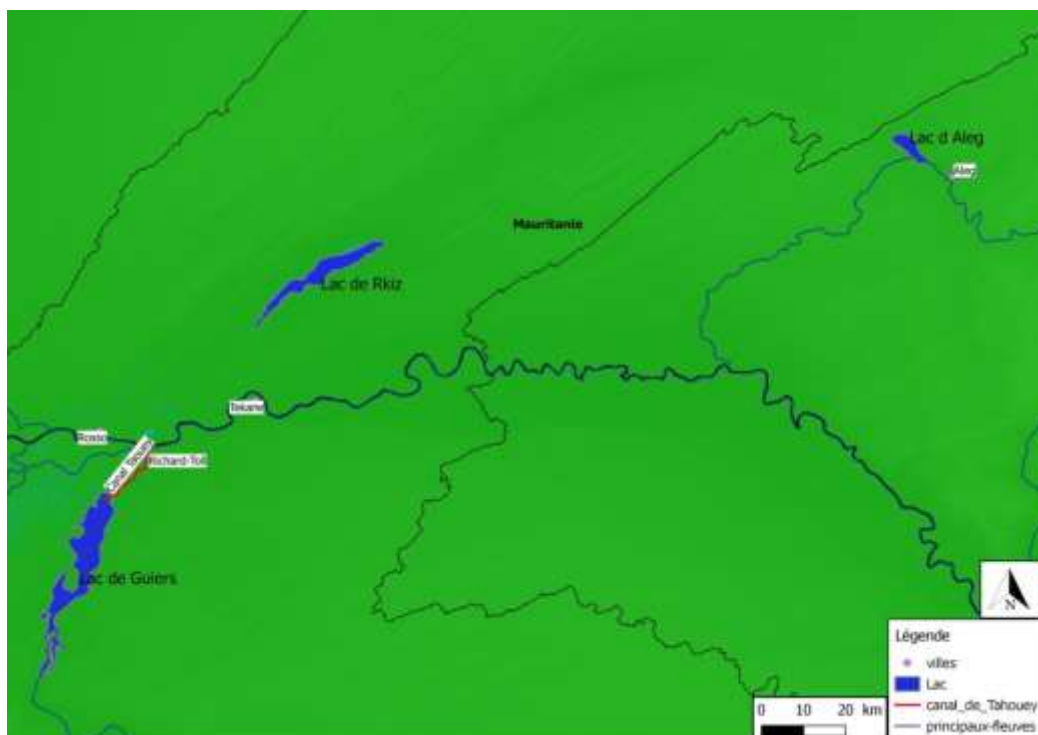


Figure 2. Localisation des lacs sur la partie aval du BFS (source : Google et ce rapport)

2.1.2.1. Lac de Guiers

Le complexe Tahouey-lac de Guiers-Bas Ferlo s'étend sur près de 120 km, du pont barrage de Richard Toll à Mboula, dans la zone Est du bas Ferlo. Ce complexe est l'exutoire naturel de la vallée du Ferlo, dont le bassin versant s'étend sur 50 000 km² dans la région nord-est du Sénégal.

C'est un lac plat comme la plupart des lacs sahéliens⁴, sa profondeur ne dépasse pas 2,5 m. La profondeur moyenne est de 1,3 m. À la cote + 2, sa superficie atteint 300 km² pour un volume de 600 millions de m³⁵.

Le lac de Guiers est situé dans le delta du fleuve Sénégal. Il est alimenté par la Tahouey, l'un des principaux défluent du fleuve Sénégal. Il est situé à l'entrée du delta du fleuve Sénégal et est relié au fleuve par le canal de la Tahouey. Le Lac de Guiers est alimenté gravitairement depuis la retenue de Diama par le canal de Tahouey. Deux ouvrages construits sur ce canal (pont-barrage, vannes) permettent de contrôler les transferts d'eau. Le canal est géré par la Compagnie sucrière sénégalaise (CSS).

Depuis la construction d'un barrage équipé de vannes sur la Tahouey, des volumes assez importants sont prélevés chaque année d'août à novembre dans le Sénégal au droit de Richard-Toll et stockés dans le Lac de Guiers à des fins hydro-agricoles. Des dispositions ont été prises peu après la construction de l'ouvrage en vue de la détermination des volumes qui transitent annuellement vers le Lac de Guiers.

Il est l'une des plus importantes réserves d'eau douce du Sénégal avec de près de 300 km² de superficie et une réserve de 600 millions de m³. Il s'agit d'un réservoir à but multiple, particulièrement important pour le développement socio-économique du Sénégal. Les ressources en eau du lac sont indispensables à l'alimentation en eau potable de la région de Dakar, des localités riveraines du lac et de Dakar. Elles contribuent aussi au développement des activités agro-sylvo-pastorales, piscicoles, touristiques et de chasse des régions de Tahouey - lac de Guiers - Bas Ferlo.

Il est intéressant de le présenter, car il concentre l'ensemble des problèmes posés à l'équilibre écologique d'un lac, tout en faisant l'objet d'une forte compétition pour la ressource.

Les apports du fleuve Sénégal en période de basses eaux sont de l'ordre de 100 à 150 m³/s. Dans le SDAGE, il est estimé que l'évaporation est de l'ordre de 50 m³/s. La part de l'évaporation dans les apports en basses eaux est donc relativement élevée, elle représente en effet plus de 30%.

Le débit résiduel, environ 100 m³/s est partagé entre les différents usages en rive droite et en rive gauche du fleuve Sénégal.

Il semble donc que les prélèvements sur le lac de Guiers doivent faire l'objet d'une attention particulière. Des projets d'alimentation du lac par la Tahouey à partir de Diama ou par une nouvelle réserve sont en cours de réflexion afin d'améliorer les débits de basse saison.

2.1.2.2. Le lac d'Aleg et de Mâle, région du Brakna

Le lac d'Aleg se situe sur le bassin versant de l'Oued Ketchi et le Lac de Mâle est lui situé sur le bassin versant de l'Oued Leye.

Le lac d'Aleg se situe au sud-ouest de la Mauritanie, à l'extrémité orientale du bassin sénégal-mauritanien. Il fait partie de la Moughataa d'Aleg, elle-même située dans la Wilaya du Brakna. De par sa richesse hydrique et floristique, le lac constitue une zone d'attractivité très forte dans cette région caractérisée par un climat de type saharo-sahélien.

⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/Lac_de_Guiers

⁵ LE LAC DE GUIERS : FONCTIONNEMENT, BILANS HYDRIQUES, EVAPORATION D'UNE NAPPE D'EAU LIBRE EN ZONE SAHELIEENNE (Sénégal), Faculté de Science de Dakar, 1982

Le lac constitue une réserve d'eau stratégique pour la région. L'eau est utilisée majoritairement pour l'usage agricole (88%) mais également pour l'alimentation en eau douce des populations (9%) et des usages industriels (3%). Outre ces usages, l'infiltration des eaux du Lac permet la recharge de la nappe souterraine, et l'évaporation contribue à la régulation locale du climat.

La topographie du lac n'est marquée par aucun relief, à part les dunes bordières. Le niveau minimal est à 67,39 m et la cote maximale à 70 m. Avec une profondeur maximale de 2,6 m, c'est un lac à topographie très plane d'orientation NE-SO. Le lac est plus profond à proximité du barrage, à l'emplacement des échelles limnimétriques.

L'Oued Ketchi est équipé de plusieurs petits barrages construits avec l'aide de l'Union Européenne. Sur le bassin versant du lac de Mâle, on ne trouve qu'un gros barrage en béton, celui de Mâle lui-même. Ces barrages servent principalement à l'agriculture. Au fur et à mesure de la décrue de la surface en eau, les sols limono-argileux très fertiles de la cuvette sont mis en culture. La région de Brakna accueille une agriculture derrière barrages qui est principalement une agriculture de décrue. La région représente 3.6% du territoire agricole de la Mauritanie dont plus de 30% des surfaces irriguées Mauritaniennes.

Les données de débits sur l'oued Ketchi alimentant le lac d'Aleg sont quasi inexistantes.

Le lac de Mâle a un volume de stockage de 13.65 Mm³. Le Lac d'Aleg a lui un volume de stockage de 66 millions de m³.

2.1.2.3. Lac de Rkiz

Le lac de Rkiz est une dépression communiquant avec le Sénégal par de multiples chenaux alimentés en fonction de l'importance de la crue. En plus de cette cuvette située dans le lit majeur du fleuve, il y a plusieurs zones propices aux cultures de décrue au niveau de certains affluents / comme la vallée du Gorgol en lien avec des aménagements hydro agricoles.

2.1.3. Caractéristiques physiques du delta du fleuve Sénégal

Le Delta, partie terminale du fleuve, en aval de Dagana, bien qu'ayant de multiples bras, n'a qu'une seule embouchure. Il commence à partir de Rosso à environ 165 km de l'embouchure. Avant les aménagements, les eaux du fleuve inondaient chaque année les terres du delta. Des aménagements pour l'irrigation et la protection contre les inondations ont été réalisés. Cette partie comprend deux lacs importants :

- En rive gauche, coté Sénégalais, le lac de Guiers, connecté au fleuve Sénégal par le canal de la Taouey, dont le réseau hydrographique d'alimentation et de drainage est particulièrement compliqué ;
- En rive droite, coté Mauritanie, le lac de Rkiz, au nord-ouest de Podor.

Le tronçon comprend des agglomérations en bordure du fleuve, avec notamment les villes de Dagana, Richard-Toll et Rosso. Cette vaste zone complètement plate était envahie par les eaux salées de l'océan pendant la saison sèche. Dans cette partie, le fleuve Sénégal est large de 400 à 500 m et relativement profond. Dans cette partie du bassin, la protection contre la remontée des eaux salées en saison sèche est une préoccupation de longue date. En effet, entre 1916 et 1947, lors de chaque saison sèche, un barrage provisoire en terre était construit sur la Tahouey jusqu'à la construction en 1947 du pont barrage de Richard Troll. En 1984 et 1985, un barrage en terre provisoire a été mis en place peu plus en aval, au niveau de Nkeune. L'influence de la marée se faisant sentir de façon plus importante, en 1985 le barrage anti-sel de Diama a été construit et mis en service, empêchant depuis la remontée des eaux salées. Actuellement l'effet de la marée se limite à la partie du fleuve à l'aval de l'ouvrage.

Dans le delta, la pente est de l'ordre de 0,6 cm/km en période d'étiage et peut atteindre une valeur proche de 1 cm/km en période de hautes eaux.

Le fonctionnement du système hydrologique naturel du delta du fleuve Sénégal, s'articule autour d'un dense réseau de marigots dans la plaine alluviale, interconnecté à un ensemble de cuvettes, lacs et vallées qui se disséminent dans le domaine continental (Ferlo).⁶

L'artère principale du fleuve Sénégal qui achemine les flux provenant du haut bassin, donne naissance, dans le delta, à une dizaine de marigots reliés entre eux. C'est par leur intermédiaire que le fleuve approvisionne en eau les nombreuses cuvettes du delta, en particulier celles du Djoudj (20 000 ha) et du Ndiael (46 550 ha), qui renferment une forte biodiversité. L'alimentation du lac de Guiers, qui constitue une réserve d'eau essentielle pour Dakar, est également assurée par ce système.

2.2. APPROCHE PAR SOUS-BASSINS

L'approche adoptée, conformément aux préconisations du MAER et de l'OMVS et adoptée dans le SDAGE, consiste à subdiviser le bassin versant du fleuve Sénégal en 7 sous-bassins :

- SB1 : Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali.

Ce sous bassin versant comprend une partie très accidentée en amont, avec une différence de niveau de 1130 m entre son point haut et son point bas (Manantali). Ce sous bassin est peu sollicité en termes de besoins en eau et le secteur n'est pas navigable. Il comprend plusieurs sites d'aménagements hydroélectriques potentiels (Koukoutamba, Balassa).

Le module annuel à Bafing Makana est de 220 m³/s avec un étiage journalier médian de 620 l/s et de 440 l/s en année quinquennale sèche. Sa superficie est de 28 250 km².

- SB2 : Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé, à savoir la confluence avec le Bakoye, dont naît le Sénégal.

L'hydrologie de ce sous bassin est totalement liée à la gestion hydraulique du barrage de Manantali. Il n'existe plus d'étiage naturel sur ce tronçon. Ainsi les débits minimaux journaliers moyens sont passés de 6.3 m³/s entre 1987 et 2001 à 75.4m³/s entre 2002 et 2011, après la mise en service de la centrale hydroélectrique de Manantali. Sa superficie est de 10 800 km². Les besoins en eau sont relativement faibles et le secteur n'est pas navigable.

- SB3 : Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé, à savoir la confluence avec le Bafing, dont naît le Sénégal.

Ce tronçon comprend la Bakoye et son principal affluent le Baoulé. Il est situé en majorité au Mali et en Guinée. La superficie de ce sous bassin est de 85 600 km².

- SB4 : La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal.

Ce sous bassin comprend l'intégralité de la Falémé, affluent rive gauche du fleuve Sénégal. Le tronçon n'est pas navigable et comprend peu de prélèvements (majoritairement miniers). La superficie de ce sous bassin est de 28 900 km².

- SB5 : Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel.

Il s'agit d'un tronçon du fleuve de 240 km. Une grande partie de sa délimitation topographique comprend des zones désertiques complètement inertes (Nord du sous bassin). Ce sous bassin comprend deux principaux affluents rive droite : le Kolimbiné et le Karakoro. Cette partie du fleuve est navigable et comprend d'importants prélèvements agricoles et humains. La superficie de ce sous bassin est d'environ 231 900 km².

- SB6 : Le Sénégal moyen de Bakel à Podor.

⁶ Thèse : « Crue et élévation du niveau marin à Saint-Louis du Sénégal : impacts potentiels et mesures d'adaptation », juillet 2006, Moussa SALL

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Ce tronçon de 375 km forme la frontière Sénégal-Mauritanienne. La totalité du sous bassin est navigable. Sur ce tronçon, on recense les plus importants besoins en eau pour l'irrigation. La superficie de ce sous bassin est d'environ 83 280 km².

- SB7 : Le Sénégal aval de Podor au barrage à l'océan.

Ce sous bassin comprend la partie aval du delta du Sénégal et le bassin versant du Ferlo, du lac de Guiers et du lac de R'kiz. Cette zone du BFS est particulièrement plane, la pente moyenne est de l'ordre de 1,5 cm/km. Les paysages sont caractérisés par de hautes berges, des cuvettes profondes et des grandes plaines inondables. Hydrologiquement, cette partie est fortement impactée par la gestion de Manantali qui assure un soutien d'étiage et des crues artificielles et par Diama qui empêche la remontée d'eau salée. Cette partie subit les plus fortes pressions de prélèvements pour l'AEP et l'irrigation. La superficie de ce sous bassin est d'environ 84 500 km².

La partie en aval de Diama a été étudiée séparément. En effet, sur cette zone de l'estuaire, l'hydrologie du fleuve a été fortement influencée par les aménagements réalisés sur le fleuve (Manantali, Diama et l'ouverture de la langue de Barbarie). En effet, le barrage de Diama empêche la remontée d'eau saline et Manantali permet un soutien du débit d'étiage. Nous n'avons donc pas étudié la partie hydrologique sur cette partie, nous nous sommes uniquement intéressés à l'étude de sa vulnérabilité, notamment face aux inondations.



Figure 3. Le découpage du bassin du fleuve Sénégal en sept sous-bassins (source : ce rapport)

3. VISITES DE TERRAIN ET COLLECTE DE DONNEES COMPLEMENTAIRES (T2.1)

3.1.1. Analyse documentaire

3.1.1.1. Présentation des rapports OMVS

3.1.1.1.1. Le SDAGE

L'étude du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) a été confiée au groupement SCP/CACG/CSE, et a été réalisée en 2009/2011.

Elle a été réalisée en trois phases :

- Phase 1 : Etat des lieux ;
- Phase 2 : Etablissement des schémas sectoriels (7) ;
- Phase 3 : Etablissement du schéma directeur à l'horizon 2025.

L'étude comprend de nombreuses informations utiles à la présente étude notamment concernant les données pour les secteurs économiques (agricoles, élevage...) et les données sur les barrages.

3.1.1.1.2. Elaboration de la nomenclature des seuils d'autorisation et de déclaration des prélèvements d'eau du fleuve Sénégal

Cette étude a été réalisée en février 2013 par l'un des Consultant du groupement : ARTELIA. Cette étude documentaire a été menée conjointement dans les quatre pays membres de l'OMVS. L'étude s'est appuyée sur l'énorme base de données du Centre de Documentation de l'OMVS à Saint-Louis, et sur les Services Techniques Nationaux que sont la Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta (SAED) pour le Sénégal, la Société Nationale pour le Développement Rural (SONADER) pour la Mauritanie, la Direction Nationale du Génie Rural (DNGR) pour la Guinée, et la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) pour le Mali.

Cette étude présente beaucoup d'informations sur les besoins en eau des différents secteurs économiques et pour les écosystèmes. Dans ce rapport, les informations données le sont par sous bassin versant. Ces données sont présentées par la suite et utilisées dans le modèle d'allocation des ressources.

3.1.1.1.3. Le Plan de Gestion Intégré des Ressources en Eau I (PGIRE I)

Le Programme de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement des Usages Multiples (PGIRE) est un programme de développement complet et innovant formulé pour renforcer l'intégration régionale des quatre pays riverains et améliorer les conditions de vie des populations. Il est étalé sur une décennie (2007-2017) et scindé en deux phases quinquennales pour un montant global de 220 millions de \$US. Le PGIRE II s'inscrit dans la continuité du PGIRE I.

Le PGIRE I reposait sur les 3 mêmes composantes :

- Composante 1 : Développement institutionnel régional des ressources en eau ;
- Composante 2 : Développement des usages à buts multiples des ressources en eau ;
- Composante 3: Planification et Gestion des infrastructures.

L'approche mise en œuvre par le PGIRE I a permis de développer une démarche participative et inclusive de l'ensemble des parties prenantes. A ce titre, les communautés bénéficiaires (populations, autorités locales, Organisation de la Société Civile...) ont été largement impliquées

dans toutes les étapes de conception, de la mise en œuvre et de la prise de décision, ce qui a permis de protéger les investissements, d'assurer l'appropriation des réalisations et leur pérennisation.

Sur la base des consultations publiques, des avis des autorités locales, des services techniques et des constats sur le terrain, il ressort que le PGIRE I a eu globalement des impacts positifs sur les plans socio-économiques et techniques. Les retombées bénéfiques des actions du PGIRE I se sont traduites par :

- La stimulation de la croissance économique ;
- L'amélioration du niveau sanitaire, éducatif et de la gestion rationnelle des ressources naturelles ;
- La contribution à la sécurité alimentaire avec une augmentation de la productivité agro-sylvo-pastorale ;
- L'intensification et la diversification des productions ;
- L'organisation du monde rural et la responsabilisation des populations locales ;
- L'amélioration du niveau de vie des populations rurales ;
- Le financement du monde rural ;
- Le développement des secteurs secondaires et tertiaires ;
- La promotion d'activités spécifiques au genre (création de périmètre de maraichage pour les femmes des pêcheurs...).

Par conséquent, il est permis de dire que le PGIRE I a permis de faire évoluer les attitudes, de développer l'esprit d'entreprise et les possibilités d'initiatives des populations rurales de ses zones d'intervention.

Malgré toutes ces incidences positives potentielles du PGIRE I sur son environnement physique, biologique et socio-économique, il convient de noter:

- Des pertes de récoltes et de revenus pour les paysans dus aux retards dans l'exécution des travaux d'aménagement de certains périmètres (CRD de Kaalan, Périmètres de Hamady Ounaré...);
- Le manque d'implication des Cellules Nationales de l'OMVS dans la supervision et la coordination d'activités aussi transversales que celles menées dans le cadre du PGIRE I. Ceci doit être un élément de réflexion pour la mise en place du PGIRE II ;
- Des répercussions négatives sur l'environnement de certains aménagements hydro-agricoles (pollution de l'eau, dégradation de la ressource...).

3.1.1.2. Présentation de la Monographie du fleuve Sénégal

L'actualisation de la Monographie a été réalisée en 2011, par la Société du Canal de Provence (SCP), l'Institut de Recherche et de Développement (IRD) et IDEV-IC, collaborateur de la réalisation de l'étude. Une version actualisée a été publiée en 2013.

Ce document constitue une mine d'informations précieuses pour la présente étude, et synthétise la plupart des données nécessaires. L'étude, étant en voie de terminaison, nous ne disposons que de documents provisoires ou de rapports d'étape. Le premier document concerne la première partie, à savoir la « Monographie du fleuve Sénégal », le deuxième document concerne la deuxième partie « Evaluation des crues du fleuve Sénégal »

Le premier document est scindé en deux chapitres. Le premier s'intéresse au caractère physique du bassin en distinguant la partie en amont de Bakel et la partie aval. Une description détaillée des caractéristiques physiques de l'ensemble des sous-bassins et des affluents correspondants y est faite, en traitant les aspects hydrographie, climat, géologie, pédologie, géomorphologie, notamment.

Les caractéristiques des usages de l'eau sont également synthétisées.

Le deuxième chapitre s'intéresse plus particulièrement à l'hydrologie détaillée de l'ensemble des affluents et aborde l'analyse et la validation des données de la base HYDRACCESS de l'OMVS. Cette partie est utilisée et reprise dans le chapitre d'analyse des données hydro-climatiques.

La deuxième partie de l'étude traite de l'évaluation des inondations dans le bassin du fleuve Sénégal. Un atlas cartographique y est annexé.

3.1.1.3. Présentation des rapports nationaux dans le cadre de la CCNUCC

Tous les pays membres de l'OMVS ont signé la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) lors du sommet de Rio en juin 1992. Ils l'ont ensuite ratifiée quelques années plus tard (mai 1993 pour la Guinée, décembre 1994 pour le Mali, janvier 1994 pour la Mauritanie, mai 1994 pour le Sénégal).

Dès lors, ils ont élaboré un certain nombre de documents nationaux à l'adresse de la CCNUCC, dont ceux listés ci-dessous.

3.1.1.3.1. Les études vulnérabilité

Ces études ont porté sur l'analyse de la sensibilité climatique des secteurs à fort potentiel économique des pays ; ces secteurs sensibles sont dits vulnérables et doivent faire l'objet de stratégies d'adaptation, qui doivent être prises en compte dans les politiques de développement. Ces rapports sur la vulnérabilité, réactualisés régulièrement, vont alimenter les différentes communications nationales.

3.1.1.3.2. Communications nationales (CN)

Ces communications consistent à faire le point sur les niveaux d'émission des GES mais, plus particulièrement, sur la description du niveau de vulnérabilité ainsi que sur l'identification des mesures d'adaptation afin de minimiser les effets adverses du changement climatique et exploiter les opportunités qu'offrent ces changements. De nos jours, les quatre pays du BFS ont élaboré leur communication initiale, dans les années 2000 (2002 pour la Guinée 2000 pour le Mali, 2001 pour la Mauritanie, 1997 pour le Sénégal). Ils ont également produit les deuxièmes communications et se prêtent à la rédaction des troisièmes communications. Ces documents font le point sur le niveau de vulnérabilité des pays et le niveau d'émission des gaz à effet de serre (GES), bien qu'il ne soit pas fait obligation aux pays de l'annexe B de faire un effort de réduction des émissions de GES, selon les dispositions du protocole de Kyoto.

3.1.1.3.3. Les Plans d'actions Nationaux, aux fins d'Adaptation (PANA),

Ces plans stratégiques ont consisté à identifier les stratégies d'adaptation urgentes devant être mises en œuvre immédiatement. Ces plans ont été identifiés, dans les différents pays, à partir de forum nationaux de diagnostics participatifs auprès des groupes cibles, jugés très vulnérables.

3.1.1.3.4. Contributions Prévues Déterminées Nationales (CPDN) et Contributions Déterminées Nationales (CDN)

D'autres documents sont souvent élaborés en direction des conférences des parties. C'est le cas des CPDN (Contributions Prévues Déterminées Nationales) demandées lors de la conférence de Paris (COP21).

Les CPDN reflètent des mesures prévues au niveau national sur la façon dont les différentes nations entendent lutter contre le changement climatique. Ces engagements indicatifs, qui ont été proposés dans la perspective des négociations climatiques à Paris, en décembre 2015, ont contribué à un nouvel accord international sur le climat en vue de maintenir les températures à des niveaux suffisamment sécuritaires pour se prémunir d'un réchauffement climatique périlleux.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Ces contributions prévues, après validation, sont devenues des CDN (Contributions Déterminées Nationales) présentées à la conférence de Marrakech (CP22). Ces documents, préparés par tous les pays, précisent les actions les plus déterminantes que chaque pays s'engage à mettre en œuvre à partir de 2020.

3.1.1.4. Récupération des modèles de gestion de l'OMVS

Nous avons réussi à obtenir plusieurs informations sur les modèles de gestion utilisés par l'OMVS. Les différents modèles seront analysés dans la partie 5.4.3 Analyse des modes de gestion. Le tableau ci-dessous présente les informations transmises par l'OMVS.

Tableau 1- Informations sur les modèles récupérés lors de la réunion du 13 janvier 2017

Nom du modèle	Objet	Détenteur	Observation
SIMULSEN	Modèle de gestion de Manantali	SOGEM	Utilisé par la SOGEM
PROGEMAN	Logiciel de gestion temps réel de Manantali	SOGEM	Utilisé par la SOGEM mais obsolète
GESDIAM	Logiciel de gestion temps réel de Diama	SOGED	Opérationnel à Diama
COREDIAAM	Logiciel de calcul de la courbe de remous de Diama	SOGED	Non opérationnel à Diama
Tableau de bord de la ressource (TBR)	Modèle d'allocation besoins-ressources qui fonctionne sur la base d'indicateurs choisis par l'OMVS	OMVS	Non opérationnel
Modèle pluie-débit du haut-bassin	Modèle pluie-débit du haut-bassin	OMVS	DHI - Non opérationnel (clé perdue)
Modèle(s) hydrologique(s) du SDAGE	Modèle(s) hydrologique(s) du SDAGE	OMVS	SCP - Non utilisé

3.1.1.4.1. Gestion du barrage de Manantali

La société SOGEM (Société de Gestion de l'Energie de Manantali) est chargée de la gestion du barrage hydroélectrique de Manantali.

La gestion de l'eau au niveau du barrage obéit aux règles fixées par le manuel de gestion de Manantali. Ce manuel a été réalisé en 1999 par l'IRD. Il permet de donner les consignes de sécurité et de gestion du barrage. Il a été récupéré auprès de l'OMVS. Ce manuel concerne la détermination en temps réel du débit qui doit être lâché par les différents organes d'évacuation du barrage, afin de satisfaire au mieux les objectifs de régularisation du débit (laminage des crues ; soutien d'étiage ; soutien de crue) et de production d'électricité. La première partie concerne les principes généraux de la gestion opérationnelle, la seconde partie donne le détail des différentes procédures de gestion opérationnelle et la troisième partie permet d'analyser les résultats d'une simulation numérique reproduisant la gestion proposée au pas de temps journalier.

Nous avons également récupéré les logiciels PROGEMAN, SIMULSEN et leurs notices d'utilisation auprès de la société SOGEM. PROGEMAN est utilisé pour aider à la gestion en temps réel du

barrage. Nous porterons notre analyse principalement sur ce logiciel et sur les notes concernant la gestion du barrage de Manantali réalisée par l'IRD. Ces notes analysent la gestion du barrage et ont permis de préconiser les règles de gestion.

3.1.1.4.2. Gestion du barrage de Diama

La SOGED (Société de Gestion et d'Exploitation de Diama) nous a transmis pour l'étude le manuel de gestion du barrage de Diama, réalisé en février 2001 par l'IRD et également la feuille de calcul Excel permettant d'assister la gestion en temps réel du barrage.

3.1.1.5. Récupération de couches SIG et d'images satellites

A. Images satellites

Nous avons acquis pour cette étude :

- Un jeu d'images satellite LANDSAT_8 couleur en 30 m de résolution au sol pour les images récentes ;
- Un jeu d'images satellites LANDSAT 7, LANDSAT 5 TM (Thematic Mapper) et LANDSAT 3 TM (Thematic Mapper) pour les images les plus anciennes.

L'ensemble de la zone d'étude est couvert par ces images

Les produits standards sont gratuits et sont accessibles par téléchargement sur le site de l'USGS (United States Geological Survey), l'USGS est un organisme du gouvernement américain qui se consacre aux sciences de la Terre. Il est notamment chargé de la surveillance de l'activité sismique sur son territoire et à travers le monde. Son activité se rapproche de celle du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) en France. <https://glovis.usgs.gov/>

Le satellite Landsat - 8 de la NASA a été lancé en février 2013. Il couvre la Terre tous les 16 jours avec des images de 185 km x 185 km, en 16 bits, comptant 11 bandes spectrales : 9 dans le visible (8 multi spectrales de résolution 30 m ; 1 panchromatique à 15m) et 2 thermiques (60 m).

Concernant l'identification et la mise en évidence de phénomènes particuliers (comme l'identification de zones d'orpaillage), il a été utilisé des images satellites très haute définition de type QuickBird ou Pleiades, disponibles sur Google Earth <https://www.google.fr>

La vocation première des satellites THR (Très Haute Résolution) (0.5 m de résolution au sol) a été dès leur lancement l'établissement de cartes d'occupation des sols.

B. Fichiers vectoriels (SIG)

Les fichiers vectoriels au format Shape (ArcGis) utilisés lors de cette étude ont plusieurs origines.

a) *Limites administratives, Bâtiments, Energie, Hydrographie, Occupation des sols, Assainissement, Toponymie, réseau routier*

- SOGEFI maîtrise l'ensemble de la chaîne d'élaboration des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et dispose plus largement de l'expérience de la mise en œuvre de portails cartographiques. SOGEFI intervient à toutes les phases de projets géomatiques : <https://www.sogefi-sig.com>

Les données par pays sont mises à jour quotidiennement à partir d'OpenStreetMap

<http://openstreetmap.fr>

- DIVA GIS : Le DIVA-GIS est le serveur de base de données du CIP (Centre International de la Pomme de terre). Téléchargement de fichiers au format shapefile ou grid sur de nombreux pays: zones administratives, occupation du sol, relief, densité de population. <http://www.diva-gis.org/gdata>

b) *Données hydrométéorologiques de la base de données, Inventaires de cotes d'eau, Inventaire des débits, Inventaire des étalonnages, Inventaire des jaugeages*

- Ces données ont été mises à disposition par l'OMVS.

c) *Modèle Numérique de Terrain*

Compte tenu des caractéristiques morphologiques de la zone d'étude, le MNT provenant du programme SRTM apparaît être bien adapté aux objectifs de l'étude (pas de lacune de données sur la zone d'étude).

A l'aide de ce MNT et des images satellites orthorectifiées, il a été possible de superposer ces deux sources d'informations afin d'obtenir des vues 3D permettant d'améliorer l'interprétation des images, en particulier pour la délimitation des bassins versants.

SRTM : (Shuttle Radar Topography Mission) fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA (ex-NIMA). Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 11 jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar. Cette campagne d'observation a permis d'établir des modèles numériques de terrain pour près de 80 % des terres émergées s'étendant de 56° de latitude Sud à 60° de latitude Nord. D'autres données sont également mises à la disposition du public : les données radar brutes et des données générées à partir des MNT. <https://eros.usgs.gov/elevation-products>

3.1.2. Collecte de données hydro-climatologiques

Les données hydro-climatologiques sur le bassin du fleuve Sénégal sont récoltées par les différents services météorologiques des quatre pays. Nous avons collecté des données auprès de ces services, de l'OMVS, de la banque de données du SIEREM⁷ et également des banques de données des consultants.

Dans cette partie, nous allons présenter les données par sous bassin versant suivant le découpage présenté précédemment (partie 2.2).

Pour les données pluviométriques et autres données climatologiques, nous avons trouvé, lors de notre recherche de données, 152 stations dont 20 stations climatologiques, 8 stations météorologiques et 124 postes pluviométriques. Ces 152 stations sont relativement bien dispersées sur l'ensemble des sous bassins du fleuve Sénégal. Nous avons recensé également plus de 150 stations hydrologiques ou limnimétriques sur le bassin du Sénégal. Pour la plupart, nous n'avons pas réussi à trouver de données de débit ou même de hauteur d'eau (cote) et de courbe de tarage. Nous avons trouvé des données de débit pour 38 d'entre elles.

Afin de faciliter l'analyse des données, nous avons sélectionné un certains nombres de stations par sous bassin, variant de 2 à 8 selon la taille du sous bassin versant. Le choix des stations s'est basé sur plusieurs critères :

- La période des données disponibles (minimum 30 ans) ;
- Des données pluviométriques et climatiques provenant de la même station ;
- Une répartition homogène sur l'ensemble du BFS ;
- Une analyse de la fiabilité des données ;
- L'analyse approfondie des stations présentée dans la Monographie du fleuve Sénégal.

⁷ Le laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM) a développé un système d'informations (SIEREM) sur l'ensemble de l'Afrique qui contient plusieurs types de variables environnementales. (Source : <http://www.hydrosociences.fr/sierem/consultation/Choixaccess.asp>)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

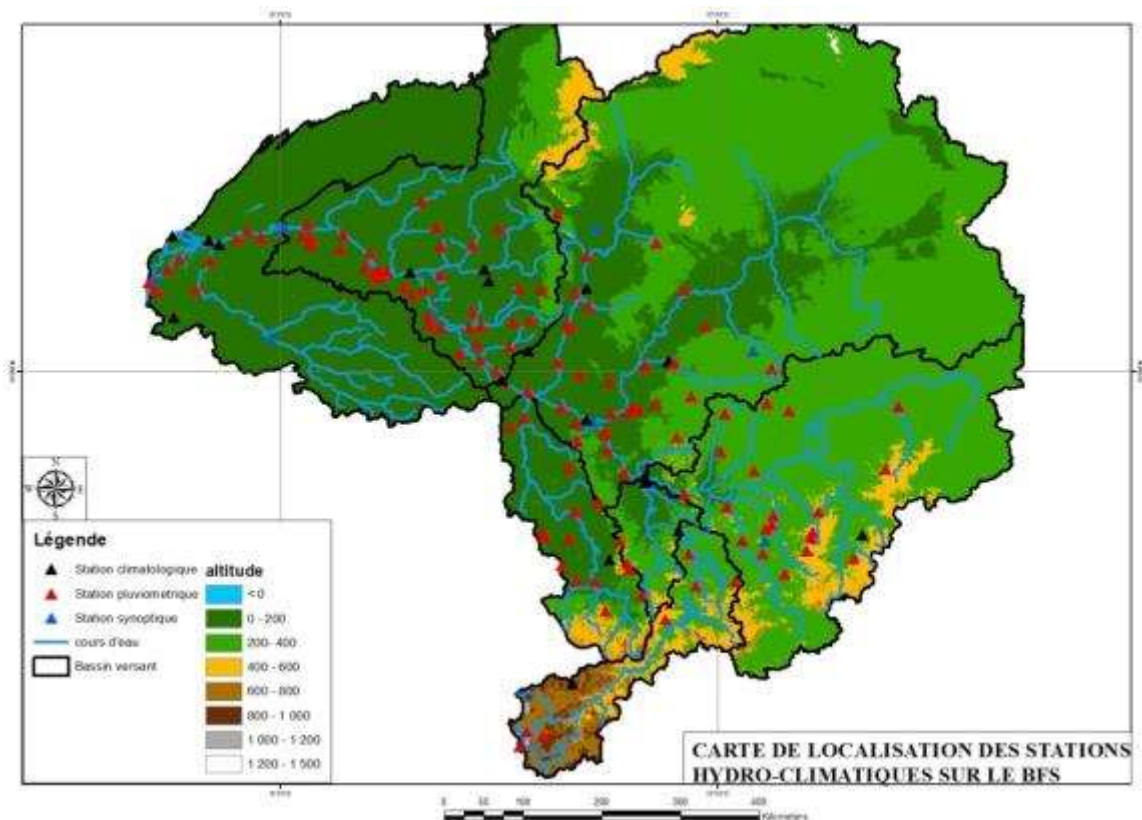


Figure 4. Carte de localisation des stations hydro-climatiques sur le bassin versant du Sénégal (source : ce rapport)

3.1.2.1. Présentation des données pluviométriques

Pour les données pluviométriques, les 152 stations recensées possèdent des données pluviométriques. Nous avons sélectionné pour chaque sous bassin versant quelques stations réparties de façon homogène sur le sous bassin et avec des données d'une longue période et fiables.

Pour tester la fiabilité des données, nous nous sommes dans un premier temps assurés que les données récoltées par la base de données du SIEREM correspondaient aux données fournies par l'OMVS et aux données présentées dans la monographie du fleuve Sénégal. La comparaison a montré que les données étaient similaires pour les mêmes années. L'utilisation de ces deux sources de données nous a permis d'augmenter le nombre de stations pour lesquelles nous avons des données robustes (longue période et fiables) et de combler pour certaines stations de potentielles lacunes.

Dans un second temps, nous avons effectué des simples cumuls et des doubles cumuls entre les stations proches et d'un même sous bassin afin de nous assurer de la robustesse des stations sélectionnées. Notre sélection s'est aussi basée sur l'analyse des stations faite dans la Monographie du fleuve Sénégal par l'IRD. Pour deux stations avec une localisation similaire et une même longueur de période, les stations climatologiques ont été préférées aux stations uniquement pluviométriques afin d'utiliser au maximum les mêmes stations dans l'analyse climatologique.

3.1.2.1.1. SB1 : Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali

Ce sous bassin versant du fleuve Sénégal, tout en amont, ne comporte que 10 stations pluviométriques dont certaines sont climatologiques et serviront pour la partie climatologique. La station de Manantali est située juste à l'aval de l'exutoire du bassin. Pour ce sous bassin versant, nous avons retenu 2 stations avec des données sur une longue période.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

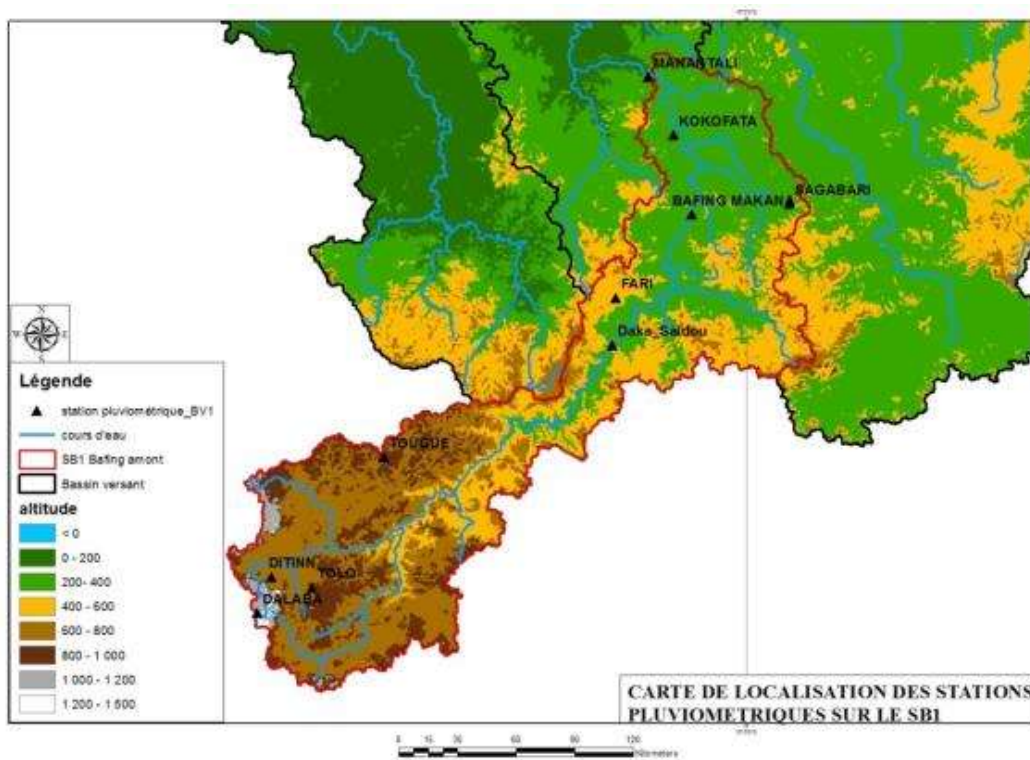


Figure 5. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le sous bassin versant du Bafing Amont (source : ce rapport)

En amont, nous n’avons choisi qu’une seule station, celle de Dalaba. Les données proviennent de la base de données du SIEREM. Pour les deux autres stations (Ditinn et Tolo) nous n’avons pas de données sur une période assez longue pour être étudiées dans le cadre du changement climatique. Pour la station de Tougue, nous avons constaté un nombre d’année manquante important, surtout entre 1980-1990.

En aval, la station choisie est celle de Bafing Sagabari car elle possède la plus longue et plus complète série de données. Les données de cette station ont été récupérées sur la base de données du SIEREM. Les stations de Sagabari et de Kokofata sont similaires à celle de Bafing Makana. On utilisera celle de Bafing Makana pour nous assurer de la robustesse des données de la station de Sagabari. La station de Bafing Makana comporte de nombreux trous surtout entre 1990 et 2015.

La station de Manantali, située à l’exutoire du sous bassin versant Bafing amont n’a des données qu’à partir de sa mise en place (1981) et que pour quelques années, beaucoup d’années sont manquantes.

Tableau 2- Les principales stations pluviométriques sur le sous bassin du Bafing amont (en jaune les stations utilisées dans l’analyse)

Nom	Pays	Type	Latitude	Longitude	Période
Bafing Makana	Mali	Station pluviométrique	12.55	-10.25	1963-2016
Daka Saidou	Mali	Station pluviométrique	11.95	-10,62	2002-2016
Dalaba	Guinée	Station climatologique	10.72	-12,25	1933-1992
Manantali	Mali	Station climatologique	13.18	-10.45	1981-2015
Sagabari	Mali	Station pluviométrique	12.60	-9.80	1950-1999
Tougué	Guinée	Station climatologique	11.43	-11.67	1923-1995

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

3.1.2.1.2. SB2 : Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé

Le sous bassin versant du Bafing aval comprend, lui, un très faible nombre de stations pluviométriques. Seulement 5 stations ont été recensées dont 3 avec très peu de données (Dombia, Mahina et Manantali). Nous avons donc choisi de nous intéresser plus particulièrement aux stations de Kassama en amont et à Bafoulabé à l'exutoire du bassin versant du Bafing. Les données collectées proviennent de la base de données du SIEREM.

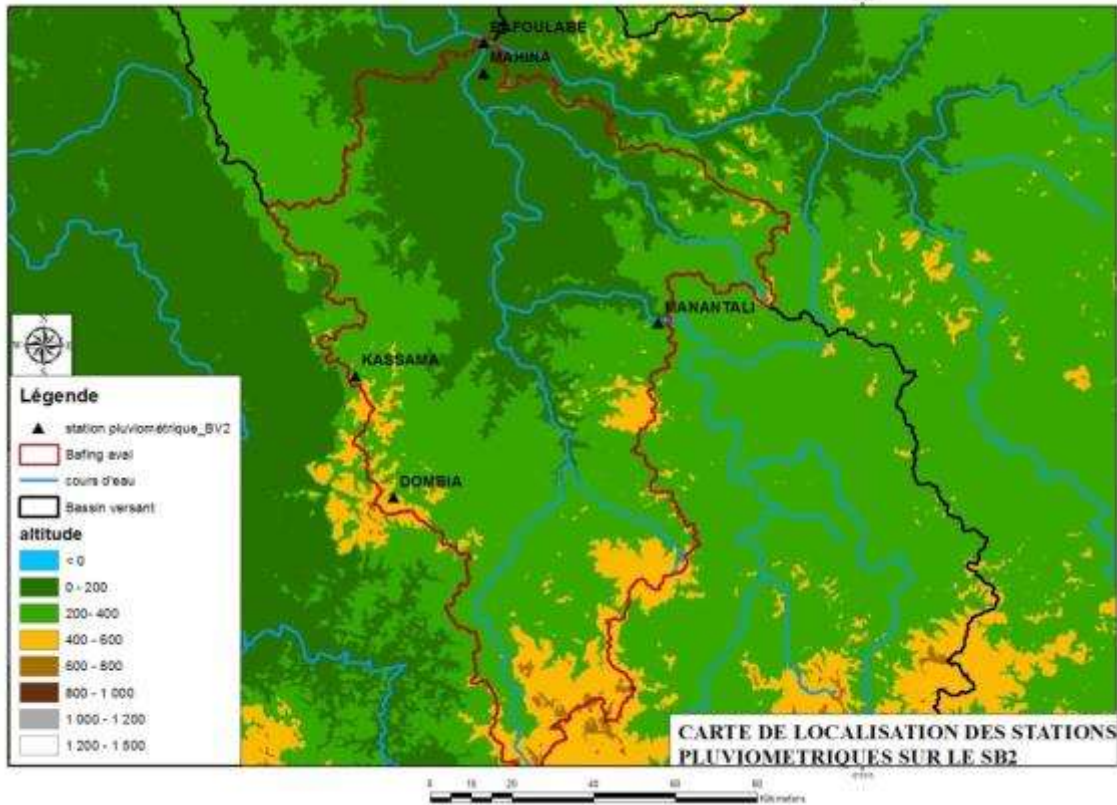


Figure 6. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Bafing aval (source : ce rapport)

Tableau 3- Présentation des stations pluviométriques sur le Bafing aval (en jaune les stations utilisées dans l’analyse)

Nom	Pays	Type	Latitude	Longitude	Période pluie
BAFOULABE	MALI	Station climatologique	13.80	-10.83	1931-1998
MANANTALI	MALI	Station climatologique	13.18	-10.45	1981-2015
KASSAMA	MALI	Station pluviométrique	13.07	-11.12	1971-1999
DOMBIA	MALI	Station pluviométrique	12.80	-11.03	1982-1998
MAHINA	MALI	Station climatologique	13.73	-10.83	1986-1999

3.1.2.1.3. SB3 : Le Bakoye jusqu’à Bafoulabé

Le bassin versant du Bakoye est l’un des plus grands. On recense 23 stations pluviométriques dont certaines sont climatologiques et serviront pour la partie climatologique. Sur ce bassin versant, on recense plusieurs stations avec des données sur une longue période. Le choix des stations sur le bassin du Bakoye s’est fait de manière à avoir une répartition homogène, des données robustes sur une longue période avec le moins d’absence possible. Pour une même localisation et une longueur de période similaire, les stations climatologiques ont été préférées aux stations pluviométriques afin d’utiliser au maximum les mêmes stations dans l’analyse climatologique.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Sur la partie Nord du bassin du Bakoye, la station Diema est la station la plus complète. De plus, sur les périodes similaires, nous pourrions comparer ces valeurs avec celle de la station Diema bis, située au même endroit. A l'Est, au niveau du Baoulé, le principal affluent du Bakoye, il y a plusieurs stations avec des longues périodes de données. Nous avons choisi de prendre la station de Faladye qui est une station climatologique ; nous pourrions donc utiliser ces données pour la partie climatologique. Sur la Bakoye, principal fleuve du bassin, la station la plus complète est celle de Kita. Pour les stations de Kita et de Faladye, nous pourrions nous assurer de leur robustesse en les comparant aux stations environnantes (Bangassi, Kitapar...).

La station d'Oualia permet d'avoir la situation en aval du bassin versant, les données proviennent de l'OMVS, contrairement aux autres qui ont été récupérées sur la base de données du SIEREM. La série de données d'Oualia contient donc des données plus récentes.

Tableau 4 - Présentation des stations pluviométriques sur le Bakoye (en jaune les stations utilisées dans l'analyse)

Nom	Pays	Type	Latitude	Longitude	Période
BANGASSI	MALI	Station pluviométrique	13.1667	-8.9167	1951-1990
BATIMAKANA	MALI	Station pluviométrique	13.25	-9.3833	1962-1995
DIALLAN	MALI	Station pluviométrique	14.0833	-9.9667	1982-1990
DIEDENI (KOULIKORO)	MALI	Station pluviométrique	13.8833	-8.0833	1986-1999
DIEMA	MALI	Station pluviométrique	14.55	-9.1833	1941-1999
DIEMA BIS (KAYES)	MALI	Station pluviométrique	14.55	-9.1833	1953-1990
DJIDIAN	MALI	Station pluviométrique	13.2	-9.45	1993
DJIGUIDALA (KOULIKORO)	MALI	Station pluviométrique	13.1	-8.9333	1988-1990
FALADYE	MALI	Station climatologique	13.1333	-8.35	1931-2002
FALOU	MALI	Station pluviométrique	14.6	-7.9333	1982-1999
FOUNIA (SIKASSO)	MALI	Station pluviométrique	12.9167	-9.4833	1984-1999
KANDIARE	MALI	Station pluviométrique	14.6333	-9.4333	1997-1998
KITA	MALI	Station synoptique	13.0667	-9.4667	1931-1999
KITAPAR	MALI	Station pluviométrique	13.0667	-9.7167	1980-1999
KOUROUNINKOTO	MALI	Station pluviométrique	13.8667	-9.5833	1951-1992
LAKAMANE	MALI	Station pluviométrique	14.5167	-9.9167	1973-1990
MADINA FOULABOUGOU	MALI	Station pluviométrique	13.4	-8.85	1966-1995
NEGALA	MALI	Station pluviométrique	12.8667	-8.45	1973-1990
OUALIA	MALI	Station pluviométrique	13.6	-10.3833	1950-2016
SEBEKORO	MALI	Station pluviométrique	12.95	-8.9833	1950-1995
SEGAFINA	MALI	Station pluviométrique	13.35	-9.3667	1998
SIRAKORO	MALI	Station pluviométrique	12.6833	-9.2333	1951-1998
TOUKOTO	MALI	Station pluviométrique	13.45	-9.9	1932-1999

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

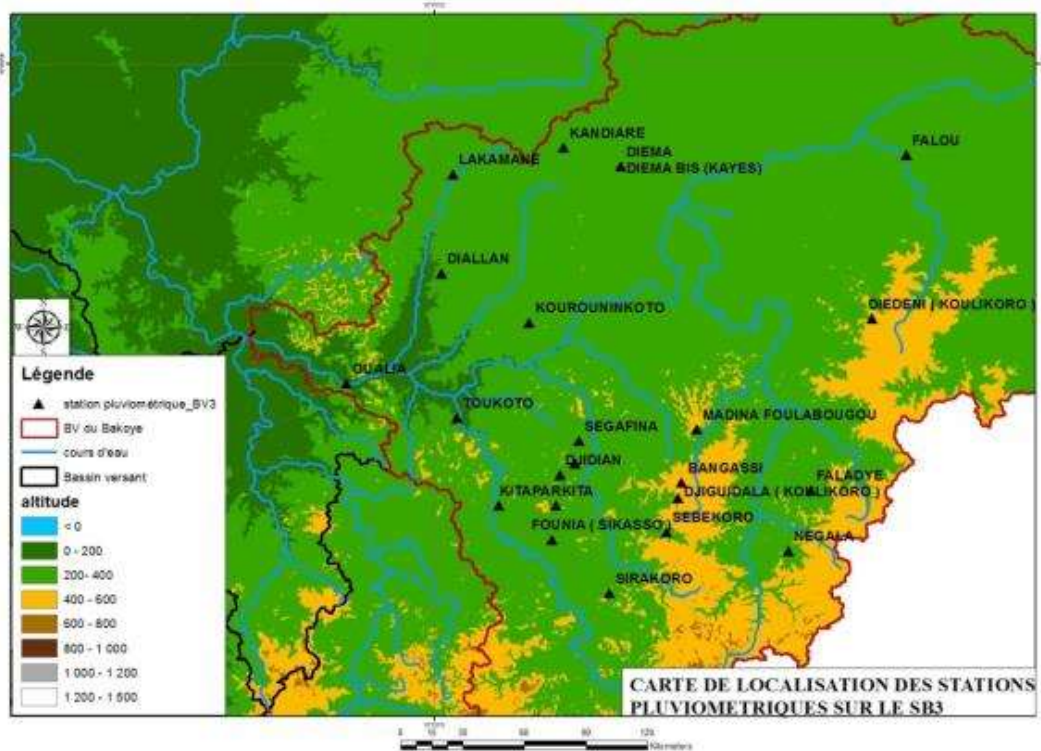


Figure 7. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Bakoye (source : ce rapport)

3.1.2.1.4. SB4 : La Falémé jusqu’à la confluence avec le Sénégal

Sur le bassin versant de la Falémé, on recense 14 stations dont une seule climatologique, celle de Kenieba, ne contenant que peu de données climatologiques.

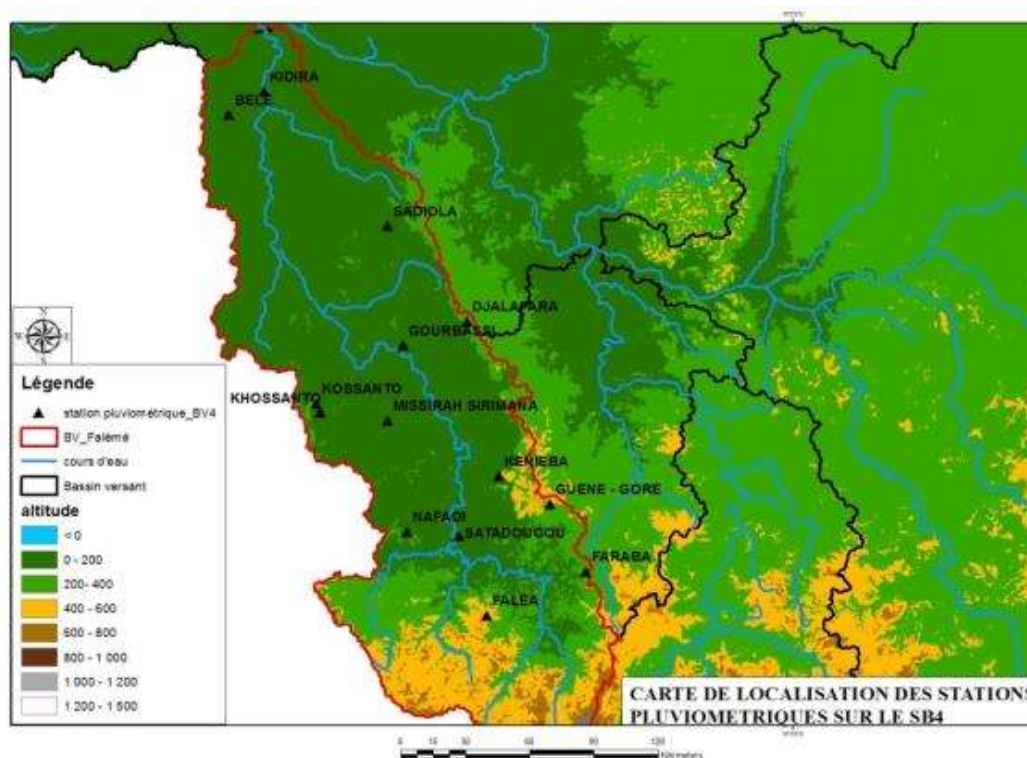
Nous avons sélectionné 3 stations tout au long du bassin de la Falémé : Guéné-Gore en amont du bassin, Gourbassi au milieu puis enfin Kidira au niveau de l'exutoire juste avant la confluence avec le fleuve Sénégal. La station de Satadougou n'a pas été utilisée car les trous de données sur sa période 1919-1990 sont trop importants (absence de données entre 1973 et 1989).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 5 - Présentation des stations pluviométriques sur la Falémé (en jaune les stations utilisées dans l'analyse)

Nom	Pays	Type	Latitude	Longitude	Période
KENIEBA	MALI	Station climatologique	12.85	-11.2333	1942-1999
FALEA	MALI	Station pluviométrique	12.2667	-11.2833	1956-1999
GOURBASSI	MALI	Station pluviométrique	13.4	-11.6333	1950-1999
KIDIRA	SENEGAL	Station pluviométrique	14.4667	-12.2167	1918-2016
GUENE - GORE	MALI	Station pluviométrique	12.7333	-11.0167	1950-2000
DJALAFARA	MALI	Station pluviométrique	13.5	-11.3667	1981-1990
SADIOLA	MALI	Station pluviométrique	13.9	-11.7	1950-2000
FARABA	MALI	Station pluviométrique	12.45	-10.8667	1981-1997
SATADOUGOU	MALI	Station pluviométrique	12.6	-11.4	1919-1990
BELE	SENEGAL	Station pluviométrique	14.3667	-12.3667	1975-1980
KHOSSANTO	SENEGAL	Station pluviométrique	13.1167	-11.9833	1975-1981
KOSSANTO	SENEGAL	Station pluviométrique	13.1547	-12	1975-1979
MISSIRAH SIRIMANA	SENEGAL	Station pluviométrique	13.0833	-11.7	1975-1980
NAFADI	SENEGAL	Station pluviométrique	12.6167	-11.6167	1975-1980

**Figure 8. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin de la Falémé (source : ce rapport)****3.1.2.1.5. SB5 : Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel**

Le bassin du Sénégal amont comprend 40 stations dont 9 stations climatologiques (ou synoptiques). La station de Bakel se situe à l'exutoire du bassin versant du Sénégal amont. Ce sous bassin versant comprend plusieurs zones géographiques bien distinctes :

- Au Nord, une partie désertique, particulièrement sèche et assez inerte en terme d'hydrologie ;

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

- Le Kolimbiné, un des deux principaux affluents, qui draine la partie Ouest Nord-Ouest du bassin. Il draine de vastes zones désertiques avec peu de précipitations avant de finir dans les plateaux et de se jeter dans le Sénégal ; la principale ville de son bassin versant est Nioro du Sahel ;
- Le Karakoro qui draine toute la partie Est-Nord-Est et qui passe principalement par des zones désertiques. La principale ville de son bassin versant est Kiffa.

Nous avons donc choisi une station représentative pour chaque affluent : Kiffa et Nioro du Sahel. Ces stations ont des longues périodes de données et sont en plus des stations climatologiques que nous pourrions utiliser pour l'analyse du climat.

Les stations de Kayes et de Bakel nous permettront d'avoir une vision du climat le long du fleuve Sénégal. La station de Diamou permettra juste de vérifier les données de la station de Kayes.

Les données des stations de Kayes et de Bakel proviennent en majorité de l'OMVS, elles ont été complétées par les données du SIEREM lors des périodes de trous. Les données des stations de Kiffa et de Nioro du Sahel proviennent, quant à elles, de la base de données du SIEREM.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 6 - Présentation des stations pluviométriques sur le Sénégal amont (en jaune les stations utilisées dans l'analyse)

Nom	Pays	Type	Latitude	Longitude	Période
AIN-FARBA	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.9333	-10.3833	1979-2003
AMBIDEDI	MALI	Station pluviométrique	14.5833	-11.7833	1950-2000
AOUROU	MALI	Station pluviométrique	14.9667	-11.5833	1950-2000
BABALA (KAYES)	MALI	Station pluviométrique	14.2	-11.6	1981-1999
BAKEL	SENEGAL	Station climatologique	14.9	-12.4667	1918-2016
BEMA	MALI	Station pluviométrique	15.0333	-9.3833	1976-1996
DIAMOU	MALI	Station pluviométrique	14.1	-11.2667	1950-2000
DJADJIBINE	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.75	-11.4833	1979-2003
GALOUGO	MALI	Station pluviométrique	13.8333	-11.0667	1950-2000
GOURAYE	MAURITANIA	Station pluviométrique	14.8833	-12.45	1981-2003
GUERROU	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.8	-11.8333	1978-2003
HARAJ	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.9	-11.6333	1995-2003
KABATE	MALI	Station pluviométrique	14.5167	-11.2167	1982-1992
KAKOULOLO (KAYES)	MALI	Station pluviométrique	14.2833	-11.2686	1988-1990
KANKOSSA	MAURITANIA	Station climatologique	15.95	-11.5	1953-2003
KAYES	MALI	Station synoptique	14.4333	-11.4333	1895-2016
KIFFA	MAURITANIA	Station synoptique	16.6333	-11.4	1922-2003
KOFILABEN (KAYES)	MALI	Station pluviométrique	14.3981	-11.6222	1987-1996
KONIAKARY	MALI	Station pluviométrique	14.5667	-10.9	1950-2000
KOTERA	MALI	Station pluviométrique	14.7667	-12.1667	1959-1990
KOUROUDIÉL	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.3167	-11.5	1994-2003
KOUSSANE	MALI	Station pluviométrique	14.8833	-11.2333	1950-1995
LAMBATARA	MALI	Station pluviométrique	14.6333	-10.7	1982
LEYA	MALI	Station pluviométrique	15.1	-11.8333	1968-1987
MARENA	MALI	Station pluviométrique	14.5333	-11.0333	1986-1995
NIOGOMERA	MALI	Station pluviométrique	15.1	-10.5	1986-1987
NIORO DU SAHEL	MALI	Station synoptique	15.2333	-9.6	1919-1995
OULD YENGE	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.5333	-11.7167	1980-2003
OULOUMA	MALI	Station pluviométrique	14.2	-11.6	1950-1990
OUSSOUBIDIAGNA	MALI	Station pluviométrique	14.25	-10.4667	1950-1990
SABOUCIRE	MALI	Station pluviométrique	14.3167	-11.2833	1960-1990
SALKA DAHAMA	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.5	-11.6833	1982
SAME	MALI	Station agro-bio-climatol	14.45	-11.5	1979-1990
SANDARE	MALI	Station pluviométrique	14.7167	-10.3	1950-1990
SEGALA	MALI	Station pluviométrique	14.5667	-10.9667	1951-1998
SELIBABY	MAURITANIA	Station climatologique	15.2333	-12.1667	1933-2011
TAMBACARA (KAYES)	MALI	Station pluviométrique	15.0667	-10.8333	1982-1990
TOUIL	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.5167	-10.1333	1979-2003
YELIMANE	MALI	Station climatologique	15.1167	-10.5667	1919-1999
ZRAVIA	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.4667	-10.7	1979-1980

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

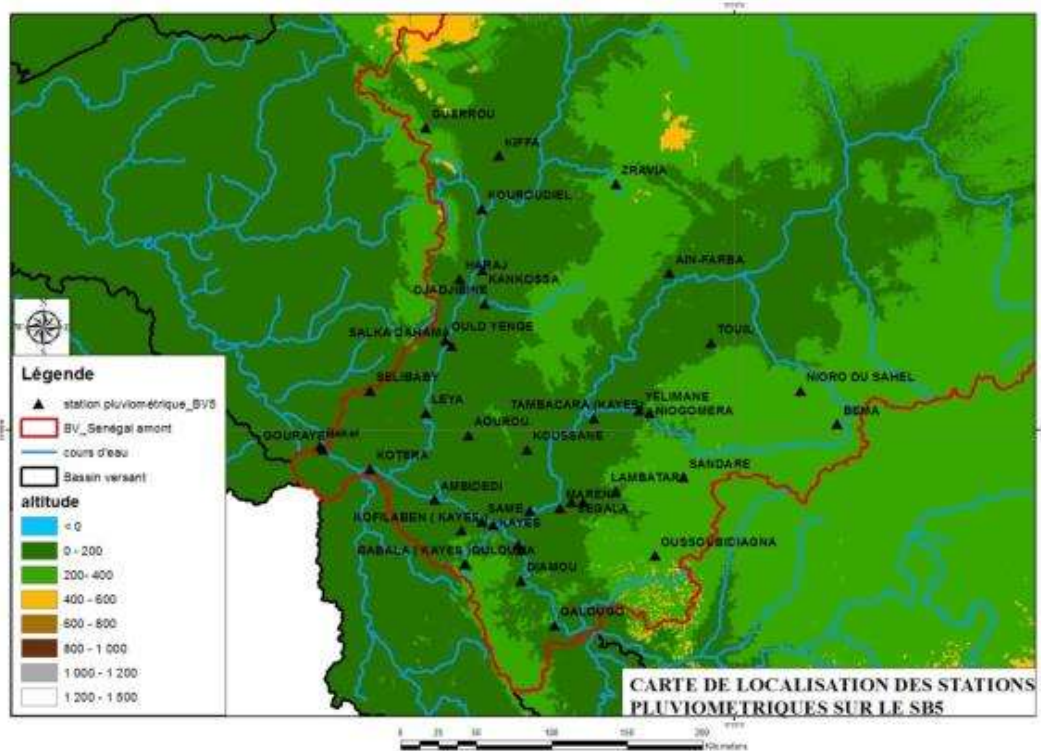


Figure 9. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Sénégal amont (source : ce rapport)

3.1.2.1.6. SB6 : Le Sénégal moyen de Bakel à Podor

Le bassin versant du Sénégal moyen concerne la plus longue partie du fleuve (375 km de long). Côté Mauritanien, le bassin remonte assez loin dans les zones désertiques et est presque inerte sur le plan hydrologique. Cette partie est drainée par le Gorgol (blanc et noir). La topographie du Sénégal moyen est assez similaire de l'amont à l'aval.

Nous avons recensé 42 stations sur le bassin du Sénégal moyen, dont 6 stations climatologiques. Au vu de la similarité du bassin de l'amont à l'aval, nous avons choisi de prendre 3 stations :

- Au Nord, dans la partie Mauritanienne, la station climatologique de M'Bout ;
- Au centre du fleuve, la station synoptique de Matam. On pourra étendre ses résultats à toute la plaine du Sénégal moyen ;
- En aval, la station de Boghé, qui sera comparée à celle de Podor (bassin versant du Sénégal aval), située au niveau de l'exutoire du bassin de Sénégal moyen.

La station de Bakel permettra d'avoir la situation en amont du Sénégal moyen.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 7 - Présentation des stations pluviométriques sur le Sénégal moyen (en jaune les stations utilisées dans l'analyse)

Nom	Pays	Type	Latitude	Longitude	Période
AGOUEINIT	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.5667	-12.3333	1980-1982
AGUEILAT	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.45	-12.8	1980-1982
BABABE	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.35	-13.9667	1979-2003
BARKEOL	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.6333	-12.5	1979-2003
BELOUGUE LITAMA	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.6833	-12.8	1980-1982
BOGHE	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.5667	-14.2833	1919-2011
BOKI DIAVE	SENEGAL	Station pluviométrique	15.8833	-13.4833	1961-1987
BOULY	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.3167	-12.75	1984-2011
DAFORT	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.5833	-12.15	1980-2003
DAR EL BARKA	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.6833	-14.6833	1971-2003
DIAWARA	SENEGAL	Station pluviométrique	15.01667	-12.53333	1989-2007
FOUM GLEITA	MAURITANIA	Station climatologique	16.1667	-12.6667	1979-2003
GALOYA	SENEGAL	Station pluviométrique	16.06667	-13.85	1986-2007
GHORFA (AVAL)	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.5167	-12.7	1980-1982
GUDE CHANTIER	SENEGAL	Station pluviométrique	16.55	-14.75	1963-2000
HAERE LAO	SENEGAL	Station pluviométrique	16.4	-14.3167	1962-2000
HARR	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.2833	-12.3833	1982-2003
HASSI-CHEMS	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.95	-12.2667	1980-1982
KAEDI 1	MAURITANIA	Station climatologique	16.1333	-13.5167	1963-2011
KAEDI-IRAT ASECNA	MAURITANIA	Station climatologique	16.1333	-13.5167	1953-2003
KANEL	SENEGAL	Station pluviométrique	15.5	-13.1667	1963-2007
LEKSEIBA	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.1	-13.1667	1979-2003
M'BAGNE	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.15	-13.7833	1979-2011
M'BOUMBA	SENEGAL	Station pluviométrique	16.1833	-14.0333	1975-1980
MAGHAMA	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.5	-12.8333	1979-2011
MALE	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.95	-13.3833	1982-2003
MATAM	SENEGAL	Station synoptique	15.65	-13.25	1918-2007
MBOUT	MAURITANIA	Station climatologique	16.0333	-12.6167	1921-2011
MONGUEL	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.4333	-13.1667	1979-2003
N'DIOUM	SENEGAL	Station pluviométrique	16.5167	-14.65	1963-2007
N'DIOUM GAINTH	SENEGAL	Station pluviométrique	16.45	-14.65	1975-1980
NGUIDJILONE	SENEGAL	Station pluviométrique	15.9333	-13.35	2006-2007
OGO	SENEGAL	Station pluviométrique	15.5333	-13.3	1966-2007
OURO SAGUI	SENEGAL	Station pluviométrique	15.6333	-13.3	1966-2007
PETE	SENEGAL	Station pluviométrique	16.0833	-13.9333	1976-1978
SALDE	SENEGAL	Station pluviométrique	16.1667	-13.8833	1961-1998
SEMME	SENEGAL	Station pluviométrique	15.2	-12.95	1961-2007
SOUFFA	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.9333	-12.0167	1980-1982
THILOGNE	SENEGAL	Station pluviométrique	15.9667	-13.5833	1963-2007
TOUFONDE CIVE	MAURITANIA	Station pluviométrique	16.65	-13.2167	1980-2003
WOUMPOU	MAURITANIA	Station pluviométrique	15.1333	-12.7167	1966-2011

Les données pour les stations proviennent en partie de la base de données du SIEREM, de l'OMVS ou ont été récupérées par un de nos consultants.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

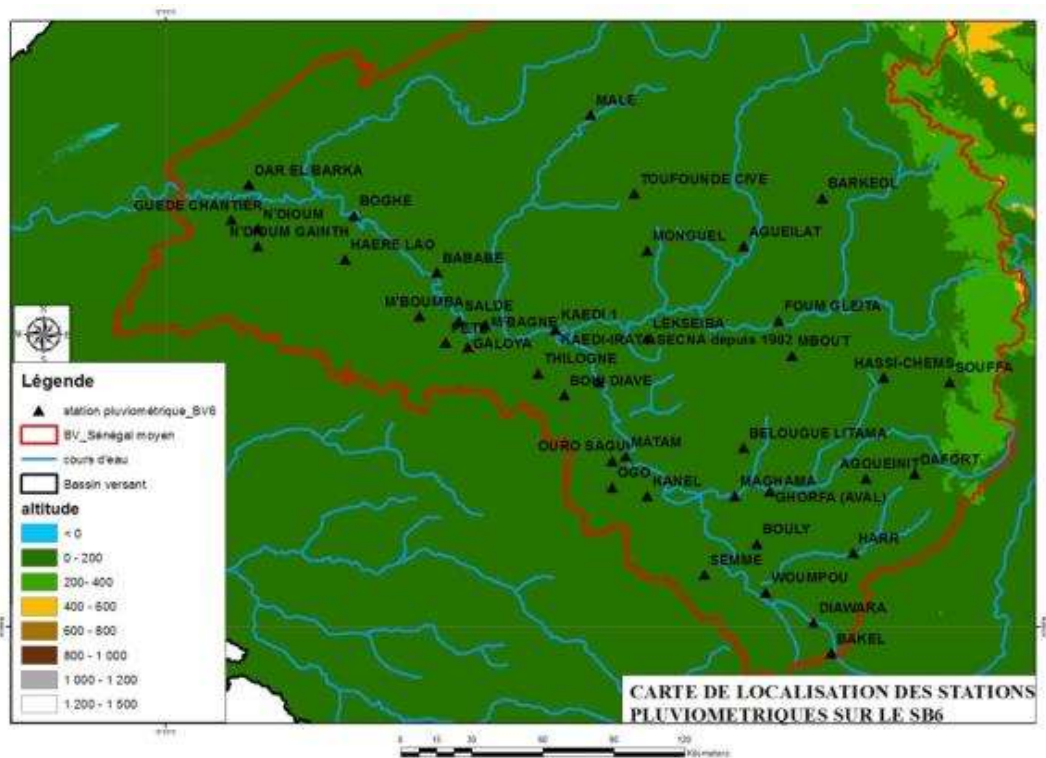


Figure 10. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Sénégal moyen (source : ce rapport)

3.1.2.1.7. SB7 : Le Sénégal aval de Podor à l'océan

Le Sénégal aval couvre une partie du désert hydrologique (au niveau Mauritanien). Il existe donc un écart entre le bassin topographique et le bassin hydrologique. Ce sous bassin est particulièrement plat et les conditions sont relativement les mêmes tout au long du Sénégal aval, à l'exception de la partie désertique.

Pour le bassin du Sénégal aval, nous avons trouvé des informations pour 16 stations, dont 6 stations climatologiques. Parmi ces 6 stations climatologiques, 3 stations sont des stations synoptiques, pour lesquelles on pourrait étendre les résultats à l'ensemble d'une région. Ces 3 stations : Linguere, Podor et Saint-Louis aéro étant réparties de façon homogène sur le bassin versant du Sénégal aval, nous avons choisi de les utiliser pour caractériser le sous bassin versant.

Les stations de Louga, Richard Toll et de Rosso seront utilisées pour s'assurer de la fiabilité des données. Les stations de Rosso et de Diama seront étudiées pour voir la situation après 2007.

Les données de ces stations proviennent en partie de la base du SIEREM, de l'OMVS ou ont été obtenues par l'un des consultants.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 8 - Présentation des stations pluviométriques sur le Sénégal aval (en jaune les stations utilisées dans l'analyse)

Nom	Pays	Type	Latitude	Longitude	Période
DAGANA	SENEGAL	Station pluviométrique	16.5167	-15.5	1918-2007
Diama	SENEGAL	Station pluviométrique	16.2169	-16.417	2000-2016
LINGUERE	SENEGAL	Station synoptique	15.3833	-15.1167	1933-2007
LOUGA	SENEGAL	Station climatologique	15.6167	-16.2167	1918-2007
PODOR	SENEGAL	Station synoptique	16.65	-14.9667	1918-2007
RICHARD TOLL	SENEGAL	Station climatologique	16.45	-15.7	1962-2008
ROSSO	MAURITANIA	Station climatologique	16.5	-15.8167	1934-2011
SAINT LOUIS AERO	SENEGAL	Station synoptique	16.05	-16.45	1950-2007
SAINT LOUIS VILLE	SENEGAL	Station pluviométrique	16.0167	-16.5	1848-2000

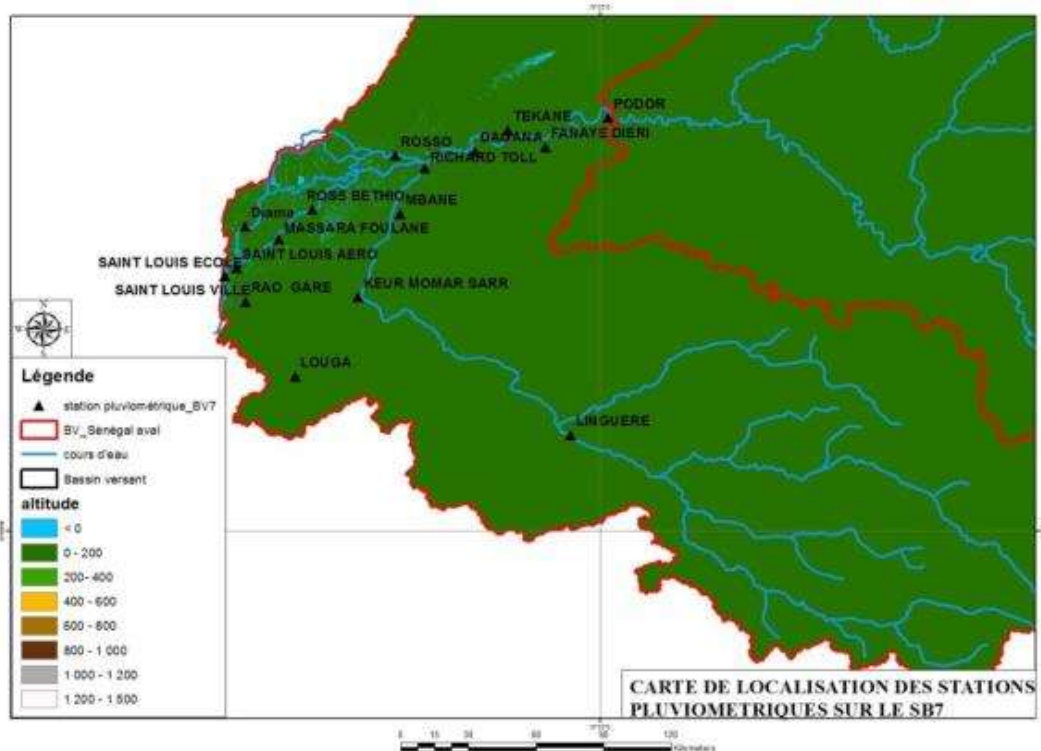


Figure 11. Carte de localisation des stations pluviométriques sur le bassin du Sénégal aval (source : ce rapport)

3.1.2.2. Présentation des autres données climatologiques

A. Températures

Les données de températures maximales et minimales mensuelles ont été collectées à trois stations climatologiques de la zone d'étude sur la période 1971 – 2005 :

- Mamou, altitude 782 m ;
- Labé, altitude 1050m ;
- Siguiri, altitude 361 m.

Les séries de températures moyennes annuelles minimales et maximales ont en outre été collectées à quatre stations supplémentaires : Bakel (période 1980-2016) et Matam, Podor et Saint-Louis (période 1960-2016).

B. Vent et humidité relative

Les valeurs de vitesses moyennes du vent et de la direction moyenne à l'échelle mensuelle ont été collectées à trois stations climatiques, de même que les données d'humidité relative.

- Mamou, altitude 782 m ;
- Labé, altitude 1050m ;
- Siguiri, altitude 361 m.

3.1.2.3. Présentation des données hydrologiques

Des données de débits ont été collectées par l'OMVS sur 14 stations du BFS. Il s'agit de mesures de débit au pas de temps journalier sur une période allant de 1903 à 2017 pour la plus longue série. Un récapitulatif des stations et de la disponibilité des données est présenté dans le Tableau 9.

Tableau 9 - Présentation des stations hydrométriques fournies par l'OMVS

Station	Rivière	Surface drainée (km ²)	Période couverte	Années complètes
Diangola	Bakoye	12 100	1999 - 2000	0
Daka Saidou	Bafing	15 700	1952 - 2017	61
Gourbassi	Falémé	17 100	1954 - 2017	61
Bafing Makana	Bafing	22 000	1961 - 2017	55
Manantali	Bafing	27 800	1987 - 2017	29
Soukoutali	Bafing	27 800	1972 - 1983	1
Kidira	Falémé	28 900	1930 - 2017	29
Oualia	Bakoye	84 700	1954 - 2017	57
Kayes	Sénégal	157 400	1903 - 2017	60
Ambidedi	Sénégal	159 000	1909 - 2009	5
Bakel	Sénégal	218 000	1904 - 2017	65
Matam	Sénégal	230 000	1903 - 2017	55
Saldé	Sénégal	259 500	1952 - 2001	27
Diama	Sénégal	340 000	1986 - 2017	28

On remarque que certaines stations ne pourront pas être utilisées en raison du manque de données (cas d'Ambidedi, de Diangola et de Soukoutali).

Ces données ont été complétées par les données hydrométriques trouvées dans la base de données du SIEREM. Celle-ci contient une trentaine de stations de mesure sur le BFS. Cependant, sur ces 34 stations recensées, seules 12 ont été retenues car présentant des séries de débits plus longues. Nous avons collecté les données journalières que nous avons moyennées afin d'obtenir des données mensuelles et annuelles.

Les données limnimétriques nécessitent une courbe de tarage (relation hauteur – débit) précise afin de connaître la valeur du débit. Les stations associées nécessitent donc un suivi et un entretien particulier. Les données peuvent donc être difficiles à analyser. Nous avons choisi d'utiliser plutôt les stations pour lesquelles nous avons directement des valeurs de débits, soit fournies par l'OMVS, soit trouvées sur la base de données du SIEREM.

Le Tableau 10 récapitule les informations pour les stations issues de la base de données du SIEREM ayant le plus de données disponibles.

Tableau 10 - Présentation des stations hydrométriques récupérées sur le site du SIEREM

Station	Rivière	Surface drainée (km ²)	Période disponible	Années complètes
Daka Saidou	Bafing	15 700	1903 - 1998	92
Toukoto	Bakoye	16 500	1903 - 1990	86
Gourbassi	Falémé	17 100	1903 - 1999	86
Bafing Makana	Bafing	22 000	1903 - 2001	86
Soukoutali	Bafing	27 800	1903 - 1990	86
Kidira	Falémé	28 900	1950 - 1997	46
Dibia	Bafing	33 500	1903 - 1990	86
Siramakana	Baoule	59 500	1903 - 1990	86
Oualia	Bakoye	84 700	1903 - 1999	86
Galougo	Sénégal	128 400	1903 - 1990	86
Kayes	Sénégal	157 400	1903 - 1999	87
Bakel	Sénégal	218 000	1904 - 1999	39

Il est ainsi possible de croiser les données pour les stations de Daka Saidou, Gourbassi, Bafing Makana, Kidira, Oualia, Kayes et Bakel.

Enfin, une dernière source de données a été utilisée pour l'obtention de données hydrométriques. Il s'agit de la monographie du BFS, actualisée en 2013. En l'absence de données hydrométriques pour le bassin 6 (le Sénégal moyen de Bakel à Podor), nous avons pu récupérer une série de débits mensuels à Dagana pour la période 1904 – 1983.

Cette actualisation contient également des séries de débits mensuels pour les stations de Bafing Makana, Daka Saidou, Soukoutali, Dibia, Sokotoro et Balabori sur le Bafing, Diangola, Oualia et Toukoto sur le Bakoye, Siramankana sur le Baoulé, Gourbassi, Kidira, Moussala et Fadougou sur la Falémé, Bakel, Kayes, Galougo et Gouina sur le Sénégal ainsi que quelques stations sur des bassins plus petits.

L'ensemble des stations mentionnées ci-dessus sont représentées sur la Figure 12.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

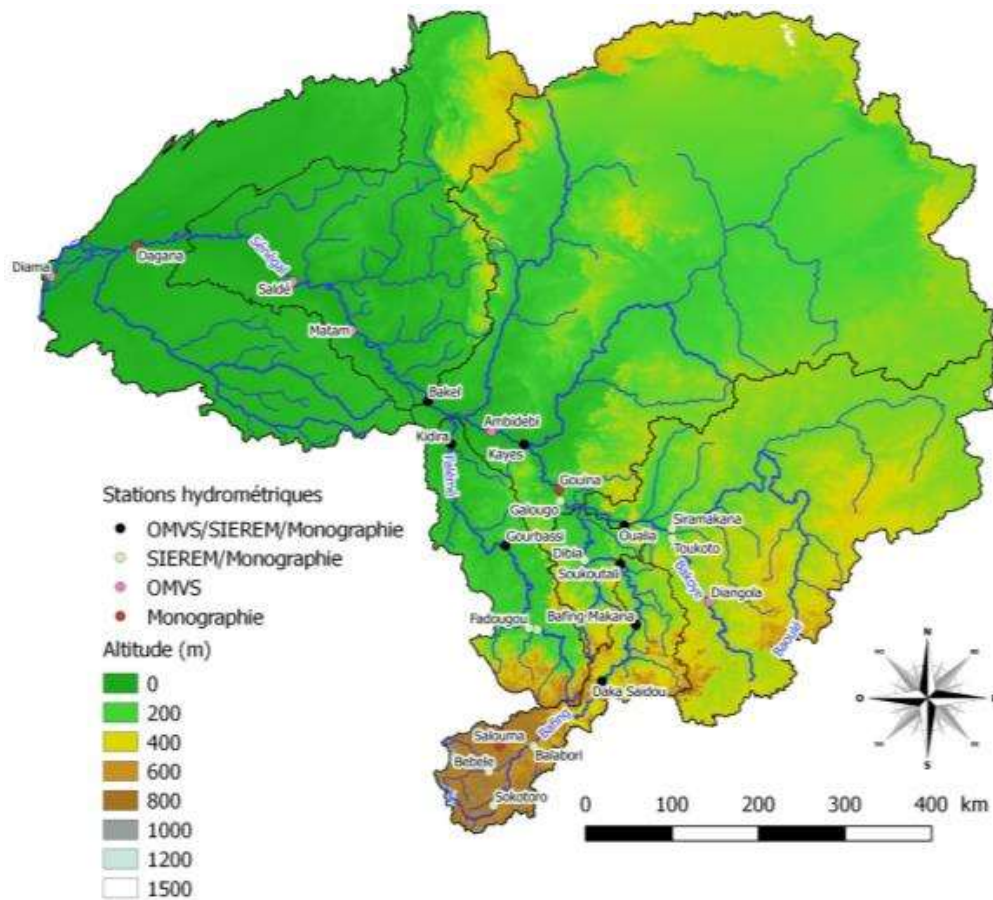


Figure 12. Carte de localisation des stations hydrométriques sur le bassin du Sénégal (source : ce rapport)

3.1.2.4. Présentation des données piézométriques

Dans le cadre du projet initié par l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) et l'Agence Américaine pour le Développement International (USAID), des missions de terrain ont été organisées dans trois pays du bassin du fleuve Sénégal (Mali, Mauritanie et Sénégal) afin d'établir un diagnostic exhaustif des piézomètres existants.

- La Guinée

L'enquête OMVS/USAID n'a pas concerné la Guinée. Le projet GEF, mené par la Banque Mondiale, a fait un point sur les eaux souterraines en Guinée en général (ainsi que sur tout le BFS). Ils ont constaté qu'aucune étude de connaissance des eaux souterraines n'a été réalisée en Guinée. Les seules études hydrogéologiques effectuées dans le pays ont eu pour but l'implantation des points d'eau pour l'exploitation des eaux souterraines en vue de l'alimentation en eau potable des populations par le SNAPE (Service National d'Aménagement des Points d'Eaux).

Le Bureau Guinéen de Géologie Appliquée (BGGa) qui s'occupe de l'exploitation des eaux souterraines et la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) qui doit s'occuper non seulement de l'inventaire mais aussi du suivi des ressources en eau ne se sont jamais occupés du suivi des ressources en eau souterraines (par faute de moyens). En définitive, il n'existe actuellement pas de système de contrôle des eaux souterraines en Guinée.

- Le Mali

Le projet OMVS/USAID a permis de recenser 231 piézomètres mis en place à partir des années 1981 par la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie, avec l'aide des Projets

PNUD/DCTD et la participation de plusieurs autres projets. Sur les 231, 44 sont répartis sur le bassin du fleuve Sénégal. Certains piézomètres sont inaccessibles ou ont disparu, seulement 8 piézomètres ont été jugés en bon état. La collecte des données sur les piézomètres du bassin a démarré en Décembre 1982 avec la mise en place des premiers piézomètres et s'est arrêtée en 1994 pour l'ensemble du réseau. Actuellement tous ces piézomètres ne sont plus suivis.

- La Mauritanie

Le projet OMVS/ USAID (1990) a permis la mise en place de 237 piézomètres. Ces piézomètres, localisés dans la vallée, ont été mis en place dans le but de suivre l'évolution de la piézométrie des nappes alluvionnaires et de celles sous-jacentes et l'évolution de leur salinité, à la suite de la construction du barrage de Diama. La mission d'investigation dans le Delta Mauritanien, organisée dans le cadre du SDAGE phase I a recensé que seulement 17 piézomètres sont jugés en bon état et que la plupart ont soit disparu soit sont inaccessibles. Le suivi de ce réseau a fonctionné de manière régulière jusqu'à 1991 avec l'appui du Projet. Le Projet terminé en 1991, la cellule de suivi qui avait son siège à Rosso a été rattachée à la Cellule Nationale de l'OMVS et a fonctionné de manière très irrégulière jusqu'à 1995. Depuis lors, ce réseau n'a plus été suivi et il faut noter que plusieurs de ces piézomètres sont détruits ou inaccessibles à cause des aménagements hydro agricoles, du vandalisme ou de la prolifération des végétaux envahissants.

Il existe cependant de nombreuses études sur la nappe du Trarza, principale nappe sur la partie Sénégal-Mauritanienne. La thèse « Approches géochimique et hydrodynamique de la recharge de la nappe du Trarza, Sud-Ouest de la Mauritanie » réalisée par Ahmed Salem Mohamed avec l'Université Paris-Sud (école doctorale de MIPEGE) nous a permis d'avoir des données sur le suivi de cette nappe.

- Le Sénégal

Les missions d'investigation menées lors de la phase I du SDAGE ont permis de recenser 167 piézomètres, installés dans le cadre du projet OMVS/ USAID. Dans la partie Delta du Sénégal, 30 piézomètres ont été visités dont 16 ne fonctionnant pas. Une autre mission a été menée sur la rive gauche du Sénégal pour évaluer la fonctionnalité des piézomètres. Sur les 137 auscultés, 93 sont jugés en bon état.

La mesure des données est effectuée par 4 acteurs principaux : la DGPRES et la DRHA (Direction Régionale de l'Hydraulique) de Saint-Louis, les sites de la SDE (la Sénégalaise Des Eaux), la SONES (Société Nationale des Eaux), la SAED (Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du delta) et la CSS.

Le Sénégal est le seul pays pour lequel les données de suivi des nappes sont présentes en quantités.

3.1.3. Collecte des données socioéconomiques et environnementales

3.1.3.1. Présentation des données socioéconomiques

Les enquêtes réalisées dans le cadre de la mission de collecte de données montrent qu'il existe beaucoup d'écrits sur le BFS et sur les changements climatiques. Malheureusement, très peu de documents spécifiques à la zone d'intervention du projet ont été recensés.

L'analyse des documents répertoriés sur la zone du BFS montre que les données sont souvent présentées à l'échelle administrative de la région et qu'il faut souvent faire des recoupements et des rapprochements pour saisir la situation locale ; il en est ainsi des aspects démographiques (croissance et projections) et économiques. L'évolution des principaux agrégats macro-économiques est disponible uniquement à l'échelle nationale. Or, les bassins versants sont souvent transfrontaliers. Hormis le SDAGE et l'étude de la Monographie du fleuve Sénégal qui ont réalisé des analyses sous cet angle, la plupart des statistiques nationales relatives aux secteurs économiques (situation économique et sociale nationale et par région au Sénégal ; les annuaires nationaux périodiques pour les autres pays ; les publications des banques centrales) s'intéressent aux situations agrégées. Les indicateurs de pauvreté ou sanitaires sont rarement

disponibles au niveau local, même si ceux relevant de la santé peuvent être reconstitués si les données de base sont disponibles. Idem sur les indicateurs d'insécurité alimentaire qui sont disponibles souvent uniquement au niveau régional. A un niveau plus local, il est rare de trouver des documents de planification à jour et intégrant la problématique des changements climatiques.

Les documents d'évaluation de certains projets nationaux de résilience aux changements climatiques essaient de camper la situation dans leur zone d'intervention, mais ces informations demeurent parcellaires et confinées au territoire national.

L'exploitation de la documentation sur la caractérisation de la pêche continentale dans le BFS au niveau de trois des quatre Etats membres fournit des indicateurs sur l'évolution de cette activité, sur les prélèvements et sur les acteurs de la filière. Mais ces données datent déjà de 2009.

Globalement, certains constats de terrain (discussions avec les cibles) sur l'évolution des activités socio-économique des ménages dans certaines parties du bassin ne sont pas reflétés dans les statistiques officielles nationales. Il était donc particulièrement important que le Consultant puisse rencontrer les organismes à travers les visites des CNC et les populations à travers les visites des CLC.

3.1.3.2. Présentation des données environnementales

Une analyse de l'environnement des zones du bassin du fleuve Sénégal a dégagé les constats suivants.

La partie Guinéenne du bassin est couverte par les massifs et hauts plateaux cuirassés du Fouta Djallon et de ses contreforts. Au sud-ouest, l'altitude décroît et on passe à un paysage de plateaux ondulés, plus ou moins cuirassés. La formation végétale est composée de savane boisée, de savane arborée de forêts classées. On note, par endroit, l'existence de galeries forestières.

Appartenant à la région du Fouta Djallon, la préfecture de Mamou abrite les sources des trois grands fleuves de la Région : Bafing (fleuve Sénégal), Konkouré et Kaba.

En République de Guinée, le fleuve Bafing prend sa source au niveau du PK 15 sur la route Mamou-Dalaba vers le côté gauche à environ 2 km de la Nationale (Salamayo, au sud-ouest du bassin versant). Le bassin versant est drainé du sud vers le nord traversant le Fouta, région montagneuse où les phénomènes d'érosion ont une ampleur considérable sur le relief. Ses principaux affluents sont : Koumiwol, Finalawol et Koudjiwol sur la rive droite et Pettiniwol, Diatakowol, Kourrasiwol, Badiwol, Fellowol, Dantoumawol, Poredakawol, Samanwol, Herikowol et Niagarawol sur la rive gauche.

Le relief de la région malienne est dominé par la falaise de la Tambaoura qui couvre une bonne partie du cercle de Kayes. Dans la partie malienne, le type de formation végétale varie selon les zones principales :

- la zone sahélienne ou septentrionale : couvrant la majeure partie de la région est le domaine de la steppe, formation épineuse à prédominance d'acacias, de balanites et zizyphus (Yélimane, Diéma et Kayes) ;
- la zone soudanienne ou méridionale se caractérise par la savane herbeuse à Andrapogonees avec de grands arbres qui cède la place à la savane lorsqu'on s'avance vers le sud ;
- la zone pré-guinéenne avec la savane boisée, les galeries forestières le long des principaux cours d'eau.

La ressource en eau la plus importante dans la zone du programme est constituée par le fleuve Sénégal formé à Bafoulabé par le Bafing et le Bakoye. A peine formé, le fleuve Sénégal se heurte à des masses rocheuses qui l'enserrent ; il traverse les barrages au niveau des chutes de Gouina et de Félou dont les eaux déclinantes fournissent l'électricité à la ville de Kayes. Le régime du Fleuve Sénégal est permanent.

Le Bafing, le premier affluent principal, a un régime semi-permanent et parcourt 450 km en territoire malien. Le Bakoye, le deuxième affluent principal a un régime semi-permanent et parcourt 461 km en territoire malien. En plus du fleuve Sénégal, la région compte d'autres cours d'eau importants tels que la Falémé. D'autres affluents bien que très saisonniers sont très importants du fait des quantités très importantes d'eau qu'ils drainent et le remplissage des mares et lac qu'ils assurent.

Le système de la Terekolle-Kolombine qui alimente le lac Magui (qui contient de l'eau toute l'année), le Wadou, de caractère sahélien ne coule qu'après de grandes averses. Les mares associées à ce système hydraulique sont:

- dans le cercle de Yélimane : les mares de Goumbo et Lébé de Garara ;
- dans le cercle de Diema : les mares de Tinkare, de Madine, de Lame, de Bilibani et de Fagoune ;
- dans le cercle de Nioro : les mares de Korkodio, de Hamake, de Siabi, de Dialakoro, de Yerere et de Lambatara ;
- dans le cercle de Kayes : la mare de Doro.

La zone d'intervention du programme au Mali est partie intégrante de la Réserve protégée de Faune du Bafing. La plupart des grands mammifères de la région soudanienne sont représentés dans la Réserve. Les entretiens dans les villages révèlent une dégradation manifeste de la faune sauvage visible à travers la disparition progressive des grands mammifères, Surtout au nord de la zone (Communes de Bamafélé, Diokeli et Mahina). La diminution, sinon disparition des habitats adéquats, la grande pression exercée par les braconniers, la concurrence de plus en plus forte entre les animaux sauvages et le bétail autour des points d'eau permanents, sont entre autres des contraintes évoquées par les populations à l'épanouissement de la faune.

Dans l'ensemble de la moyenne vallée et de la basse vallée, la nappe alluviale fournit une eau facilement accessible par les puits, pour la consommation humaine, animale et pour l'irrigation des jardins maraichers (notamment les jardins des groupements de femmes). Les puits peu profonds ouverts sont les plus fréquents, la profondeur de l'eau y étant en moyenne de 8 m à 10 m.

On distingue 4 grands types de sols classés en fonction de leur texture et de leur structure :

- Hollaldé : ils représentent 36% du potentiel irrigable. Ils contiennent 50 à 75 % d'argile (argileux). Leur drainage est mauvais. Ces sols sont favorables à la riziculture parce qu'ils supportent la submersion mais ils sont très difficiles à travailler aussi bien en sec qu'en humide ;
- Faux Hollaldé : ils représentent 31% du potentiel irrigable. Ils contiennent 30 à 50 % d'argile (argilo limoneux). Leur drainage est mauvais. Ces sols sont favorables à la riziculture et autres cultures;
- Fondé : ils représentent 33% du potentiel irrigable. La teneur en argile de ces sols est de 10 à 30 % (limoneux). Leur drainage est moyen. Ces sols à structure cuboïde sont favorables à toutes cultures autres que le riz. Ils ont en plus des propriétés filtrantes ;
- Diéri : ces sols contiennent 80 à 90 % de sable (sablonneux) de structure monogranulaire, ils supportent toutes les cultures autres que le riz.

En plus de ces quatre grands types, on peut trouver les Falos : ce sont les talus des berges du lit mineur du fleuve et de ses défluents, situés en bordure du fleuve, ou sont pratiqués très localement des cultures maraichères les Diacré : ils constituent les bourrelets recouverts par les crues moyennes à fortes, rarement cultivés mais occupés par des Acacias.

Dans la vallée du fleuve Sénégal, le couvert végétal est fonction du type de sol, de l'eau disponible et du microrelief :

- Sur les berges du fleuve et les plaines alluviales d'inondation, une végétation adaptée à des conditions hydrographiques particulières s'est installée. La formation caractéristique est la forêt inondable de Gonakiers (*Acacia nilotica*) ;
- Sur les sols salins, l'arbuste dominant est *Tamarix senegalensis* ;
- Dans le delta, la mangrove à *Avicennia* et *Rhizophora* représente l'écosystème littoral adapté à l'eau saumâtre.

Les hautes terres du « Diéri » bordant le lit majeur du fleuve portent une végétation de type arbustive à arborée dominée par *Acacia Sénégal* et *Acacia tortilis*.

Le couvert végétal de la vallée du fleuve Sénégal (en Mauritanie et au Sénégal) a subi une réduction sensible, à cause de l'avancée des fronts agricoles et des charbonniers, de la pratique de l'élevage extensif, du surpâturage, de l'élagage des ligneux. A ces effets vient s'ajouter la péjoration du climat, avec notamment une longue période de sécheresse.

La dégradation des formations forestières constitue une menace réelle pour certaines formations spécifiques notamment les forêts d'*Acacia nilotica* var. *tomentosa* (gonakier) de la vallée du fleuve Sénégal. Les derniers gonakiers sont localisés pour l'essentiel dans les forêts classées.

De manière synthétique, l'analyse de l'état initial de la zone d'intervention du PGIRE II permet de déceler les principales contraintes environnementales et sociales dont notamment :

- Dégradation des terres ou désertification ;
- Déboisement ;
- L'érosion et l'ensablement ;
- Dégradation des berges et des têtes de sources ;
- Salinisation des terres et perte de terres agricoles ;
- Surpâturage ;
- Feux de brousse ;
- Baisse de la disponibilité et de la qualité des eaux ;
- Disponibilité des eaux de surface ;
- Disponibilité des eaux souterraines ;
- Qualité de l'eau ;
- Prévalence de maladies liées à l'eau ;
- Prolifération des espèces envahissantes ;
- Menaces sur la biodiversité.

3.1.3.3. Documentation sur les microprojets financés dans le cadre du GEF

Les Cellules nationales OMVS ont mis à disposition de la mission les documents suivants :

- Guinée : la mise en œuvre en Guinée du programme de micro-subvention du GEF/BFS, août 2008 ;
- Mali : Panorama de la mise en œuvre du programme de micro-subvention (PMS) au Mali, 2004-2008 ;
- Mauritanie : les fiches projets de la phase 1 ;
- Sénégal : les fiches projets de la phase 1.

Ces documents présentent sommairement le projet, les bénéficiaires, les coûts, la contribution des bénéficiaires, les objectifs, les activités conduites, les résultats prévus et atteints. En revanche, ils ne donnent aucune indication sur les aspects économiques hormis les coûts du projet. Nous n'avons pas pu disposer des documents projet du PMS/GEF et des différents micro-projets

financés, composante micro-subvention. Il en est de même des différents rapports de suivi périodique ou de supervision.

Le rapport final d'activités du projet GEF/BFS/OMVS de 2004-2008, septembre 2008, fait le bilan de la mise en œuvre du PMS/GEF pendant les 2 phases.

3.1.4. Visite de terrain et enquêtes

Deux séries de visites ont été effectuées en juillet-août 2017 :

- la visite, dans chacune des capitales des quatre Etats membres, du Comité National de Coordination (CNC) ;
- la visite de plusieurs Comités Locaux de Coordination (CLC) dans chacun des quatre Etats-membres ainsi que la visite de microprojets GEF.

Ces visites ont été particulièrement riches pour l'analyse car elles ont permis de rassembler une information de première main au plus près des acteurs institutionnels d'une part et des populations locales du bassin d'autre part.

3.1.4.1. Déroulement des visites de CNC

La mission s'est déroulée du 17 au 20 juillet 2017 au Sénégal puis s'est poursuivie du 08 au 13 août en Mauritanie, du 14 au 19 août au Mali et du 21 au 26 août en Guinée.

Les CNC regroupent plusieurs organismes, différents selon les pays. Le tableau ci-dessous liste les organismes rencontrés. Des comptes-rendus de réunions ont été systématiquement établis qui sont regroupés en Annexe 1 du présent rapport.

Tableau 11 – Déroulement de la mission de visite des CNC

Date	Description
17-20/07/2017	Etape 1 : Le Sénégal
17/07	Réunion avec la SAED
17/07	Réunion avec l'expert en santé de l'OMVS
18/07	Réunion avec l'expert en environnement de l'OMVS
18/07	Réunion avec l'expert pêche de l'OMVS
18/07	Réunion avec la DGPPE
18/07	Réunion avec le Centre de Suivi Ecologique (CSE)
19/07	Réunion avec la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (DEEC)
08-13/08/2017	Etape 2 : La Mauritanie
08-13/08/2017	Réunions avec : - la cellule nationale OMVS, - le Ministère de l'Agriculture, - la SONADER - le Ministère de l'Hydraulique
14-19/08/2017	Etape 3 : Le Mali
14-19/08/2017	Réunions avec : - la cellule nationale OMVS, - le Ministère de l'Agriculture, - l'Agence de Développement Rural de la vallée du fleuve Sénégal (ADRS), - la Direction Nationale de la Pêche - l'Agence de l'Environnement et du Développement Durable (AEDD) - Direction Nationale du Génie Rural - Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) - Institut d'Economie Rurale

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Date	Description
21-26/08/2017	Etape 4 : La Guinée
	Réunions avec : <ul style="list-style-type: none"> - la cellule nationale OMVS, - le Point focal 'Changement Climatique', - le Point focal 'Partenariat de la montagne', - Direction Nationale de la Pêche Continentale et de l'Aquaculture, - Direction Nationale de l'Environnement et du Développement Durable, - Direction Générale des Eaux et Forêts, - Direction Nationale de l'Energie, - Direction Nationale de l'Agriculture.

Les principales conclusions des entretiens sont les suivantes :

A. Guinée

Les informations recueillies auprès des autorités guinéennes ont indiqué une forte vulnérabilité de la tête du bassin sur tous les plans (hydrologique, agricole, des pêcheries, de l'environnement et des infrastructures hydro-agricoles).

L'érosion des berges et des terres agricoles est exacerbée par la coupe de bois et l'extraction de sables.

Les méthodes obsolètes d'exploitation du milieu constituent un problème important pour la pêche, l'agriculture et l'environnement. Il est, en particulier, noté que la méthode d'empoisonnement des poissons à l'enveloppe de Néré ainsi que les endiguements aux branchages portent un grand préjudice au secteur de la pêche.

Il en est de même de la fabrication de briques en terre cuite qui contribue à la dégradation des berges et des têtes de source.

On s'accorde à dire que les activités de développement, qui ont jusque-là été menées, n'ont pas été pensées sous l'angle du changement climatique et que la nécessité se pose de procéder aux réglages nécessaires dans la deuxième phase du PGIRE.

Le manque d'études de suivi constitue la véritable lacune à l'origine des difficultés de gestion et de maîtrise des différentes ressources. La vulnérabilité est ressentie mais n'est pas prouvée par des études scientifiques, d'où les difficultés de formulation des projets d'adaptation efficaces.

B. Mali

Les informations recueillies auprès des autorités maliennes, et la recherche scientifique et technique portant sur le développement rural, ont indiqué un impact positif des projets GEF et PGIRE. Cet impact est perceptible, notamment sur l'accroissement du revenu des femmes qui, de plus en plus, parviennent à prendre en charge une bonne partie des dépenses ménagères et disposer ainsi d'une autonomie de gestion, ce qui constitue une marge "émancipatrice" considérable.

Il est également attesté que le bassin du fleuve Sénégal est très vulnérable sur tous les plans (hydrologique, agricole, des pêcheries, de l'environnement et des infrastructures hydro-agricoles).

L'érosion des berges, des terres agricoles et l'envasement des bassins aval constituent un problème majeur de cette vulnérabilité.

La fragilité des écosystèmes naturels se manifeste par la disparition de certaines espèces ligneuses et halieutiques.

La pollution de l'environnement par l'orpillage constitue le grand fléau à éradiquer.

On s'accorde à dire que les activités de développement, qui ont jusque-là été menées, n'ont pas été pensées sous l'angle du changement climatique et que la nécessité se pose de procéder aux réglages nécessaires dans la deuxième phase du PGIRE.

Le manque d'études de suivi constitue la véritable lacune à l'origine des difficultés de gestion et de maîtrise des différentes ressources. La vulnérabilité est ressentie mais n'est pas prouvée par des études scientifiques, d'où les difficultés de formulation des projets d'adaptation efficaces.

C. Mauritanie

Les informations recueillies auprès des autorités mauritaniennes montrent que les impacts du projet GEF et de la première phase du PGIRE ne sont pas, de nos jours, identifiables sur le terrain. Il y a eu des activités éparses qui ont été menées sans un véritable suivi et dont les parties prenantes sont difficilement localisables. Ceci se poursuit au cours de la présente phase du PGIRE II.

Toutes les enquêtes ont attesté que les CLC auxquels une forte allusion a été faite, n'ont pas été présents sur le terrain au cours du PGIRE I et au démarrage du PGIRE II.

Il est également attesté que les activités de développement, dans la vallée du fleuve Sénégal, sont menées sans tenir compte de la dimension climat. Cette dimension n'est d'ailleurs que très peu perceptible du fait de la présence, en abondance de l'eau.

Un consensus se dégage sur la nécessité de remettre en place les CLC.

D. Sénégal

Le Sénégal profite du siège de l'OMVS à Dakar, en revanche le CNC Sénégal n'est pas vraiment matérialisé.

Plusieurs initiatives vertueuses ont été rapportées menées conjointement par les autorités et sénégalaises et les experts de l'OMVS. Elles concernent notamment le secteur de la pêche et de la santé. Des efforts ont par ailleurs été entrepris par la SAED pour maîtriser la situation environnementale et réduire les conflits entre éleveurs et agriculteurs.

Des études solides ont été menées, néanmoins on observe un manque de suivi des indicateurs environnementaux. En particulier les hauteurs piézométriques des nappes sont très mal suivies ce qui conduit à une situation de prélèvement sans s'assurer de la disponibilité de la ressource avec le risque d'épuisement des nappes.

3.1.4.2. Déroulement des visites des CLC

La mission qui s'est déroulée du 24 juillet au 13 août 2017 a visité comme prévu, les quatre états membres de l'OMVS (la Guinée, le Mali, le Sénégal, la Mauritanie).

Etant donné qu'un parcours exhaustif de l'ensemble du BFS n'était pas envisagé, les visites du terrain ont été planifiées conformément au timing prévu d'une durée de trois semaines. Afin de mieux collecter les données, les planifications initiales ont été souvent revues et adaptées au contexte de l'étude et aux réalités de terrain.

Les visites se sont déroulées sur le terrain sur la base d'une planification élaborée avec les points focaux. Leur maîtrise du terrain avait permis d'effectuer les visites de sites où sont installés les Microprojets OMVS mais également de rencontrer les acteurs clés impliqués ou non dans le processus mais concernés par les questions d'eau ou d'environnement.

Les activités démarrent toujours par une visite de courtoisie aux autorités territoriales (Gouverneur, Préfet, Sous-Préfet) ou politiques (maires, ou leurs représentants). Représentant leur Etat au niveau territorial, la rencontre avec ces autorités permet à la mission de se présenter et de décliner l'objet de l'étude. Cette rencontre est toujours une garantie pour une mission de terrain car elle permet en cas de problème de pouvoir solliciter directement l'intervention de ces autorités. Il

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

importe à ce niveau de préciser que les lettres d'introduction et les ordres de mission ont beaucoup servi au contact des autorités (certaines autorités ne manquaient pas de les demander dès le premier contact avec la mission).

Il y a ensuite la rencontre avec les points focaux pour élaborer une planification des activités de terrain et identifier les acteurs clés à rencontrer. Avant d'aller sur les sites, la mission informe à l'avance tous les acteurs cibles identifiés sur le terrain.

Des entretiens sont organisés avec les responsables des services déconcentrés (hydraulique, environnement, élevage, hygiène, agriculture). Des documents ayant trait à la problématique de l'eau ou aux changements climatiques sont également demandés auprès de ces agents de l'Etat.

Sur les sites, la mission visite d'abord les microprojets avant de s'entretenir avec les membres des Comités Locaux de Coordination (CLC). Des Focus Group séparés (hommes et femmes) sont ensuite organisés pour discuter l'état d'avancement des microprojets et sur la question de changement climatique. Il arrive souvent à la mission d'organiser des rencontres mixtes ou des assemblées villageoises selon la mobilisation ou l'intérêt affiché des communautés sur les questions déclinées.

Avant de quitter le secteur, la mission organise un débriefing avec les membres de CLC afin de voir si effectivement les visites ont permis de recueillir les données escomptées.

Les différentes étapes du déroulement de la mission sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12 – Déroulement de la mission de visite des CLC

Date	Description
24/07/2017	Départ de Dakar.
Etape 1 : La Guinée	
24/07	Nuitée à Mamoune.
25/07	Arrivée à Labé et visite de courtoisie au Gouverneur de la région de Labé pour l'informer de la mission et lui expliquer les objectifs de l'étude.
25/07	Entretien avec le chef du Bureau Technique de Génie Rural, échanges sur les objectifs de l'étude et planification des activités de terrain.
26/07	Voyage sur la préfecture de Mali et visite de courtoisie au Préfet. En l'absence du Préfet, l'équipe a été reçue par le Secrétaire Général des Collectivités Locales de la préfecture. Entretiens avec les membres du CLC de Mali.
27/07	Voyage sur la communauté rurale de développement de Koïn de la préfecture de Tougué et entretiens avec les membres du CLC de Koïn. Visite du microprojet de reboisement des têtes de source et berges du cours d'eau de Parawol Marga et organisation d'une assemblée villageoise avec la communauté bénéficiaire.
28/07	Voyage sur la préfecture de Tougué et visite de courtoisie au Préfet. Entretiens avec les membres du CLC de Tougué et visite du microprojet du site de Niéniéméré. Le site polarise les trois localités de Niéniéméré, de Dabalaye, et Olardé. Echanges avec le Directeur Préfectoral de l'Agriculture à Collin.
28/07	-Débriefing avec l'équipe du Bureau Technique de Génie Rural de Labé ; -Rencontre avec l'ONG REMECC-GKM à travers l'expert national en Suivi-évaluation-communication. REMECC-GKM est un Projet de Renforcement de la Résilience des Moyens d'existence qui intervient essentiellement à Gaoual, Koundara, Mali (REMECC-GKM), dans les régions de Boké, Mali et Labé et dans 16 Communes rurales ; -Entretiens avec le Directeur préfectoral de l'Environnement et des eaux forêts de Labé ; -Voyage sur Bamako, Mali (Nuitée à Bamako).
Etape 2 : Le Mali	
29/07	Voyage sur Kayes.
30/07	Entretiens avec le point focal du CLC de Kayes, planification des activités de terrain et prise de contact avec les acteurs à rencontrer.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Date	Description
31/07	<ul style="list-style-type: none"> -Visite de la Cellule Régionale de l'OMVS à Kayes et échanges avec les experts sociologue, environnementaliste et celui en charge de l'hygiène et de la sécurité ; -Visite de courtoisie à la commune de Diamou. Le Maire étant absent, la mission s'est entretenue avec l'équipe communale (1er adjoint au Maire, Secrétaire de Général de la commune et l'agent de développement rural) ; -Visite du micro-projet de protection et régénération des ressources halieutiques et développement de la pisciculture dans la commune rurale de Diamou ; -Organisation de deux Focus Group avec « Dunka fa Ton » de Tematessou qui est l'association bénéficiaire du projet (un Focus Group avec les femmes et un autre avec les hommes) ; -Visite de courtoisie au Gouverneur de la région de Kayes. Le Gouverneur empêché (retenu par la rencontre panafricaine des femmes organisée à Kayes), la mission a eu un entretien avec le conseiller économique et financier du Gouvernorat.
01/08	<ul style="list-style-type: none"> -Visite de courtoisie au Préfet de la commune de Bafoulabé. Echange avec l'adjoint au Préfet ; -Echanges avec les membres du CLC du cercle de Bafoulabé et organisation de 2 Focus Group (un avec les femmes et un autre avec les hommes) ; -Entretiens avec la présidente du groupement dénommé « Dioulaton » de Bafoulabé qui a mis en place un jardin maraîcher dans sa concession.
02/08	<ul style="list-style-type: none"> -Visite du site de Promotion de l'acacia Senegal pour le compte de la Société Coopérative de Production et de Commercialisation de Diangoute-Camara ; Entretiens avec l'équipe communale de la Mairie de Diangouté Camara ; Focus Group avec les femmes et avec les hommes ; -Rencontre avec l'équipe municipale de la Mairie de Diangouté Camara ; -Entretiens avec les membres de la Coopérative de Gnodemin ; Organisation de deux Focus Group avec les hommes et avec les femmes.
03/08	<ul style="list-style-type: none"> -Rencontre avec l'équipe du service départemental de l'agriculture de Kayes ; -Voyage sur Bakel au Sénégal.
Etape 3 : Le Sénégal	
04/08	<ul style="list-style-type: none"> -Rencontre avec l'équipe du service départemental des eaux et forêts de Bakel ; -visite du site d'« Amélioration de la zone de mise en défens de Gandé » ; -Entretien avec les membres de l'association ; -Organisation de deux Focus Group avec les hommes et avec les femmes.
05/08	<ul style="list-style-type: none"> -Visite de courtoisie au Préfet du département de Kanel (le Préfet absent, l'équipe a été reçue par son adjoint) ; -Visite du site de « Protection des berges du fleuve du Senegal », à Thialy Makka ; -Organisation de deux focus group (Hommes et femmes) avec les villageois de Thialy Makka.
06/08	<ul style="list-style-type: none"> -Visite de courtoisie au Préfet du département de Podor ; -Entretien avec le responsable des eaux et forêts ; -Entretien avec le CADL de Podor ; -Entretien avec le chef CADL de Fanaye et point focal du projet.
07/08	<ul style="list-style-type: none"> -Visite du site « Agro-foresterie de Peulh Dioss » ; -Organisation de deux Focus Group avec les hommes et avec les femmes.
08/08	Voyage sur la Mauritanie.
Etape 4 : La Mauritanie	
09/08	Entretien avec une personne ressource leader et président de l'association Mouharda à Rosso Mauritanie.
10/08	<ul style="list-style-type: none"> -Rencontre avec le Préfet du département de Boghé ; -Entretien avec l'inspecteur des eaux et forêts de Boghé ; -Visite du site de protection des terres cultivables de Aéré Goléré ; -Entretien avec les membres de l'association ; -Visite du site de promotion et de vulgarisation du biogaz du GPF de Thidé ; -Entretien avec les membres du GPF de Thidé en présence d'hommes leaders naturels du village ;
11/08	-Visite de courtoisie au Wilaya de la région de Rosso Mauritanie ;

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Date	Description
	-Entretien avec le chef du service régional de l’environnement à Rosso; -Visite du site du projet de gestion des terres et de la désertification de la Coopérative El Moucharaka.
12/08	Entretien avec les membres du GPF de la Coopérative El Moucharaka.
13/08	Retour à Dakar.

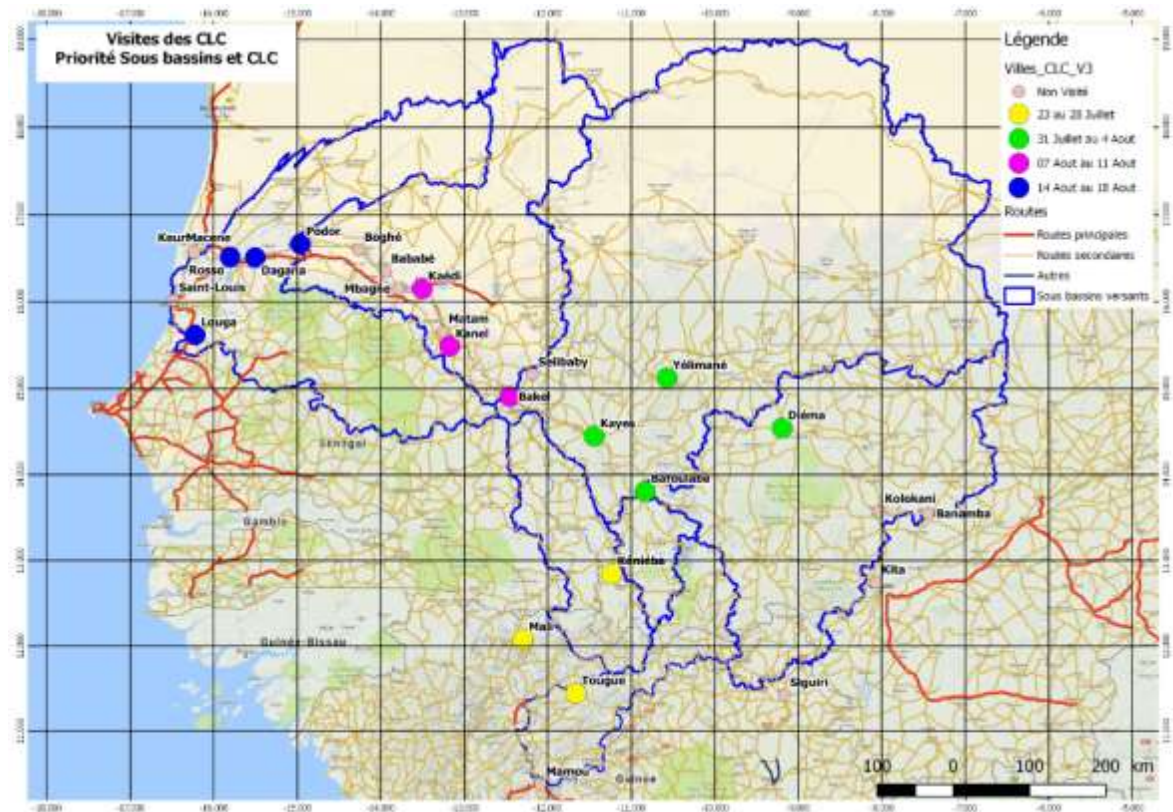


Figure 13. Carte de localisation des CLC qui étaient projeté de visiter (source : ce rapport)

Des comptes-rendus de visites ont été systématiquement rédigés. Ils sont joints en Annexe 2 du présent rapport.

3.1.4.3. Déroulement des enquêtes

La collecte des données s’est déroulée de manière participative et souvent itérative à travers des entretiens directifs ou semi-directifs (entretiens individuels, focus group) sur la base des guides d’entretiens qui ont été élaborés.

Afin de recueillir le maximum de données fiables, l’équipe de terrain a rencontré tous les acteurs impliqués dans le processus. Toutes les parties prenantes locales ont été prises en compte afin de s’assurer de la compréhension des enjeux locaux.

Il s’agit notamment des autorités territoriales (gouverneurs ou Wilaya, préfet), des autorités politiques (maire de commune), des membres de CLC issus de services déconcentrés de l’Etat notamment les directions ou services (agriculture, élevage, environnement, pêche, hydraulique), mais également les populations à la base à travers les groupements.

Les enquêtes ont été réalisées dans chaque pays à travers des entretiens et des Focus Group:

- Visites de courtoisie aux autorités territoriales et politiques : ces rencontres avaient pour objet de présenter la mission, de décliner les objectifs de l'étude. L'équipe profite également de cette prise de contact pour recueillir les perceptions des autorités sur cette problématique des changements climatiques dans leur terroir.
- Rencontres avec les points focaux sur place: ces rencontres avaient pour objet de planifier les activités de terrain et d'identifier les acteurs clés à rencontrer. La mission explique également aux points focaux le besoin de recueillir de la documentation disponible et utile à l'étude. Il est aussi organisé un entretien sur l'état d'avancement des microprojets ainsi que sur la question des changements climatiques.
- Rencontres avec les CLC : sur le terrain, la mission a rencontré plusieurs membres de CLC pour recueillir leur avis sur l'état d'avancement du projet mais également leurs perceptions sur les changements climatiques.
- Les communautés à la base: il s'agit là des communautés bénéficiaires ou non bénéficiaires. Les entretiens avec les bénéficiaires (associations, groupements, ONG, etc.) portaient aussi bien sur l'état d'avancement de leurs microprojets mais également sur leurs perceptions des changements climatiques et de leurs impacts dans leurs conditions de vie. Avec les non bénéficiaires les échanges étaient surtout orientés sur les changements climatiques et leurs impacts sur la vie économique et sociale des populations.

Sur le site, la mission visite d'abord les microprojets avant de rencontrer les membres du CLC présents. Les Focus Group sont ensuite organisés séparément, dans la mesure du possible avec les différentes catégories sociales (focus hommes, focus femmes), aussi bien sur l'état d'avancement des microprojets (là où il en existe) que sur leurs perceptions des changements climatiques.

3.1.4.4. Visites des microprojets financés dans le cadre de la phase 1 du projet GEF

Un tri des microprojets à visiter et auditer a été effectué de façon à s'assurer à avoir un échantillonnage représentatif. La table ci-dessous présente pour chacun des 7 sous-bassins les CLC visités et les microprojets effectivement visités et audités.

Il est à noter que des ajustements sur le programme de visite des microprojets ont été effectués pendant la mission pour s'adapter à la réalité du terrain, ainsi :

- La visite d'un microprojet de création d'un verger d'anacarde à Balaki, CLC de Mali, a été réduite à un entretien avec les services techniques à Mali-Centre, chef-lieu de préfecture du même nom ;
- La visite de la restauration d'un ancien site de placers dans la CR de Kéniéba (CLC de Kéniéba dans le SB4 – Falémé) n'a pas pu se faire ;
- Le site de Thidé (CLC Boghé, en Mauritanie) a été visité en remplacement de celui de Kaedi (Amal Koundel du CLC de Koundel, en Mauritanie).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 13 - Présentation des microprojets effectivement visités et audités

Domaines	Nom projets	CLC	Pays	Caractéristiques	Coût projet (F CFA)	Contribution bénéficiaires	Populations	Période mise en œuvre
SB1 – Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali								
Soutien aux initiatives de gestion des zones humides	Projet de reboisement de la forêt communautaire de Nnyényéméré ⁸	CLC de Tougué	Guinée	ONG prestataire: UVADEPE; Objectifs: reboiser 7ha avec des plantes d'espèces locales et exotiques, créer une forêt communautaire, restaurer le couvert végétal des berges du cours d'eau Kolléwol, important affluent du Bafing; Réalizations: campagnes d'informations et de sensibilisation; 3pépinières forestières; reboisement de 7 ha de berges; achat et installation de 17500 ruches de protection; mise en place et protection d'une pépinière forestière de 5365 plants d'acacia magnium, 1152 plants de lingué, 130 plants d'anacardier, 2005 plants de néré, 11 000 pots en germination ; transplantation.	6 162 834			Achevé en 2008
Diversité biologique	Projet de reboisement des têtes de source de Parawol Marga ⁹	CLC de Koïn, préfecture de Tougué, CRD de Koïn	Guinée	Prestataires: Communauté rurale de Développement de Koïn; Objectifs: restaurer la biodiversité et améliorer le régime hydrique du cours d'eau Parawol Marga, important sous - affluent du Bafing, reboiser les têtes de source, installer et entretenir 10 ha de plantations forestières sur les berges du cours d'eau, informer, éduquer, sensibiliser, susciter l'accroissement des revenus des populations par la valorisation de produits de cueillette (karité, néré, anacarde); réalisations; sensibilisation, création de 10 ha de forêt communautaire, , mise en place à côté de sites à reboiser d'une pépinière de 17 000 pots ensemencés, regarnissage et entretien des plantations forestières.	3 283 000			Date de clôture :2008
SB2 – Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé								
(pas de microprojet audité)								

⁸ Micro-projet de 2^e phase⁹ Micro-projet de 2^e phase

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

SB3 - Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé								
Dégradation des terres et désertification	Promotion de l'acacia Senegal dans la CR de Diangounté-Camara	CLC de Diéma	Mali	<p>Bénéficiaire: Société coopérative de production et de commercialisation de Diangounté-Camara; Objectifs : développement des systèmes de production agro-sylvicoles et agro-pastoraux, favoriser la conservation des sols et la biodiversité, produire du fourrage pour le cheptel et du bois de chauffe pour les populations;</p> <p>Activités réalisées: formation en techniques de pépinières, équipement en matériels divers, production de plants sur 6ha de terrain, clôturé en grillage avec piquets, 10 000 pieds d'accacia plantés; sensibilisation.</p>	9 707 265	1 266 000	2 700 000	Novembre 2006-novembre 2008
SB4 - La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal								
(pas de microprojet audité)								
SB5 - Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel								
Soutien aux initiatives de gestion des zones humides	Amélioration de la zone de mise en défens de Gandé	CLC de Bakel	Sénégal	<p>Bénéficiaires: Association villageoise de Gandé (GIE); Objectifs: Conserver et valoriser la diversité biologique de la zone; Activités réalisées: ouverture de pare-feux, installation de pépinières, installation de 2 ruches, acquisition et élevage de pintades, production de bois de service.</p>	3 856 165	192 808		4 ^e trimestre 2006-4 ^e trimestre 2007
Soutien aux initiatives de gestion des zones humides	Protection et régénération des ressources halieutiques et développement de la pisciculture dans la commune rurale de Diamou	CLC Kayes	Mali	<p>Bénéficiaire: Association Dunkafa Ton de Tematessou; Objectifs: promouvoir une gestion durable des ressources halieutiques et de l'environnement tout en contribuant à la réalisation de la sécurité alimentaire et l'accroissement des revenus: développement de la production de poissons dans les étangs de la CR de Diamou (village de Tematessou), formation sur les techniques de piscicultures, élevage d'espèces rares dans les étangs et réintroduction dans le fleuve, valoriser la production halieutique (conservation, transformation, commercialisation);</p> <p>Activités réalisées: construction d'un étang, magasin rénové, élevage de 5 000 alevins (silures et carpes)</p>	9 256 330	250 000	465 000	Novembre 2007-octobre 2009

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

SB6 - Le Sénégal moyen de Bakel à Podor							
Dégradation des terres et désertification	Protection des berges du fleuve Sénégal à Thialy Makka	CLC de Kanel	Sénégal	Bénéficiaire: GIE Bamtaré Cali; Objectifs: lutter contre la dégradation des terres le long de la rive gauche du fleuve Sénégal tout en renforçant les sources de revenus des populations locales; Activités réalisées: plantation d'arbres forestiers dans le bosquet (2 ha de fixation de sol, production de bois...) et fruitiers; plantation linéaire sur 2 km (en 3 rangées) tout au long du village sur les berges du fleuve Sénégal; mise en place d'un jardin maraîcher de 2 ha pour le maraîchage; mise en place d'un verger (294 plants fruitiers en bonne voie de croissance dont 194 bananiers, 40manguiers, 30 citronniers et 30 goyaviers.	5 921 920	1 903 000	4 ^e trimestre 2006 -4 ^e trimestre 2007
Dégradation des terres et désertification	Coopérative féminine de Thidé	CLC de Boghé, région ou préfecture de Boghé	Mauritanie	Bénéficiaire: Coopérative féminine de Thidé; Objectifs: contribuer au bien-être de la femme et à la protection de l'environnement par la réduction de la charge sur les ressources ligneuses et constituer une économie importante pour les familles; Réalizations: formation des bénéficiaires, acquisition matériel; équipement des unités de biogaz; démarrage de la production ; l'utilisation ainsi que l'implantation.	14 015 500	2 750 500	01/01/2007- 01/01/2008
SB7 - Le Sénégal aval de Podor à l'océan							
Dégradation des terres et désertification	Agroforesterie de Peulh Dioss	CLC de Dagana, Région de Saint-Louis, CR de Ross-Béthio, arrondissement de Ross-Béthio	Sénégal	Bénéficiaire: Association villageoise de Peulh Dioss (GIE SALAMATOU); Objectifs: lutter contre la désertification et améliorer les conditions de vie des populations bénéficiaires dans le cadre d'un développement durable; Activités: plantation de brise- vents, de haie vive et d'espèces fertilisantes; ouvrages anti-érosifs (banquettes isohypses), maraîchage biologique de 2ha, plantation de bois de village, d'espèces fourragères, mise en terre de 1920 Mellifera pour haie vive, formation en techniques de compostage reboisement et gestion organisationnelle, 3 fosses compostières réalisées, existence de 378 jeunes pousses fruitières dont 300 citronniers, 40 bananiers, 4 manguiers, 4 corossoliers et 30 goyaviers	5 567 000	567 000	4 ^e trimestre 2006- 4 ^e trimestre 2007

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Dégradation des terres et désertification	Gestion intégrée des ressources naturelles de Fanaye,	CLC de Podor, Région de Saint-Louis, CR de Fanaye, arrondissement de Thille-Boubacar	Sénégal	Bénéficiaires: Groupement des femmes de Fanaye; Objectifs: développer et valoriser les ressources naturelles; Activités réalisées: installation de pépinière avec production de 20 000 plants forestiers de Mellifera, Eucalyptus, Prosopis, Leucena, Jatropha; construction de 2 bassins, arboriculture fruitière et forestières, plantation massive de 1 465 plants forestiers, maraîchage biologique, commercialisation de produits maraîchers et de plants.	6 180 200	1 300 000		4 ^e trimestre 2006- 4 ^e trimestre 2007
Dégradation des terres et désertification	Gestion des terres et désertification	CLC de Trarza, région ou préfecture de Rosso	Mauritanie	Bénéficiaire: Coopérative féminine El Moucharaka; Objectifs: minimiser les causes de la dégradation des sols; Activités réalisées: formation des bénéficiaires, achat d'essence, puits équipé de pompe solaire, réalisation de pépinières et reboisement; protection du village et des zones limitrophes.	4 765 760	300 000		01/02/2006-01/02/2007

4. IDENTIFICATION DES TENDANCES CLIMATIQUES ACTUELLES ET SCENARIOS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.2)

4.1. CLIMAT DU BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

On distingue, du Sud au Nord, 4 climats différents :

- **Le domaine guinéen** avec une pluviométrie élevée et une saison des pluies de huit mois (d'avril à novembre) avec août le mois le plus pluvieux. Le domaine guinéen englobe la quasi-totalité du Fouta Djallon jusqu'à Daka-Saidou. On parle de climat foutanien. Le Fouta Djallon constitue une barrière et s'oppose à la progression de la mousson ;
- **Le domaine sud soudanien** avec une pluviométrie moyenne et une saison des pluies de 6 à 8 mois (d'avril à novembre). Ce domaine englobe les contreforts septentrionaux du Fouta Djallon et la partie occidentale des plateaux Mandingues ;
- **Le domaine nord soudanien** avec une pluviométrie plus faible et une saison des pluies qui dure de 4 à 6 mois (de mai à octobre). Il s'étend dans la partie restante du haut bassin jusqu'à la station de Bakel ;
- **Le domaine sahélien** avec une pluviométrie très faible. La saison des pluies dure 3 mois (Juillet à Septembre). Ce domaine climatique s'étend au nord de Bakel et à l'ensemble de la vallée du Sénégal (à l'exception de la zone littorale) et il s'apparente depuis ces quelques 15 dernières années au domaine saharien.

L'analyse ci-dessous précise les grandeurs hydro climatiques caractéristiques de chacun de ces domaines.



Figure 14. Carte de localisation des zones climatiques (source : OMVS)

4.2. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES (T2.2)

Le bassin du fleuve Sénégal dispose d’observations météorologiques comprenant 152 stations. La forte variabilité climatique peut être remarquée à travers les séries chronologiques de pluviométrie et de température.

Du point de vue climatique, le bassin versant est une zone hétérogène. Le fleuve Sénégal et ses affluents traversent successivement des régions soumises aux climats guinéen, soudanien, sahélien avant d’atteindre la zone littorale ou se fait sentir l’influence de la mer. Sur le littoral, le climat est nettement influencé par la présence de la mer, avec une humidité plus élevée et des températures plus basses.

Des analyses ont déjà été réalisées par GAYE et al. (2015) sur les pluviométries depuis l’origine des stations jusqu’à la période actuelle ainsi que sur les températures pour la période 1960-2010. Ces études ont déjà permis de mettre en avant une migration vers le sud des isohyètes.

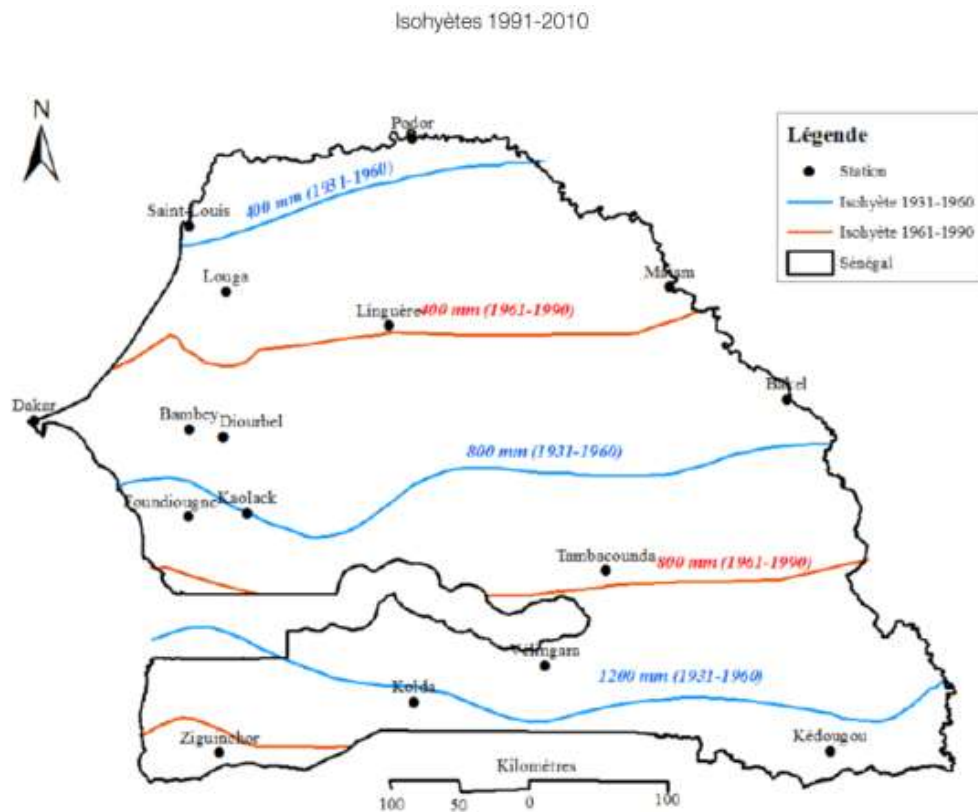


Figure 15. Migration des isohyètes sur la période 1961-1990 (IED, PRESA – août 2015)

Cette analyse a été reprise et complétée. L’analyse s’est basée sur les données climatiques historiques journalières ou mensuelles collectées sur les stations du Bassin ou avoisinant le Bassin. Ces données proviennent d’un choix de plusieurs stations réparties de façon homogène sur le territoire du Bassin.

4.2.1. Analyse des données pluviométriques

D’après la Monographie du Sénégal, la pluviométrie annuelle sur le BFS s’échelonne de 2000 mm au sud et en amont à 200 mm au Nord, dans les zones désertiques. Son évolution a été fortement affectée par le changement climatique qui est apparu au début des années 1970.

Nous avons analysé pour chaque sous bassin les stations sélectionnées et présentées dans la partie 3.1.2 Collecte des données. Pour les différentes stations, nous avons vérifié la robustesse des données, cherché à mettre en évidence une fracture (généralement autour des années 1970) et calculé les cumuls mensuels et annuels pour les différentes périodes.

Le premier travail a consisté à rassembler les différentes chroniques récupérées et de les comparer. Dans la majeure partie des cas les valeurs des séries étaient similaires. Nous avons utilisé plusieurs séries pour former une seule série avec le plus de données possibles et sur la plus grande étendue. A partir de données journalières et mensuelles, nous avons calculé pour chaque station choisie dans chaque sous bassin versant les valeurs de pluviométrie annuelle.

Nous avons vérifié que les données étaient cohérentes (peu de précipitation en période sèche et inversement), qu'il y avait suffisamment de valeurs journalières pour calculer les cumuls mensuels et annuels. Dans certains cas, lorsqu'une année présentait un ou des mois manquants, les données de l'année en question n'ont pas été utilisées et ont été notées « NA » sur la série.

Pour certaines séries mensuelles, nous avons comblé les trous des mois les plus secs (décembre, janvier février) par des 0 afin d'avoir des valeurs annuelles. Avant de corriger les séries annuelles, nous avons calculé la pluviométrie mensuelle moyenne pour chacune des stations concernées. Si la valeur était supérieure ou égale à 2 mm, nous n'avons pas corrigé la série.

Les pluviométries annuelles et mensuelles calculées sont celles sur l'ensemble de la période pour laquelle la station a des données.

4.2.1.1. SB1- Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali

Les deux stations retenues sur le sous bassin versant du Bafing amont sont celles de Dalaba et de Sagabari. Pour ces deux stations, nous avons effectué un double cumul afin de nous assurer de la validité des données. Le double cumul des stations de Sagabari et de Dalaba donne bien une droite. Les données sont cohérentes entre les deux stations. Il n'y a pas de points non alignés sur la droite qui pourraient retenir notre attention.

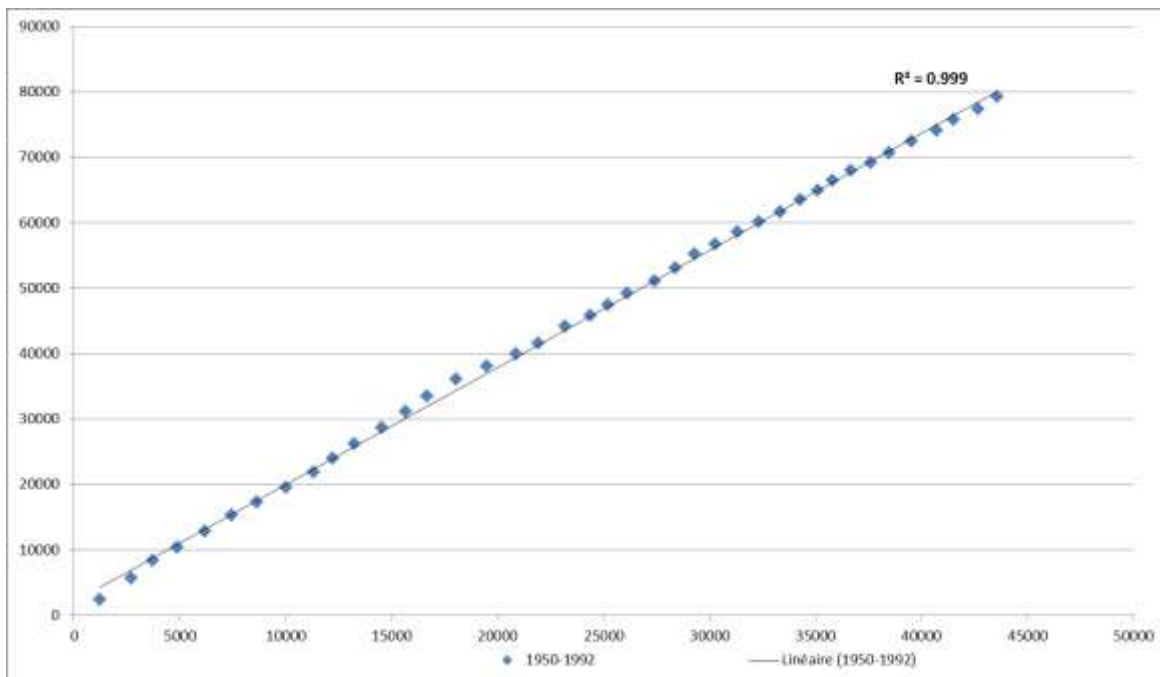


Figure 16. Graphique du double cumul des stations de Sagabari et de Dalaba, 1950-1992 (mm)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Pour les deux stations, la pluviométrie annuelle est importante. La moyenne annuelle est de 1090.6 mm à Sagabari et de 1984 mm à Dalaba. A noter que la pluviométrie est plus importante sur le haut du bassin versant du Bafing amont.

Pour l'ensemble du SB1, la pluie se concentre principalement sur 6 mois, de Mai à Octobre. Les mois d'Avril et de Novembre sont des mois de transition avec des pluies non négligeables, principalement dans la partie Guinéenne, en amont du SB1. Les mois de Juillet et d'août sont les plus pluvieux. Les mois de Novembre à Avril correspondent à la saison sèche.

Tableau 14 – Moyenne mensuelle des stations du Bafing Amont (mm)

Station	période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Bafing Makana	1963-1999	0,1	0,7	0,2	9,6	62	162,5	234,2	302,7	209,4	70,2	5,9	0,5
Dalaba	1933-1992	3,1	3,8	26,6	77,8	169	237,4	365,6	516,2	356,4	175,7	40,3	7,8
Sagabari	1972-2000	0,4	0,6	2,4	14,1	64	144,6	234	315,5	223,7	81,8	5,4	0,3
Tougue	122-1995	1,7	1,2	7,6	32,5	108	194,9	337,2	427,7	299,6	135,8	27,7	9,2

Lorsque l'on trace le graphe du cumul annuel pour chacune des deux stations, on observe une fracture au niveau des années 70, marquant une diminution de la pluviométrie. Ce phénomène a été observé au niveau régional sur l'Afrique et l'ensemble du bassin du fleuve Sénégal.

Au niveau de la station de Sagabari, la fracture se situe entre les années 1972 et 1973. On observe sur le graphique ci-dessous, un changement de pente en 1972. La pente après 1972 est plus douce, la pluviométrie est donc moins importante après 1972. On observe une fracture similaire sur le graphe de la station de Dalaba.

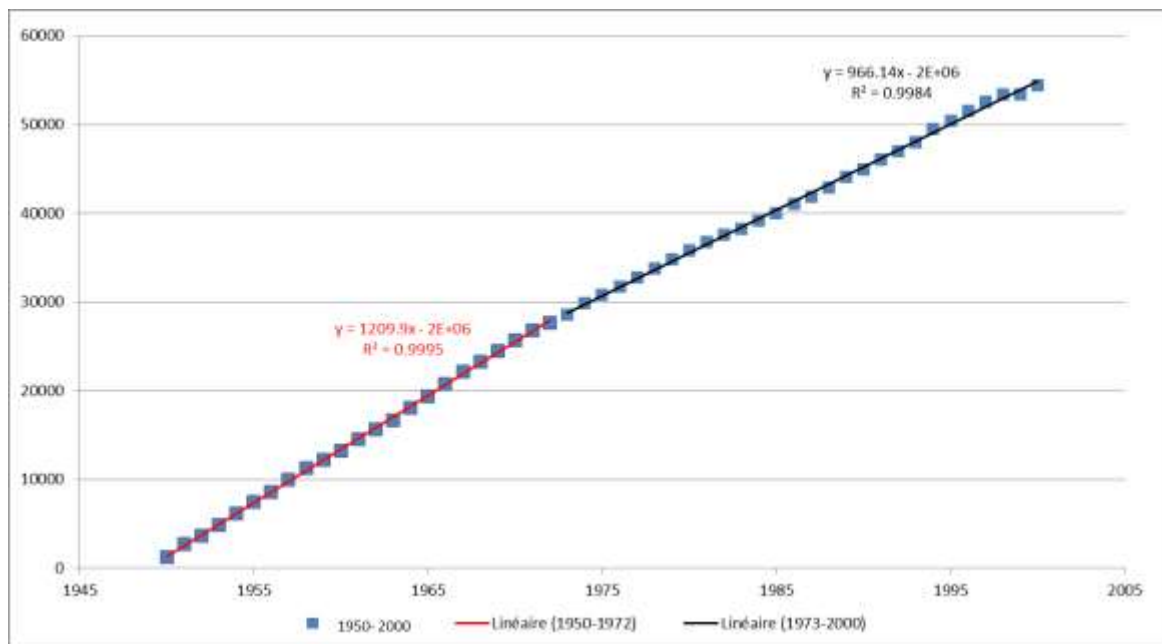


Figure 17. Graphique du cumul annuel des pluies à la station de Sagabari entre 1950 et 2000

Cette diminution s'observe également lorsqu'on calcule la moyenne mensuelle pour ces deux périodes distinctes.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 15- Moyenne mensuelle à Sagabari sur les périodes 1950 - 1972 et 1972 - 2000 (mm)

période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	année
Précipitations													
totale	0.4	0.6	2.4	14.1	64	144.6	234	315.5	223.7	81.8	5.4	0.3	1086.8
1950 - 1972	0.1	1.2	3.8	13.6	66.6	149.4	243.5	350	270.9	98.5	5.6	0.6	1203.8
1972 - 2000	0.7	0.1	1.3	14.5	61.9	140.6	225.9	286	185	68.1	5.2	0	989.3
Contribution mensuelle													
totale	0.0%	0.1%	0.2%	1.3%	5.9%	13.3%	21.5%	29.0%	20.6%	7.5%	0.5%	0.0%	100%
1950 - 1972	0.0%	0.1%	0.3%	1.1%	5.5%	12.4%	20.2%	29.1%	22.5%	8.2%	0.5%	0.0%	100%
1972 - 2000	0.1%	0.0%	0.1%	1.5%	6.3%	14.2%	22.8%	28.9%	18.7%	6.9%	0.5%	0.0%	100%

On observe une forte diminution des précipitations à la fin de la saison des pluies principalement. Au mois d'août et de septembre, la diminution est de plus de 70 mm de précipitations en moyenne en moins pour chaque mois. La pluviométrie annuelle moyenne était de 1203.7 mm avant 1972 contre seulement 988.6 mm après 1972. On n'observe pas de diminution de la contribution du mois de juin à la pluie annuelle totale, au contraire, en revanche on observe une diminution de la contribution du mois d'octobre.

4.2.1.2. SB2- Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé

Les deux stations retenues sont celles de Bafoulabé et de Kassama. Le double cumul entre ces deux stations a donné une droite où tous les points sont bien alignés. Il n'y a donc pas de problème pour les données de ces deux stations.

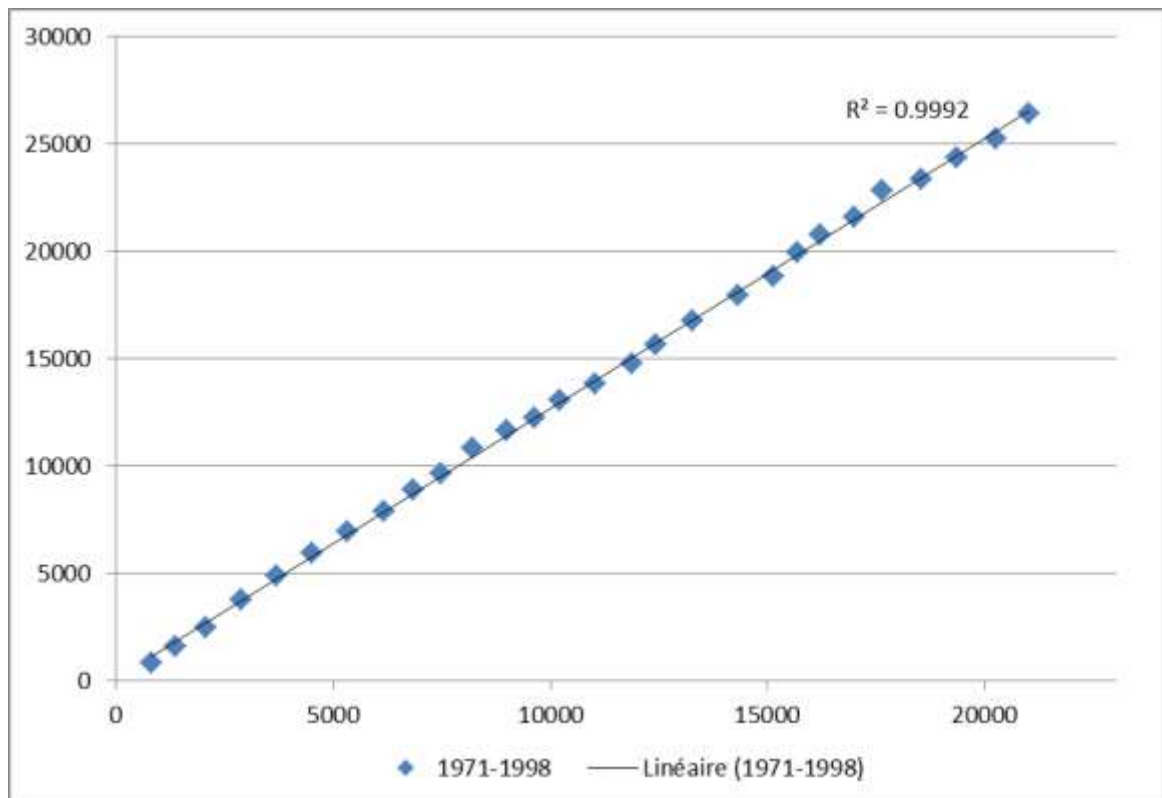


Figure 18. Graphique du double cumul des stations de Bafoulabé et de Kassama, 1971-1998 (mm)

Sur le bassin du Bafing aval, la pluviométrie est importante mais moins que sur la partie amont du Bafing. Tout comme pour le SB1, la pluviométrie diminue entre l'amont et l'aval. En effet, à la station de Kassama, la pluviométrie annuelle moyenne est de 961.8mm alors qu'elle n'est que de 754.3mm à Bafoulabé sur la même période (1971-1999). L'année se découpe également en deux

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

saisons : une saison humide s'étalant de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Les mois de mai et d'octobre sont des mois de transition. En dehors de la saison des pluies, la pluviométrie est presque nulle (1 mm en moyenne).

Tableau 16 - Moyenne mensuelle des stations du Bafing aval (mm)

Station	période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Bafoulabe	1931-2000	0,1	0,5	0,2	2,6	25,2	119,3	198	279,1	177,2	46,4	2,7	0,2
Dombia	1982-1998	0	0	1,5	4,5	41,2	139,9	231,3	228,2	165,5	64,5	3,3	0
Kassama	1971-1999	0,2	0	0,3	5,6	44,3	142,5	217,2	270	203,1	62,9	1,6	0
Manantali	1980-1997	0	0	2,1	1,2	32,4	110	179,8	253,3	143,1	32,7	1,1	0

Lorsque l'on trace le graphe de simple cumul annuel des stations, on observe une fracture au niveau des années 70, marquant une diminution de la pluviométrie. Au niveau de la station de Bafoulabé, la fracture se situe entre les années 1972 et 1973. On observe sur le graphique ci-dessous un changement de pente en 1972. La pente après 1972 est plus douce, la pluviométrie est donc moins importante après 1972. Sur la station de Kassama, la fracture est plus dure à observer car la série de données commence en 1970, il n'est donc pas possible d'avoir des informations sur la pluviométrie avant la fracture (1972). Le changement de pluviométrie se situe à la même date que celui pour le SB1.

Sur le graphique, les plateaux observés sont dus à des années manquantes, années pour lesquelles nous n'avons pas tous les mois.

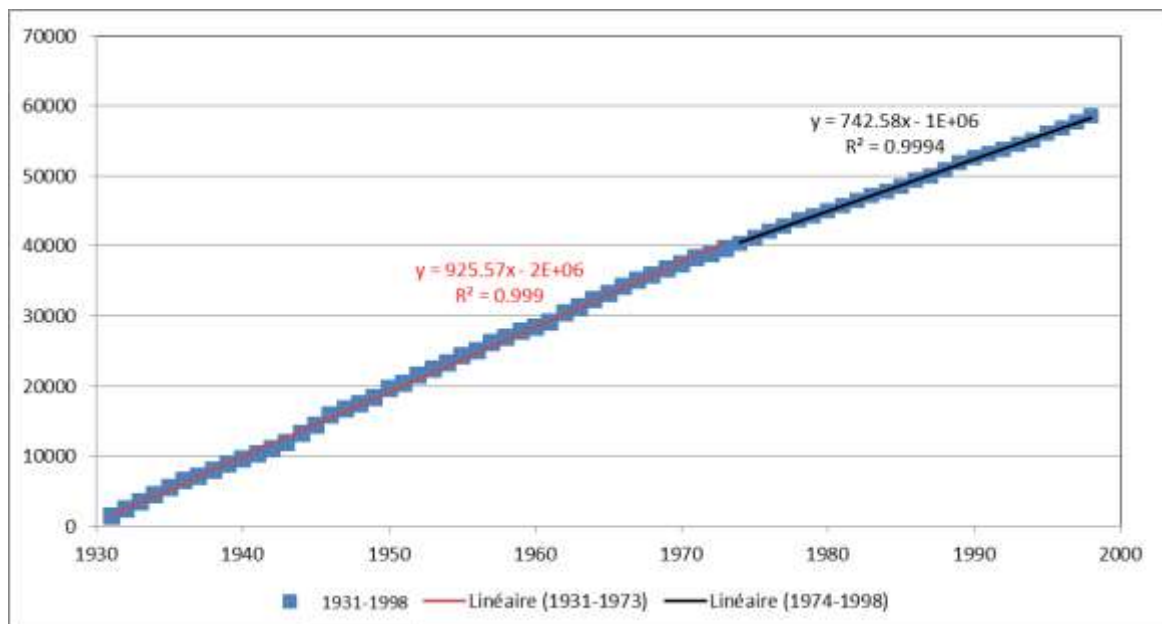


Figure 19. Graphique du cumul annuel des pluies à la station de Bafoulabé entre 1931 et 1998

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 17 - Moyenne mensuelle à Bafoulabé sur les périodes 1931-1973 et 1973-2000 (mm)

période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	année
Précipitations													
totale	0.1	0.5	0.2	2.6	25.2	119.3	198	279.1	177.2	46.4	2.7	0.2	851.5
1931 - 1973	0	0.7	0.3	3.2	27.1	124.9	203.2	307	195.7	54.6	3.7	0.3	920.7
1973 - 2000	0.1	0.2	0	1.5	22	110.1	189.3	233.1	146.6	32.7	1	0.1	736.7
Contribution mensuelle													
totale	0.0%	0.1%	0.0%	0.3%	3.0%	14.0%	23.3%	32.8%	20.8%	5.4%	0.3%	0.0%	100%
1931 - 1973	0.0%	0.1%	0.0%	0.3%	2.9%	13.6%	22.1%	33.3%	21.3%	5.9%	0.4%	0.0%	100%
1973 - 2000	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	3.0%	14.9%	25.7%	31.6%	19.9%	4.4%	0.1%	0.0%	100%

On observe une forte diminution des précipitations à la fin de la saison des pluies principalement. En effet, la pluviométrie annuelle moyenne passe de 921 mm avant 1973 à seulement 756.5 mm après 1973. La diminution de pluviométrie concerne tous les mois mais principalement les mois les plus pluvieux, ceux d'août et de septembre. La diminution est de près de 70 mm de précipitations en moyenne en moins pour ces deux mois. On n'observe pas de diminution de la contribution du mois de juin à la pluie annuelle totale, au contraire, en revanche on observe une diminution de la contribution du mois d'octobre.

4.2.1.3. SB3- Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé

Les stations étudiées sur le SB3 sont celles de Diema, Faladye, Kita et Oualia. Une analyse par double cumul a été réalisée entre les différentes stations, seule une seule est présentée ci-dessous pour les deux stations avec les plus longues périodes de données : Diema et Kita.

Comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous, le double cumul donne une droite passant par tous les points (le coefficient R^2 est de 0.9993). Le double cumul des autres stations donne des résultats similaires. On peut donc conclure que les données sont suffisamment fiables pour les utiliser.

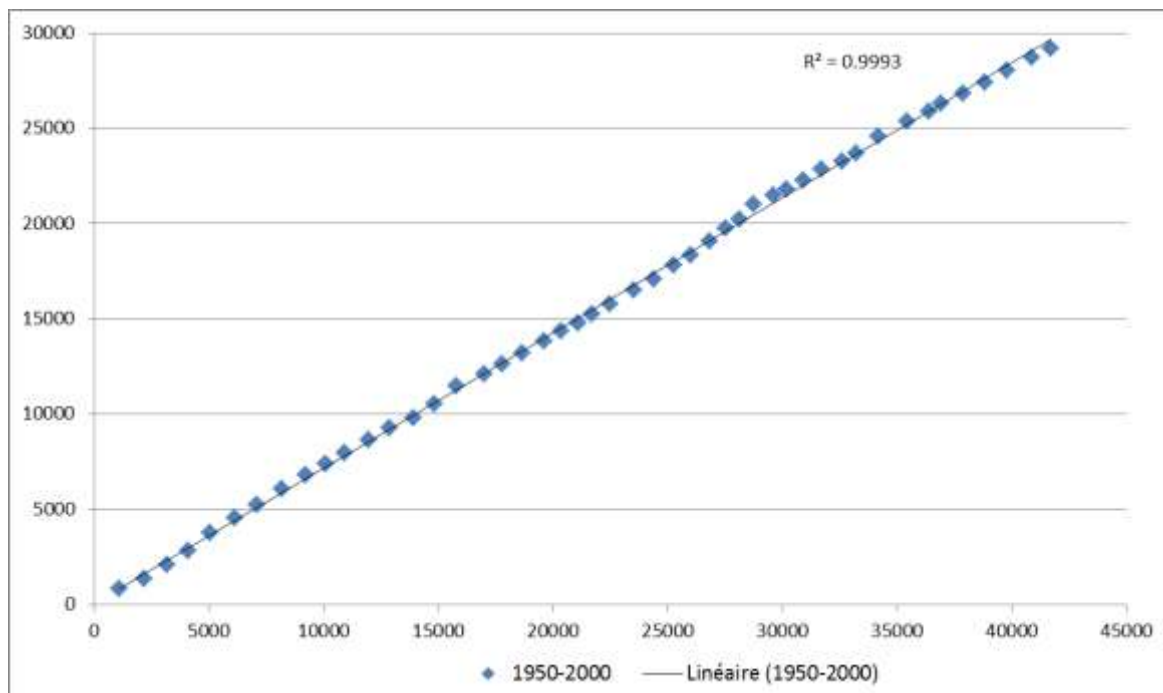


Figure 20. Graphique du double cumul des stations de Diema et de Oualia, 1950-2000 (mm)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Sur le bassin du Bakoye, la pluviométrie est assez importante mais moins que sur le bassin du Bafing. Tout comme pour le SB1, la pluviométrie diminue entre l'amont et l'aval. En effet, au niveau des stations en amont, celles de Kita et de Faladye, la pluviométrie annuelle moyenne est de 1044 mm et de 959.8 mm. Alors qu'elle n'est que de 883.4 mm à Oualia, presque au niveau de l'exutoire du SB3.

Pour la station de Diema, la situation est légèrement différente. La pluviométrie annuelle moyenne est inférieure à celle d'Oualia, elle n'est que de 607.6 mm. La station de Diema est située au Nord du SB3, dans les zones plus sèches.

L'année se découpe en deux saisons : une saison des pluies s'étalant de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Les mois d'avril et de novembre sont des mois de transition. En dehors de la saison des pluies, la pluviométrie est presque nulle (moins de 1 mm en moyenne de décembre à mars).

Tableau 18 - Moyenne mensuelle des stations du Bakoye (mm)

Station	période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Batimakana	1962-2000	0,1	0	0,8	6,1	33,2	105,2	193,3	232,7	161,5	54,9	2,5	0,3
Diema	1941-2000	0	0	0,2	3,9	17,1	71,6	160,1	209	116,1	24,8	0,9	0,8
Faladye	1931-2000	0,5	0,4	3,8	9,6	50,5	121,4	228,1	290,4	186,2	60,8	3,9	0,3
Kita	1931-2000	0,5	0,2	1,2	11	43,5	148,3	238,2	317,6	203,8	72,9	6,3	0,6
Oualia	1950-2000	0,1	0,1	0,4	2,1	31,2	120,6	207,8	268	190,1	57,4	3,2	0,2
Sebekoro	1950-1995	0,3	0,3	1,6	9,8	51,8	131,7	241	288	196,3	74,4	6,8	0,3
Toukoto	1932-1998	0,1	0	0,9	10,1	27,2	115,3	207,7	257,6	178,6	55,3	4	0,8

La courbe du cumul annuel des stations permet d'observer une fracture au niveau des années 70, marquant une diminution de la pluviométrie. Au niveau des stations de Diema, Faladye, Kita et Oualia, la fracture se situe entre les années 1971 et 1972. On observe sur le graphique ci-dessous un changement de pente en 1972. La pente après 1971 est plus douce, la pluviométrie est donc moins importante après 1971. Sur toutes les stations la rupture de pente est observable entre les années 1971 et 1972.

A la station de Kita, il semblerait que la pluviométrie reparte à la hausse à partir des années 1994. En effet, on observe une seconde fracture avec une pente légèrement plus forte. La série s'arrêtant en 2000, elle n'est pas assez longue pour confirmer cette augmentation de la pluviométrie des 1995-2000.

Sur le graphique ci-dessous, on peut observer cette différence de pente, bien exprimée par les coefficients des courbes.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
 R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

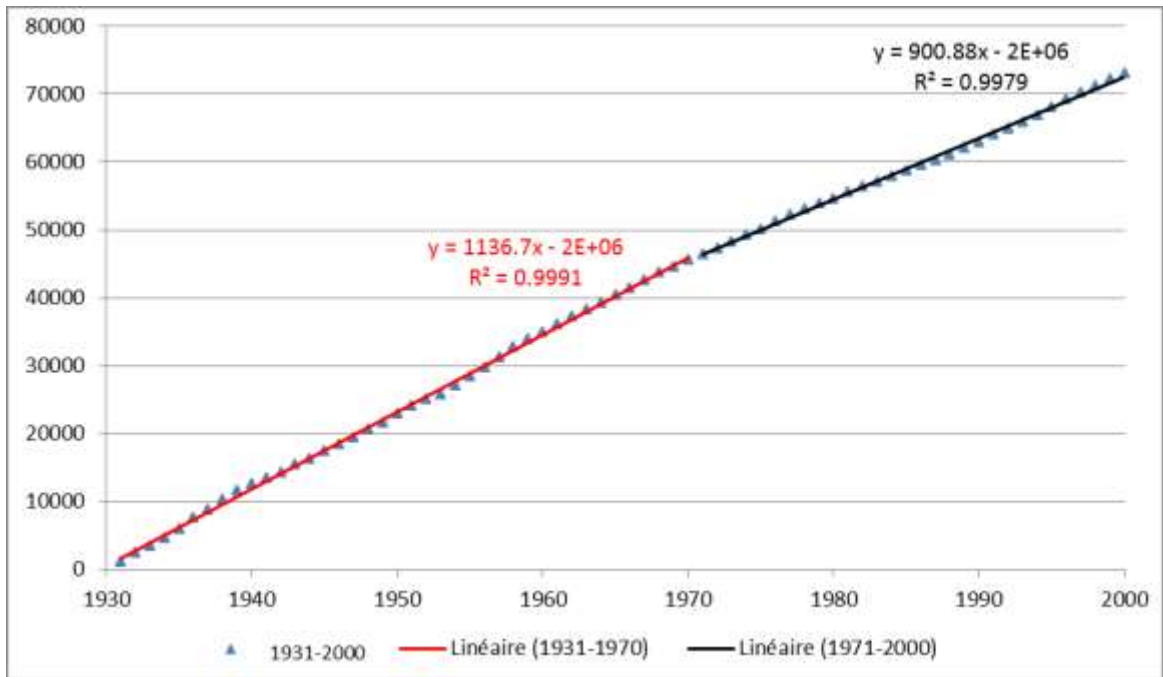


Figure 21. Graphique du cumul annuel des pluies à la station de Kita entre 1931 et 2000

A la station d'Oualia, on observe également cette fracture dans les années 1971-1972 marquant une diminution de la pluviométrie. Il semblerait également que la pluviométrie reparte légèrement à la hausse dans le début des années 1990. Ce changement est assez difficilement observable et ne peut pas être confirmé à cause de l'absence de données dans les années 1994-1998 (3 années manquantes) et également du fait que la série s'arrête en 2000. Nous n'avons donc pas assez de données pour confirmer cette hypothèse.

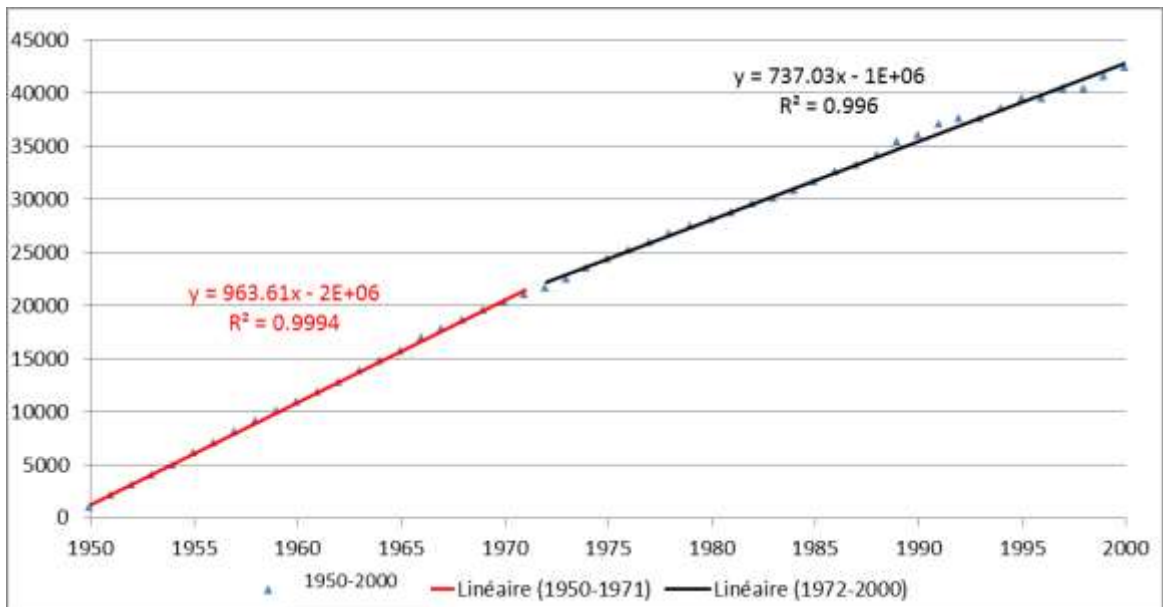


Figure 22. Graphique du cumul annuel des pluies à la station d'Oualia entre 1950 et 2000

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****Tableau 19 - Moyenne mensuelle à Kita sur les périodes 1931-1971 et 1971-2000 (mm)**

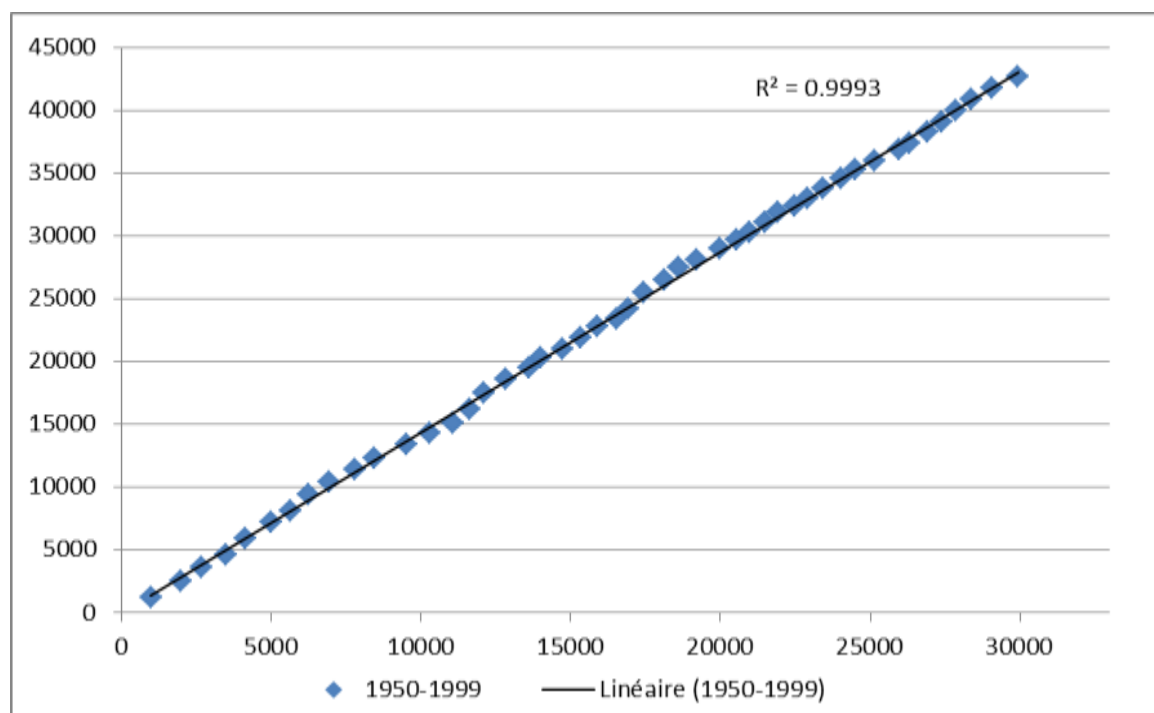
période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Précipitations													
total	0.5	0.2	1.2	11	43.5	148.3	238.2	317.6	203.8	72.9	6.3	0.6	1044.1
1931 - 1971	0.6	0.4	1.1	12.2	46.4	152.2	252.8	353.3	233	71.9	8	1	1132.9
1971 - 2000	0.3	0	1.4	9.4	39.3	142.9	217.6	267.1	162.5	74.4	3.9	0	918.8
Contribution mensuelle													
total	0.0%	0.0%	0.1%	1.1%	4.2%	14.2%	22.8%	30.4%	19.5%	7.0%	0.6%	0.1%	100%
1931 - 1971	0.1%	0.0%	0.1%	1.1%	4.1%	13.4%	22.3%	31.2%	20.6%	6.3%	0.7%	0.1%	100%
1971 - 2000	0.0%	0.0%	0.2%	1.0%	4.3%	15.6%	23.7%	29.1%	17.7%	8.1%	0.4%	0.0%	100%

On observe une forte diminution des précipitations à la fin de la saison des pluies entre la période avant 1971 et après 1971. En effet, la pluviométrie annuelle moyenne passe de 1138.3 mm avant 1971 à 918.4 mm après 1971. Cette observation faite à la station de Kita est observée sur les trois autres stations du SB3. La diminution de pluviométrie concerne tous les mois mais principalement les mois les plus pluvieux, ceux d'août et de septembre. La diminution est de près de 70 mm de précipitations en moyenne en moins pour ces deux mois. L'ordre de grandeur est identique à celui calculé sur le SB1.

On n'observe pas de diminution de la contribution du mois de juin à la pluie annuelle totale, ni du mois d'octobre, au contraire.

4.2.1.4. SB4- La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal

Les stations retenues sur le SB4 sont celles de Kidira, de Goubassi et de Guéné-Gore. L'analyse par double cumul a permis de valider la cohérence des données entre les différentes stations.

**Figure 23. Graphique du double cumul des stations de Kidira et de Goubassi, 1950-1999 (mm)**

Sur le bassin du Falémé, la pluviométrie annuelle est d'environ 1000 mm avec des fortes variations entre l'amont et l'aval tout comme pour le SB1. En amont, la pluviométrie annuelle moyenne est, par exemple pour la station de Guéné-Gore, de 1226.6 mm. Alors que pour la partie aval, elle n'est que de 673 mm à Kidira, presque au niveau de l'exutoire du SB4.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Pour la station de Gourbassi, située au centre du bassin. La pluviométrie annuelle moyenne est intermédiaire, elle est de 907.9 mm.

L’année se découpe toujours en deux saisons : une saison des pluies s’étalant de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Les mois d’avril et de novembre sont des mois de transition. En dehors de la saison des pluies, la pluviométrie est presque nulle (moins de 1 mm en moyenne de décembre à mars).

Tableau 20 - Moyenne mensuelle des stations de la Falémé (mm)

Station	période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Falea	1956-2000	0	0,6	1,3	9,7	47,8	160,8	271,2	388,8	299,6	105,6	11,2	0,2	1296,8
Gourbassi	1950-2000	0,1	0,2	0,7	4,9	34,4	117,1	193,4	264,7	195,8	59,9	3,3	0,1	907,6
Guene-Gore	1950-2000	0	0,2	0,6	5,2	56,7	171,9	269,4	342,7	269,4	104,7	8,1	0,3	1226,6
Kenieba	1942-2000	0,1	0,2	0,9	4,9	49,1	159,2	252,1	376	258,9	91,4	6,7	0,7	1200,2
Kidira	1918-2007	0,6	0,2	0	0,8	9,7	75,9	156,8	231,9	153,4	41,5	2,8	0,4	673,2
Sadiola	1950-2000	0,5	0,3	0,5	6,1	28,8	114,9	197	256,6	189,9	66,8	5,3	1,1	867,8
Satadougou	1919-1973	0,4	0,3	0,4	6,9	51,8	170	266,3	415,2	299,7	100,9	11	0,8	1323,7

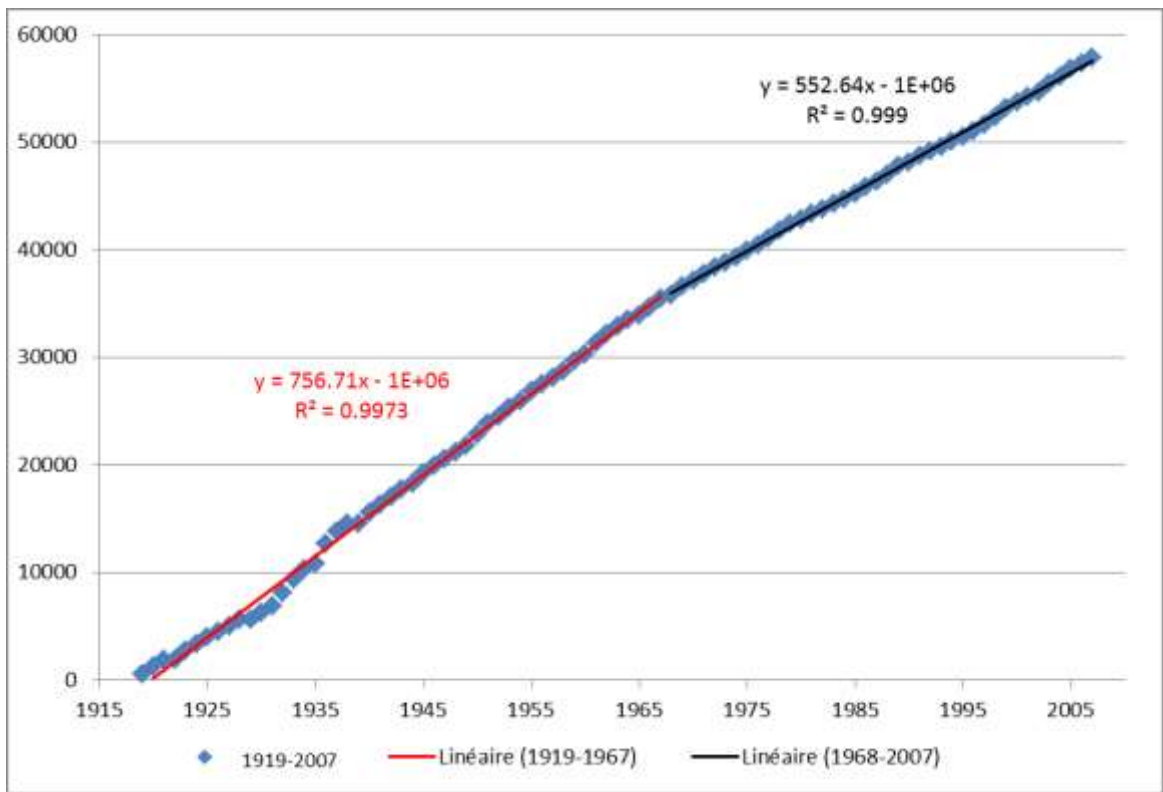


Figure 24. Cumul annuel sur la station de Kidira, 1919 – 2007 (mm)

Sur le bassin de la Falémé, on observe une fracture à une date identique à celle des 3 autres SB. Pour la station de Kidira, on peut voir un changement de pente dans les années 1971 – 1972. Cette fracture est le signe d’une diminution de la pluviométrie. Cette diminution est confirmée par le calcul des moyennes mensuelles sur les deux périodes.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 21 - Moyenne mensuelle à Kidira sur les périodes 1918-1971 et 1971-2007 (mm)

période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Précipitations													
total	0.6	0.2	0	0.8	9.7	75.9	156.8	231.9	153.4	41.5	2.8	0.4	674.0
1918 - 1971	0.9	0.4	0	1.3	10.7	84.9	170	257.4	172.1	49.9	4	0.5	752.1
1971 - 2007	0.1	0	0	0	8.3	62.2	136.9	195.2	126.3	29.4	1	0.3	559.7
Contribution mensuelle													
total	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	1.4%	11.3%	23.3%	34.4%	22.8%	6.2%	0.4%	0.1%	100%
1918 - 1971	0.1%	0.1%	0.0%	0.2%	1.4%	11.3%	22.6%	34.2%	22.9%	6.6%	0.5%	0.1%	100%
1971 - 2007	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.5%	11.1%	24.5%	34.9%	22.6%	5.3%	0.2%	0.1%	100%

On observe une diminution importante des précipitations sur les mois d'août et de septembre (environ 60 mm en moins en août et 50 mm en septembre). On n'observe pas de diminution significative de la contribution du mois de juin à la pluie annuelle totale, en revanche on observe une diminution de la contribution du mois d'octobre.

4.2.1.5. SB5- Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel

Les stations retenues sur le SB5 sont celles de Bakel, Diamou, Kayes, Kiffa et Nioro du Sahel. L'analyse par double cumul a permis de valider la cohérence des données entre les différentes stations. Certaines stations comme celle de Yelimane ou de Kankossa ont servi à valider les données des stations retenues.

La station de Bakel se situe à l'exutoire du SB5, celle de Kayes au milieu du SB5. Ces deux stations donnent un bon aperçu de la pluviométrie sur le bassin.

Le double cumul des stations de Kayes et Bakel donne bien une droite linéaire. On observe cependant à la fin une légère déviation des points par rapport à cette droite linéaire.

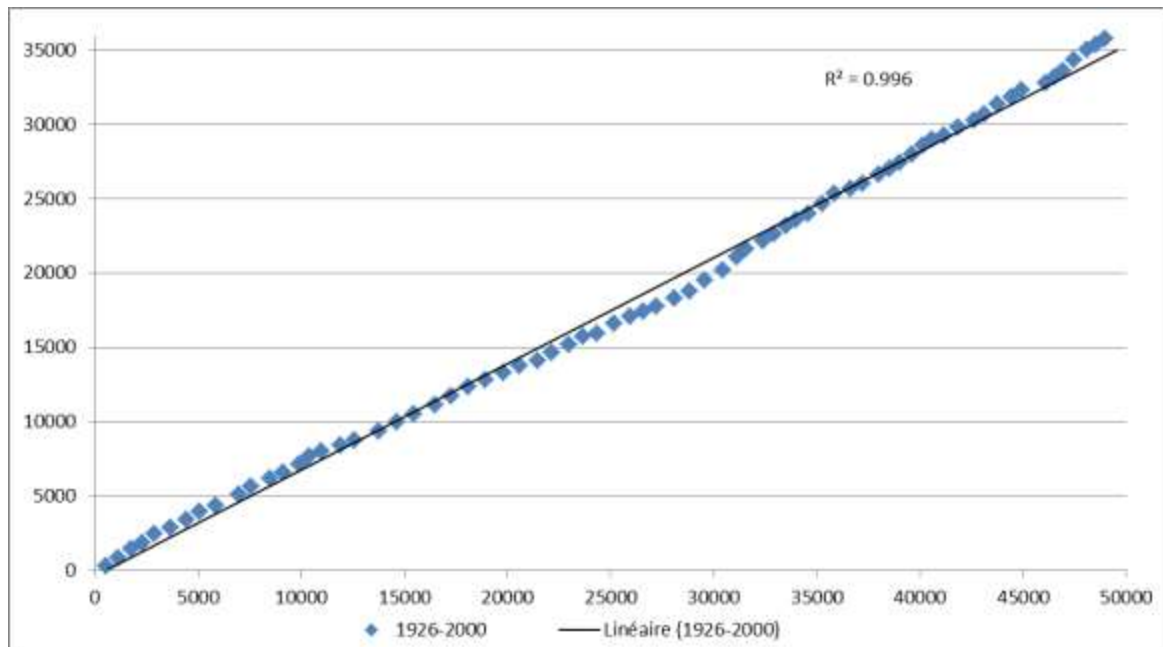


Figure 25. Graphique du double cumul des stations de Kayes et Bakel, 1926-2000 (mm)

Sur le bassin du Sénégal amont, la pluviométrie annuelle varie légèrement entre l'amont et l'aval. Elle est d'environ 600 mm par an. En amont, la pluviométrie annuelle moyenne est, par exemple pour la station de Diamou, de 699.4 mm et, pour la partie aval, de 510.3 mm à Bakel, l'exutoire du

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

SB5. Nioro du Sahel est situé sur le Téréboule, le principal affluent du SB5, tout au Nord-Est du SB5. La station de Kiffa se situe au Nord-Ouest du SB5, dans les zones désertiques du bassin. La pluviométrie annuelle à Kiffa est de seulement 308.2 mm.

L'année se découpe toujours en deux saisons : une saison des pluies s'étalant de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Les mois de juin et d'octobre sont des mois de transition. Les précipitations sont assez faibles sur ces deux mois. En période de saison sèche, la pluviométrie est presque nulle (moins de 1 mm par mois en moyenne de décembre à avril).

Le tableau ci-dessous présente les valeurs annuelles moyennes de pluviométrie sur plusieurs stations du SB5. Ces valeurs sont calculées à partir de l'ensemble des années disponibles, elles ne reflètent donc pas totalement la pluie actuelle (à cause de la cassure des années 1970).

Tableau 22 - Moyenne mensuelle des stations du Sénégal amont (mm)

Station	période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Ambidedi	1950-2000	0,6	0,4	0	0,4	12,4	80,3	149,3	217,1	146,5	41,1	1,1	0,3	649,5
Bakel	1856-2007	0,7	0,3	0	0,2	5,7	49,6	118,2	182,6	124,3	25,4	2	1,3	510,3
Diamou	1951-2000	0,1	0,1	0	0,9	17,5	94,2	166	227,2	146,6	44,4	2,4	0	699,4
Kayes	1891-2000	0,2	0,2	0,2	1,4	15,7	86,5	169,1	226,9	148,5	38,6	2	0,4	689,7
Kiffa	1922-2003	0,7	0,6	0,1	0,5	3	21,6	69,8	118,4	73,9	16,4	1,8	1,4	308,2
Koniakary	1950-2000	0,1	0,3	0,1	2	14,8	84,9	161,4	222	129,4	41,7	1,4	0,3	658,4
Nioro_du_sahel	1919-2000	0,4	0,3	0,1	3,9	13,9	57	154,3	214,1	111,6	24,2	1,5	0,9	582,2
Selibaby	1933-2003	0,1	0,4	0,2	1	7,9	59,7	126,4	191,8	139,7	32,7	1,4	1,2	562,5
Yelimane	1919-2000	0,3	0,2	0,1	1,5	9,4	56,8	143,8	180,1	111,5	24,3	1,6	0,3	529,9

L'analyse du cumul annuel sur les stations permet de mettre en évidence l'existence d'une cassure, signe d'un changement de pluviométrie. Sur les 4 premiers SB, la cassure se situe aux alentours des années 1970. L'année 1970 est une année de sécheresse importante en Afrique de l'Ouest.

La station de Bakel ne présente pas de cassure évidente sur la période 1918 – 2007, ce qui est assez étrange. On constate un léger changement dans les années 1960, avec une baisse de la pluviométrie mais celle-ci disparaît en 1965. La pente reprend le même coefficient directeur. On observe aucune différence significative entre le coefficient de la droite 1918-1974 et 1975-2007.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

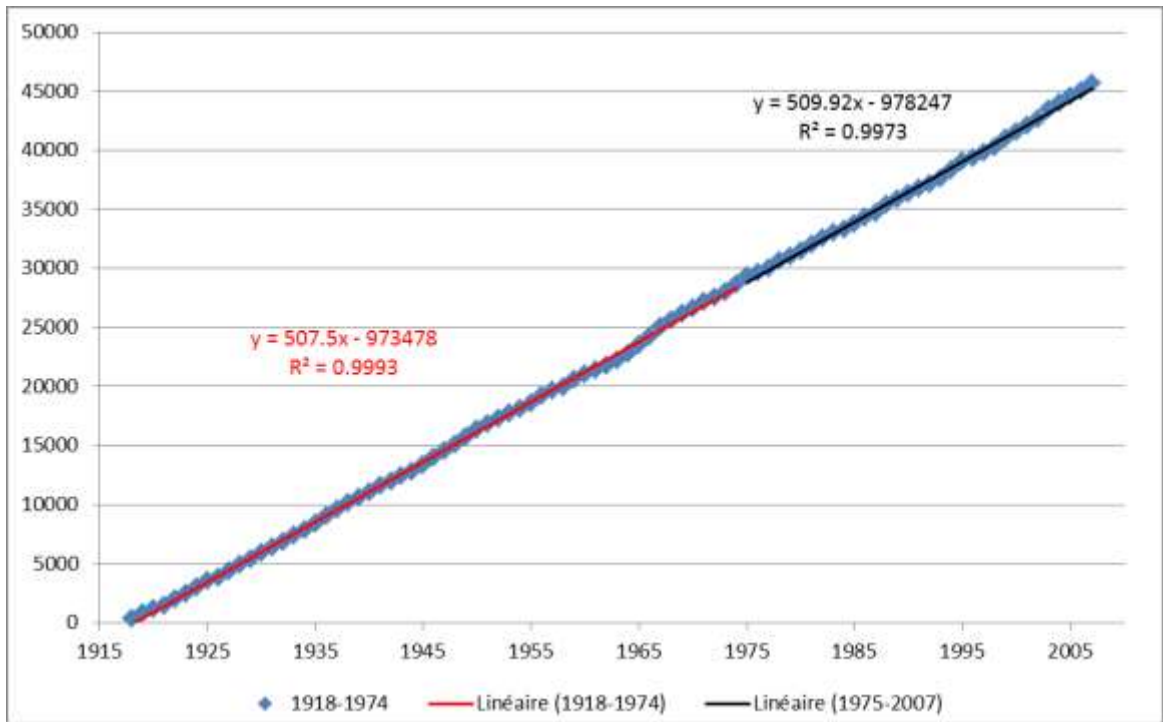


Figure 26. Cumul annuel sur la station de Bakel, 1918 – 2007 (mm)

L’analyse du cumul annuel sur les autres stations du SB5 : Kayes, Diamou, Nioro du Sahel et Kiffa permet de mettre en évidence une diminution des précipitations à partir des années 1970. Pour la station de Kayes, ce changement est assez bien marqué. On peut observer sur le graphe ci-dessous, une cassure entre les années 1970 et 1971.

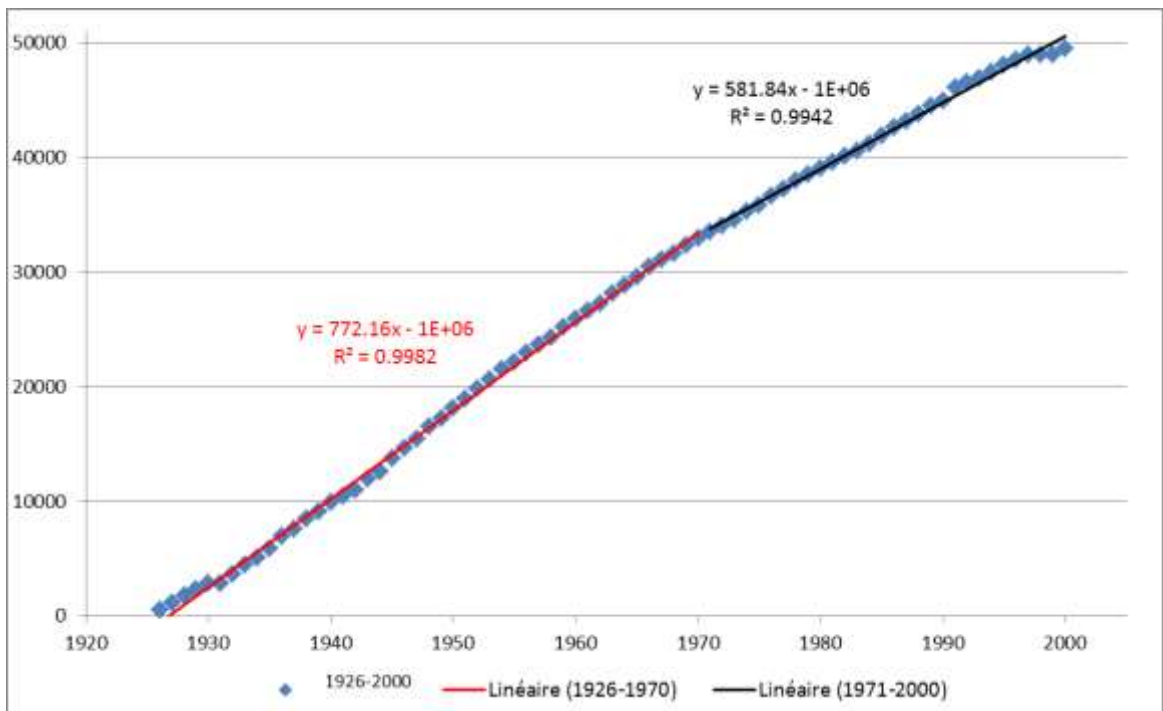


Figure 27. Cumul annuel sur la station de Kayes, 1926 – 2000 (mm)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Cette diminution de la pluviométrie est assez importante sur la station de Kayes. La diminution est de 150 mm par an avec une importante baisse sur les mois pluvieux (environ 30 mm par mois). La pluviométrie annuelle actuelle est de 593.2 mm à Bakel au lieu de 745.3 mm avant 1970.

Les contributions au total annuel de la pluie du mois de juin et du mois d'octobre sont légèrement moindres qu'auparavant.

Tableau 23 - Moyenne mensuelle à Kayes sur les périodes 1891-1971 et 1971-2000 (mm)

période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Précipitations													
1891-2000	0.2	0.2	0.2	1.4	15.7	86.5	169.1	226.9	148.5	38.6	2	0.4	689.7
1891 - 1971	0.3	0.2	0.3	1.8	18.1	94.2	177.6	233.5	154.2	41.3	2.6	0.1	724.2
1971 - 2000	0	0.1	0.1	0.5	9.6	68.3	147.4	210.2	134.1	31.6	0.1	1.1	603.1
Contribution mensuelle													
1891-2000	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	2.3%	12.5%	24.5%	32.9%	21.5%	5.6%	0.3%	0.1%	100%
1891 - 1971	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	2.5%	13.0%	24.5%	32.2%	21.3%	5.7%	0.4%	0.0%	100%
1971 - 2000	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	1.6%	11.3%	24.4%	34.9%	22.2%	5.2%	0.0%	0.2%	100%

A la station de Bakel, le calcul des moyennes annuelles et mensuelles avant et après 1970 ne met pas en évidence une diminution, ce qui confirme les observations faites sur le graphe. On observe au contraire une légère augmentation de la pluviométrie. En effet, la moyenne annuelle passe de 499.6 mm sur la période 1856-1971 à 518.2 mm sur la période 1971-2007.

En revanche, les contributions au total annuel de la pluie du mois de juin et du mois d'octobre sont légèrement moindres qu'auparavant.

Tableau 24 - Moyenne mensuelle à Bakel sur les périodes 1856-1971 et 1971-2007 (mm)

période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Précipitations													
1856-2007	0.7	0.3	0	0.2	5.7	49.6	118.2	182.6	124.3	25.4	2	1.3	510.3
1856 - 1971	0.9	0.3	0	0.1	5.4	53.5	113.4	184.6	117.9	28.7	2.8	1.9	509.5
1971 - 2007	0.4	0.4	0	0.2	6.1	43.5	125.9	179.3	134.6	20.4	0.8	0.5	512.1
Contribution mensuelle													
1856-2007	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	1.1%	9.7%	23.2%	35.8%	24.4%	5.0%	0.4%	0.3%	100%
1856 - 1971	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	1.1%	10.5%	22.3%	36.2%	23.1%	5.6%	0.5%	0.4%	100%
1971 - 2007	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	1.2%	8.5%	24.6%	35.0%	26.3%	4.0%	0.2%	0.1%	100%

4.2.1.6. SB6- Le Sénégal moyen de Bakel à Podor

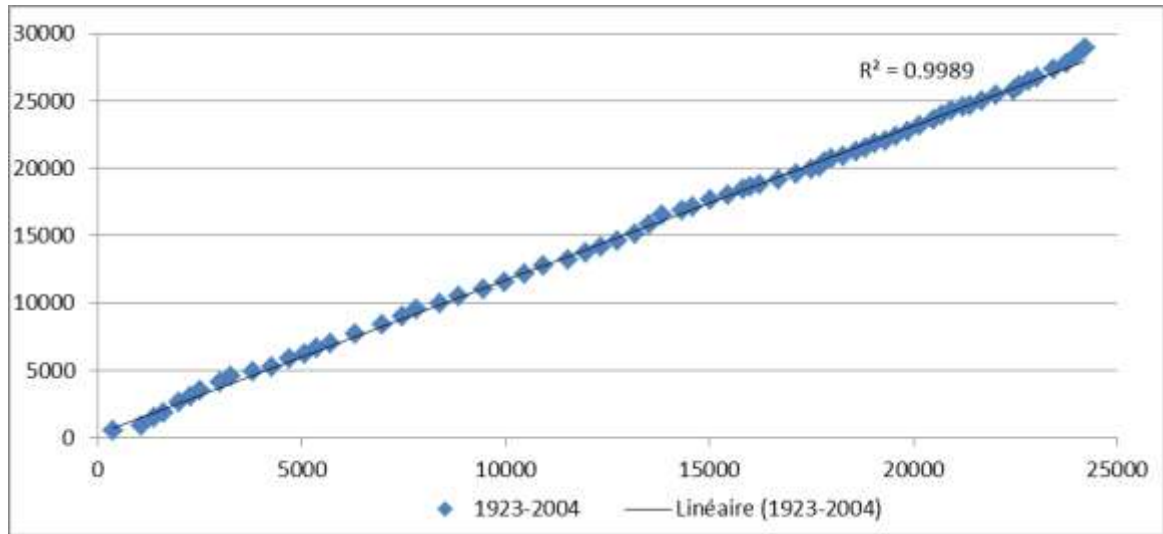


Figure 28. Graphique du double cumul des stations de M'Bout et de Matam, 1923-2004 (mm)

Les stations retenues sur le SB6 sont celles de M'Bout, Matam et Boghé. L'analyse par double cumul a permis de valider la cohérence des données entre les différentes stations. Certaines stations comme celle de Kaédi ont servi à valider les données des stations retenues.

La pluviométrie annuelle sur le SB6 est très faible. Elle décroît de l'amont vers l'aval avec 507 mm à Bakel, 450.7 mm à Matam et 279.5 mm à Boghé en aval du SB6.

La saison des pluies est moins marquée qu'à l'amont du BFS. En effet, les variations mensuelles de pluviométries sont plus faibles (maximum +170 mm contre +200 ou 300 dans les SB1, 2 et 3). La saison des pluies commence au moins de juin et finit en octobre. Les mois de novembre à avril correspondent à la saison sèche. Celle-ci est plus ou moins marquée selon les stations. A Woumpou, la pluviométrie en saison sèche est proche de 0 mm par mois (sauf en mai) alors qu'à la station de Boghé, la pluviométrie mensuelle est en moyenne de 3-4 mm (toujours supérieure à 1 mm par mois).

Tableau 25 - Moyenne mensuelle des stations du Sénégal moyen (mm)

Station	période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Boghe	1919-2011	1,1	2,1	7,4	9	10,4	13,4	57,8	96,3	64	15,8	1,6	0,6	279,5
Kaedi-Irat	1963-2003	0,8	1,8	0	0	0,7	16,8	69,4	97,3	77,7	16,9	0,7	1,6	283,7
M Bout	1921-2011	1	0,8	0	0,5	3,3	26,2	83,9	124,9	96,2	17,6	1,8	1,4	357,6
Matam	1918-2007	0,5	0,6	0,1	1,2	4,1	37,7	104,7	174,3	104	20,7	1,8	1	450,7
Woumpou	1966-2003	0,1	0	0,3	0,4	6,9	29,4	88,8	127,5	84,8	18,1	0	0	356,3

Sur le SB6, toutes les stations retenues présentent une cassure dans les années 1970. Pour la station de Matam, ce changement de pluviométrie se situe en 1971. On observe clairement un changement de droite et une diminution importante de la pluviométrie. Sur les dernières années (2000-2007), on a l'impression que le coefficient directeur de la droite augmente légèrement. Il n'y a pas assez de données récentes pour confirmer cette augmentation. L'analyse du climat permettra de prédire les précipitations futures et de confirmer ou non cette observation sur le long terme.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

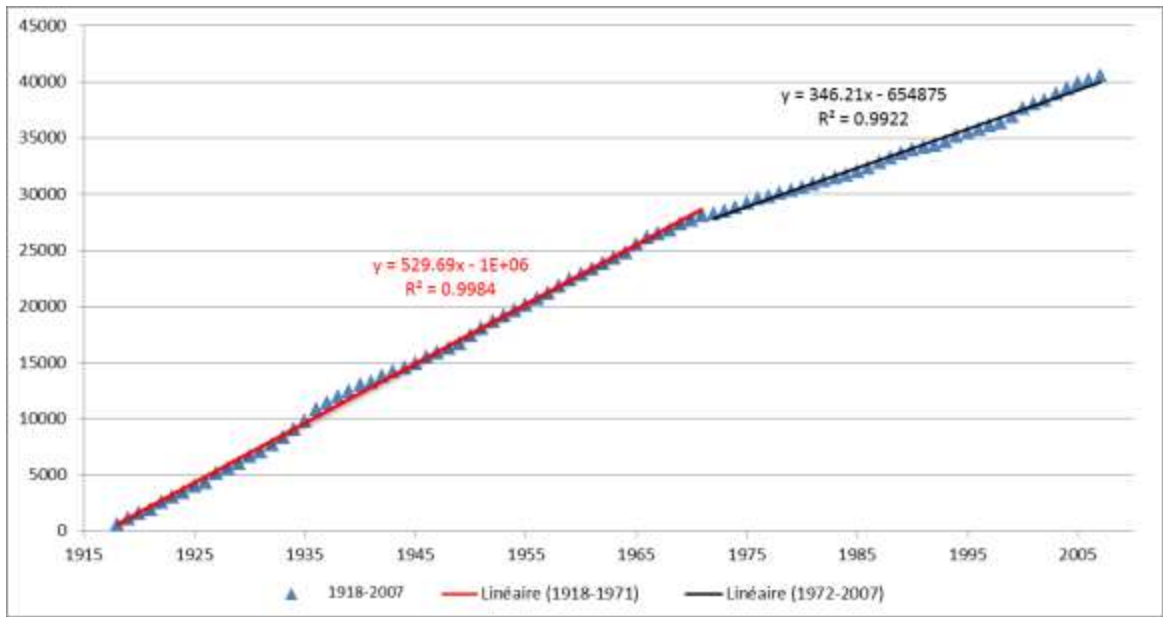


Figure 29. Cumul annuel à la station de Matam (1918-2007)

La pluviométrie diminue fortement après 1971. Elle passe de 520 mm par an à peine 350 mm par an. Les principales diminutions sont au mois de juillet, août et septembre.

La contribution au total annuel de la pluie du mois de juin est moindre qu’auparavant et celle du mois d’octobre légèrement moindre.

Tableau 26 - Moyenne mensuelle à Matam sur les périodes 1918-1971 et 1972-2007 (mm)

période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Précipitations													
1918-2007	0.5	0.6	0.1	1.2	4.1	37.7	104.7	174.3	104	20.7	1.8	1	450.7
1918 - 1972	0.7	0.9	0.2	1.9	5.1	49.6	119.2	193	116.3	24.5	1.5	1.3	514.2
1972 - 2007	0.2	0.3	0	0.2	2.5	19	82.1	144.9	84.6	14.7	2.1	0.5	351.1
Contribution mensuelle													
1918-2007	0.1%	0.1%	0.0%	0.3%	0.9%	8.4%	23.2%	38.7%	23.1%	4.6%	0.4%	0.2%	100%
1918 - 1972	0.1%	0.2%	0.0%	0.4%	1.0%	9.6%	23.2%	37.5%	22.6%	4.8%	0.3%	0.3%	100%
1972 - 2007	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.7%	5.4%	23.4%	41.3%	24.1%	4.2%	0.6%	0.1%	100%

4.2.1.7. SB7- Le Sénégal aval de Podor à l’océan

Les principales stations sont celles de Linguère, Podor et de Saint Louis. La station de Saint-Louis se situe juste après l’exutoire du SB7. Pour ces trois stations, nous avons réalisé un double cumul avec une autre station afin de s’assurer de la cohérence des données. On n’observe pas de point non aligné, les données sont donc de bonne qualité.

Pour les stations de Saint-Louis ville et Saint-Louis aéro, le double cumul permet de mettre en évidence que les données sont sensiblement les mêmes. En effet, le coefficient directeur de la droite est de 1 et tous les points sont alignés sur la droite.

Pour les autres stations, le résultat du double cumul donne également une droite passant par tous les points.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

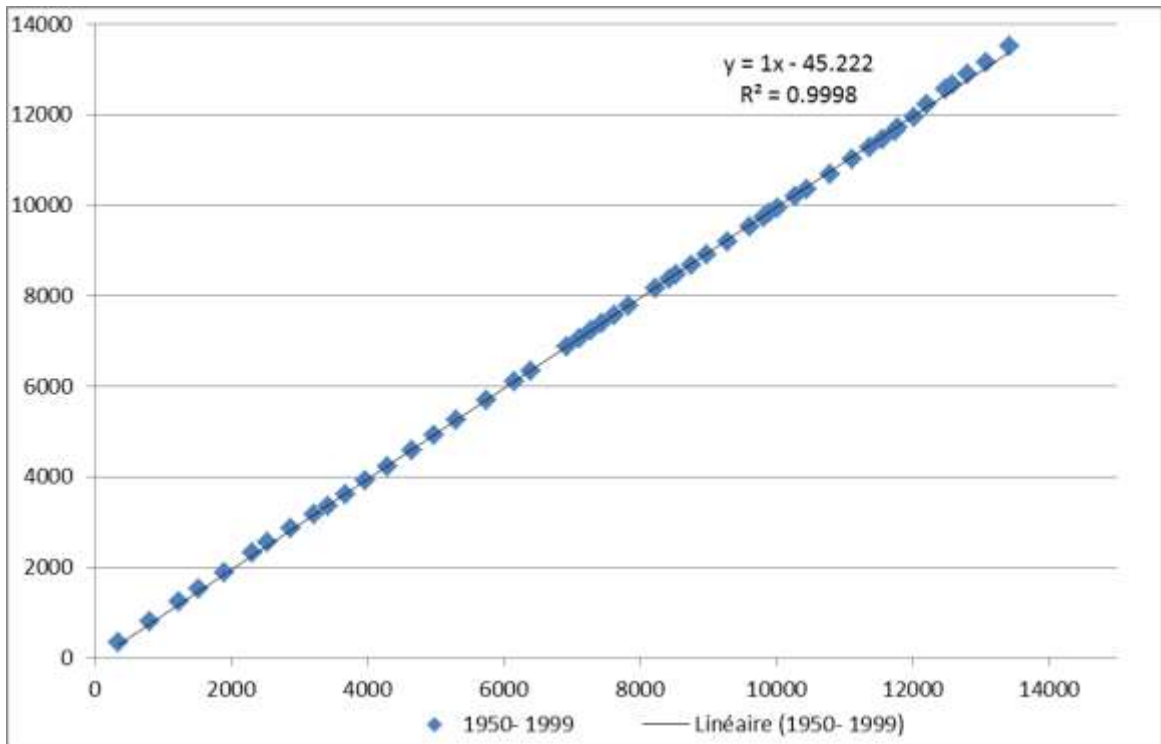


Figure 30. Graphique du double cumul des stations de Saint-Louis ville et de Saint-Louis aéro, 1950-1999 (mm)

Comme pour chaque sous bassin versant, on observe deux saisons distinctes : la saison des pluies de juin à octobre et la saison sèche de novembre à mai. La saison des pluies est plus courte sur la partie aval du BFS comparée à la partie amont (SB1, 2 et 3). La pluviométrie est relativement la même de l’amont à l’aval. Elle est de 270 mm par an à Podor tout en amont et de 259.3 mm par an à Rosso. La partie sud du SB7, comprenant le Ferlo (principal affluent sur le SB7) est plus arrosée. La pluviométrie moyenne annuelle est de 440 mm à Linguère et de 383.6 mm à Louga plus en aval.

Tableau 27 - Moyenne mensuelle des stations du Sénégal aval (mm)

Station	période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Dagana	1918-2007	0,7	2,4	0,1	0	1,6	11,5	46,2	110,4	77,3	21,2	1,1	1,1	273,6
Linguere	1933-2007	0,4	1	0,6	0,2	1,8	27,4	89,3	165,6	116,1	34,8	2	1,3	440,5
Louga	1918-2007	1,2	1,3	0,2	0,1	1,5	12,4	72,1	146,8	116,1	29,6	1,1	1,2	383,6
Podor	1857-2007	0,6	1,2	0,4	0,1	1,6	12,2	52,3	104,6	78,5	17,1	1,2	0,9	270,7
Richard Toll	1962-2008	0,5	0,4	0	0	0	6	41,8	86,8	69,3	13	0,1	0,4	218,3
Rosso	1934-2003	2,3	1,5	0,3	0,1	0,9	7,1	39,9	108,6	73,7	22	1,1	1,8	259,3
Saint_Louis_aero	1950-2007	1,1	1,1	0,1	0,1	0,3	7,6	43	98,1	92,5	25,3	0,6	1,3	271,1
Saint_Louis_Ville	1848-2007	1,8	2,3	0,6	0,1	1,6	14	56	151,1	112,6	22,5	2,4	2,8	367,8

La différence de pluviométrie entre les deux stations de Saint Louis s’explique par la diminution de la pluviométrie dans les années 1970 sur l’ensemble de l’Afrique de l’Ouest. La station de Saint-Louis ville a plus de données avant 1970, la moyenne calculée sur l’ensemble de la période est donc plus grande. La moyenne sur la même période que la station de Saint-Louis aéro est de 269.8 mm soit la même que pour Saint-Louis aéro.

La figure ci-dessous, représentant le cumul annuel des pluies à la station de Saint Louis ville, mais en évidence cette différence entre avant et après 1970. On observe une légère diminution de la pluviométrie entre 1910 et 1920. En effet, les points ne sont plus alignés avec la droite mais ceux-ci se réajustent avec la droite à partir de 1930. Cette diminution n’a été mise en évidence que pour

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

la station de Saint-Louis, ce qui peut correspondre à une période de sécheresse localisée ou à des imprécisions de mesures sur la station. Les valeurs de la station de Saint-Louis aéro ne permettent pas de vérifier les hypothèses car la série de données commence à partir de 1950.

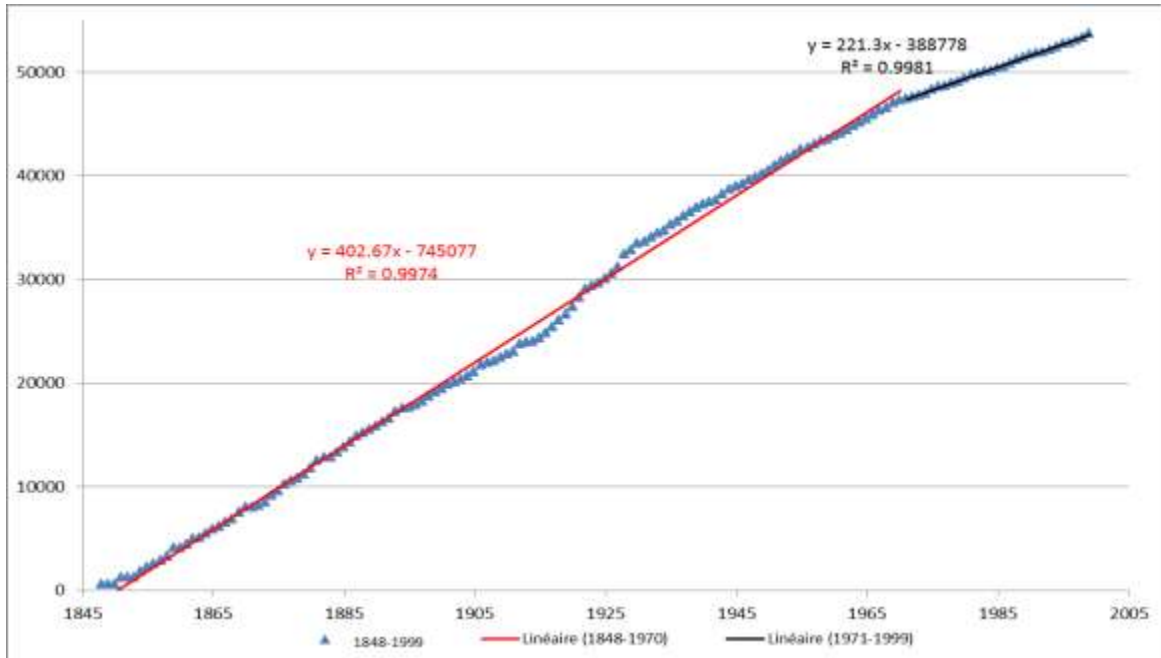


Figure 31. Cumul annuel à la station de Saint-Louis ville (1848-1999) (mm)

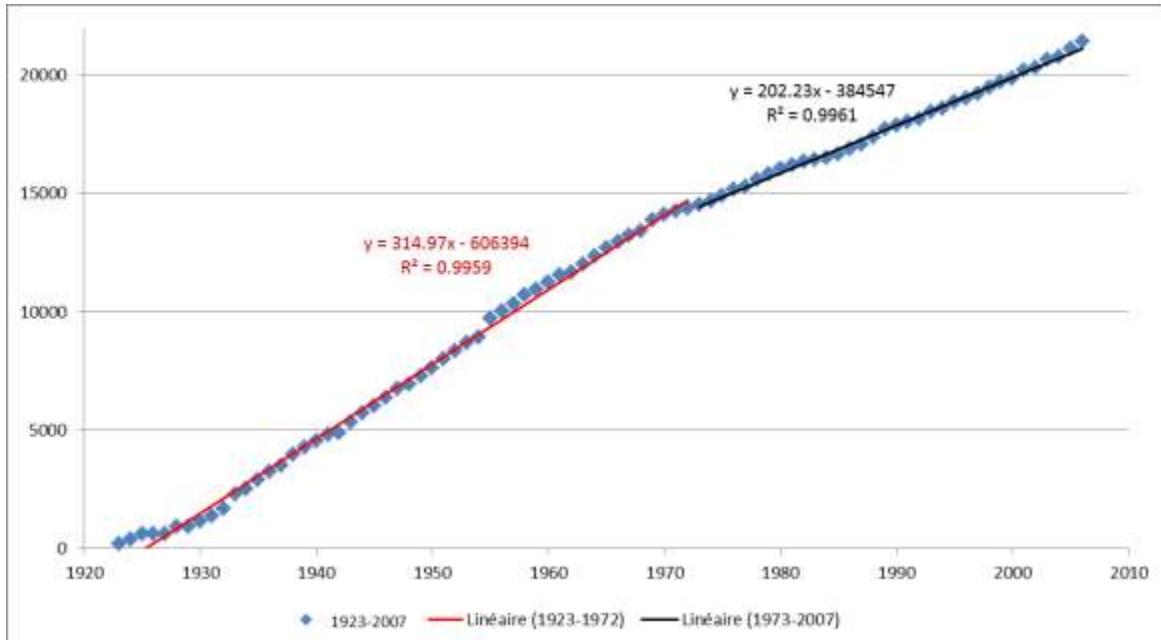


Figure 32. Cumul annuel à la station de Podor (1923-2007)

La fracture des années 1970 s’observe également sur la station de Podor bien qu’elle soit moins marquée que pour la station de Saint-Louis.

Les contributions au total annuel de la pluie du mois de juin et du mois d’octobre sont moindres qu’auparavant.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 28 - Moyenne mensuelle à Podor sur les périodes 1919-1970 et 1971-2007 (mm)

période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Précipitations													
1919-2007	0.6	1.2	0.4	0.1	1.6	12.2	52.3	104.6	78.5	17.1	1.2	0.9	270.7
1919- 1970	0.6	1.5	0.5	0.1	2.4	16.1	59.4	124	84.9	23.6	1.8	1.2	316.1
1970 - 2007	0.6	0.6	0.3	0.1	0.4	6.2	41.8	75.8	68.8	7.5	0.2	0.4	202.7
Contribution mensuelle													
1919-2007	0.2%	0.4%	0.1%	0.0%	0.6%	4.5%	19.3%	38.6%	29.0%	6.3%	0.4%	0.3%	100.0%
1919- 1970	0.2%	0.5%	0.2%	0.0%	0.8%	5.1%	18.8%	39.2%	26.9%	7.5%	0.6%	0.4%	100.0%
1970 - 2007	0.3%	0.3%	0.1%	0.0%	0.2%	3.1%	20.6%	37.4%	33.9%	3.7%	0.1%	0.2%	100.0%

4.2.1.8. Analyse synthétique des cycles saisonniers des précipitations

La Figure 33 présente les cycles saisonniers des précipitations sur les 22 stations sélectionnées. Il s’agit des moyennes mensuelles de précipitation des 12 mois de l’année sur chaque station et sur la période 1975-2004. Les moyennes mensuelles climatologiques sont calculées à partir des seules valeurs existantes entre 1975 et 2004 pour les stations qui présentent des valeurs manquantes.

La Figure 33 montre les différentes phases de la saison pluviométrique. La variation saisonnière des pluies est bien représentée dans toutes les stations sélectionnées. Les pluies sont en moyenne obtenues de mai à septembre avec un maximum enregistré au courant du mois d’août. La Figure 33 met également en évidence le caractère très variable de la pluviométrie dans le BFS.

La répartition des pluies dans le BFS est très contrastée. Par exemple, à côté des stations du Sud comme Dalaba, où la pluviométrie est très élevée avec des cumuls mensuels qui dépassent les 400 mm en moyenne en août, on peut trouver des stations (notamment celles du Nord comme par exemple Podor), où le maximum de cumul en août n’atteint même pas 200 mm. Pour Dalaba on observe déjà plus de 200mm au mois de mai. Ces données de stations apparaissent très réalistes. En fait, le climat dans le BFS est marqué par un fort gradient pluviométrique allant des zones semi-arides au Nord aux zones humides au Sud, dans la région du Fouta Djallon où le fleuve prend sa source.

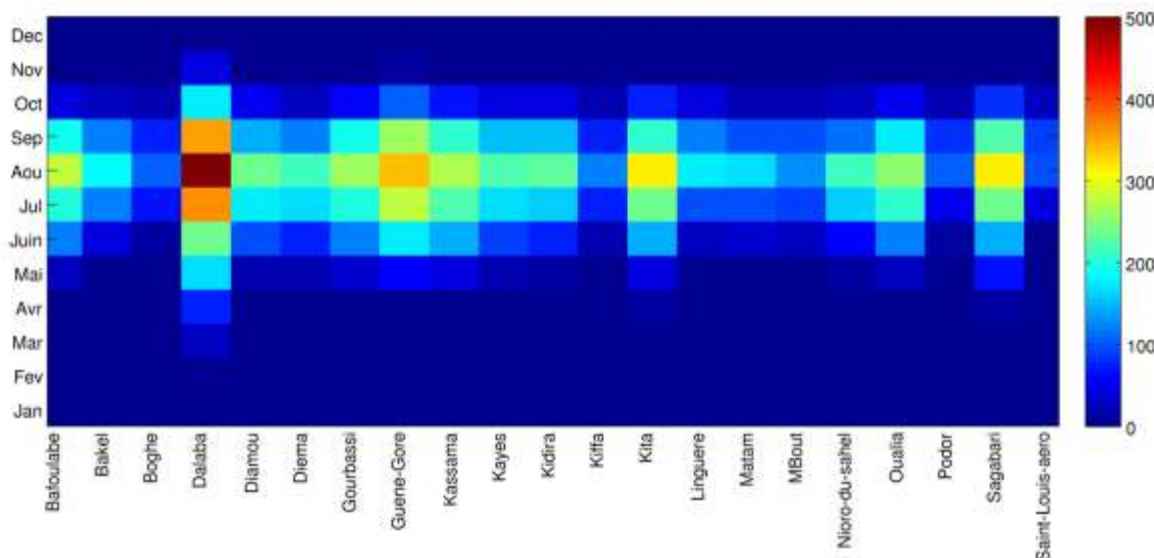


Figure 33. Cycle saisonnier des moyennes mensuelles de précipitations (mm) sur les stations sélectionnées (source : ce rapport)

4.2.1.9. Analyse synthétique de la variabilité interannuelle des précipitations

Un contrôle qualité a été effectué sur la chronique des données in-situ. Les précipitations sont représentées sous forme d’anomalies normalisées qui sont très pratiques pour ce genre d’exercice. L’anomalie normalisée d’une variable sur une période se calcule en soustrayant la moyenne de cette variable puis en divisant cette différence par l’écart-type, ainsi les valeurs n’expriment plus une quantité absolue mais une variabilité autour d’une valeur moyenne.

$$\text{Anomalie (X)} = [X - \text{moyenne}(X)] / \text{écart-type}(X) \quad (1)$$

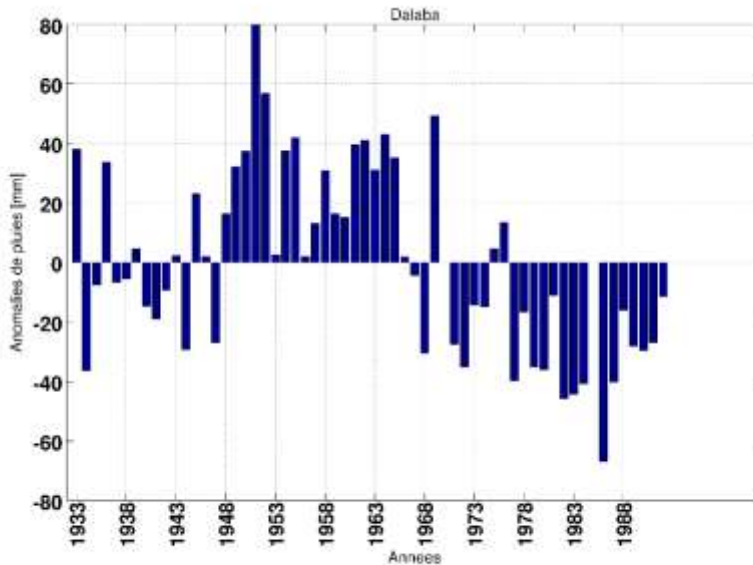


Figure 34. Anomalies normalisées des cumuls annuels des précipitations de la station de Dalaba (source : ce rapport)

Les anomalies normalisées présentent plusieurs avantages. Entre autres, elles permettent une analyse directe sur les variations de précipitations au cours du temps et identifient facilement les années «déficitaires» et «excédentaires» en précipitations. Les stations de Dalaba et Kita sont montrées à titre d'exemple (Figure 34 et Figure 35, respectivement). On peut constater la signature de la grande sécheresse des années 70 et celle du retour des précipitations à partir des années 2000. Cette analyse sera également approfondie et élargie sur l'ensemble des sous bassins afin de mieux appréhender le climat historique local. Et cette phase fournira des éléments de référence pour l'évaluation de la performance des modèles climatiques.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

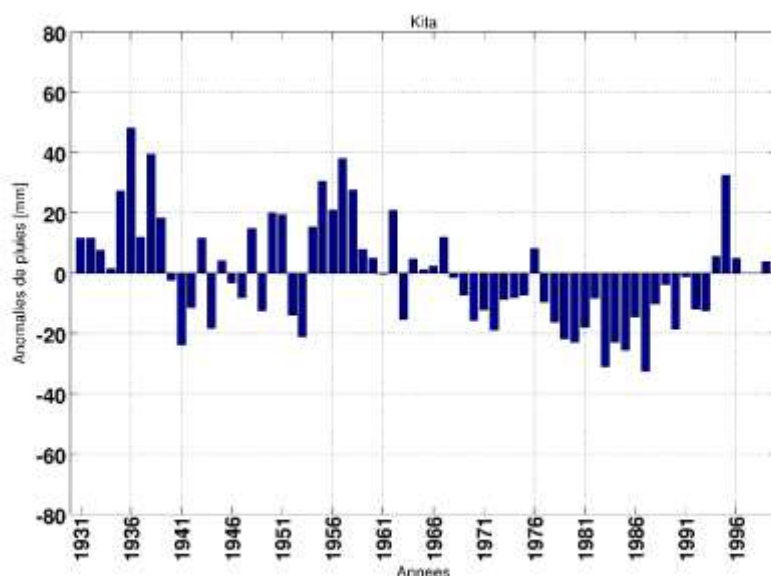


Figure 35. Anomalies normalisées des cumuls annuels des précipitations de la station de Kita (source : ce rapport)

4.2.1.10. Synthèse de l'analyse pluviométrique sur le BFS

Le tableau ci-dessous résume l'analyse des données pluviométriques. On observe bien pour chacun des sous bassin versant une diminution de la pluviométrie après 1971. Sur certains sous bassins, tels que le SB6 et SB7, cette diminution est assez importante (plus de -30%) et significative au vu des faibles précipitations sur ces parties en aval du BFS.

La Guinée est la partie du BFS qui reçoit les pluies les plus fortes. La pluviométrie décroît rapidement dès que l'on atteint le Sénégal ou le Mali. La pluviométrie de la vallée est quant à elle caractérisée par des pluies faibles, irrégulières et réparties sur une courte période (2 à 3 mois) entre fin juin et fin septembre.

Dans l'ensemble, les quantités et les nombres de jours de pluie diminuent du Sud au Nord. Elles sont de l'ordre de 1600 à 2000 mm/an dans le Haut Bassin, puis diminuent à 500- 600 mm/an dans la Haute Vallée et à environ 200 - 300 mm/an dans la Basse Vallée et le Delta.

Tableau 29 – Evolution de la pluviométrie sur la Bassin du fleuve Sénégal entre 1950-1971 et 1972- 2000

Sous bassin	SB1		SB2	SB3	SB4	SB5		SB6		SB7	
Station	Mamou	Sagabari	Bafoulabé	Kita	Kidira	Kayes	Bakel	Matam	Boghé	Podor	Saint Louis
Moyenne pluie (mm) 1950-1971	1985.2	1203.7	907.2	1130.1	722.6	740.4	521.5	515.0	330.2	317.5	364.2
Moyenne pluie (mm) 1972-2000	1734.9	988.6	756.5	918.7	550.8	592.5	495.7	359.3	207.2	192.8	255.4
Taux de réduction (%)	-13%	-18%	-17%	-19%	-24%	-20%	-5%	-30%	-37%	-39%	-30%

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

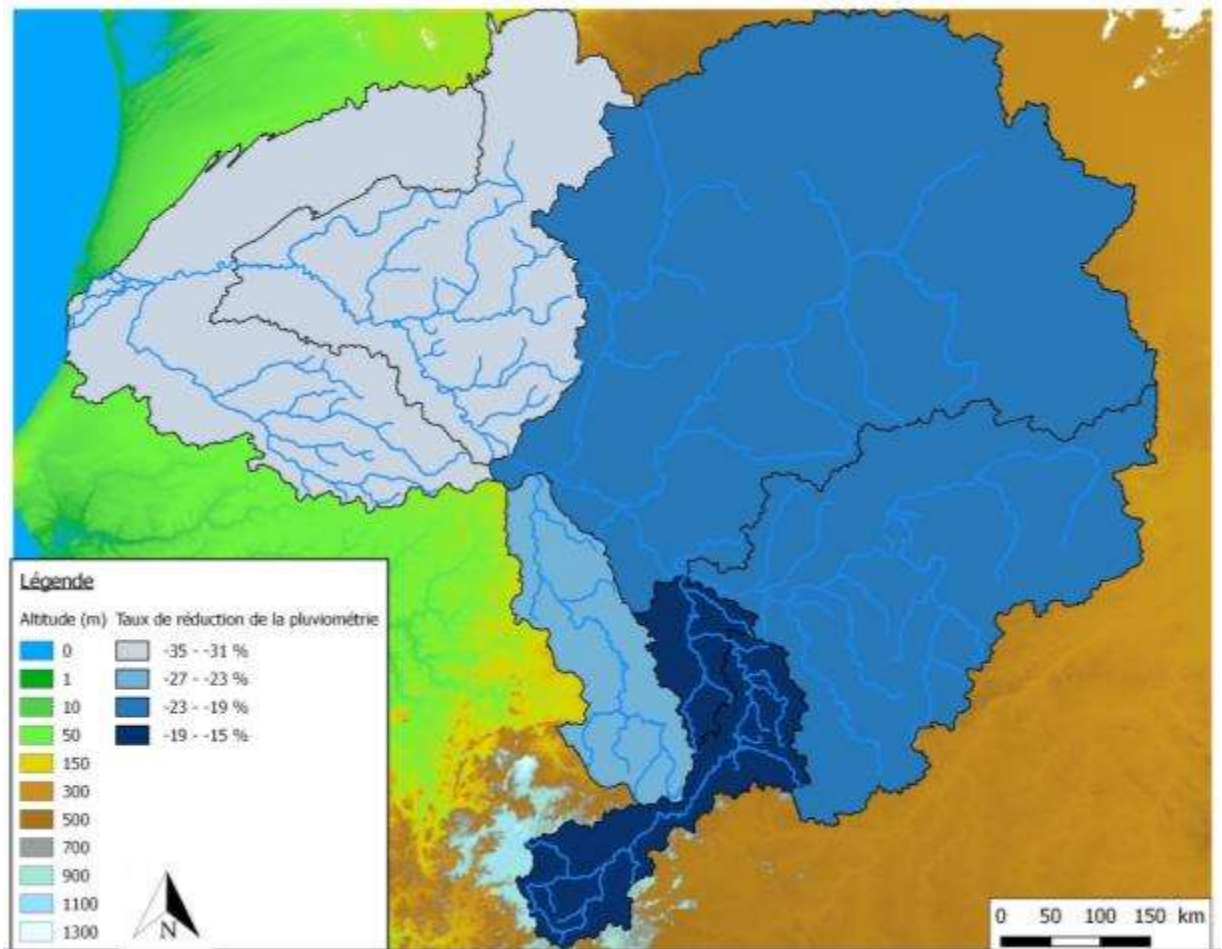


Figure 36. Taux de réduction de la pluviométrie par sous bassin entre la période avant et après 1971 (source : ce rapport)

Les précipitations observées pour les quatre domaines climatiques sont les suivantes :

- **Le domaine guinéen** avec une pluviométrie supérieure à 1 500 mm/an et une saison des pluies de huit mois (d'avril à novembre) avec août le mois le plus pluvieux ;
- **Le domaine sud soudanien** avec une pluviométrie entre 1 000 et 1 500 mm/an, et une saison des pluies de 6 à 8 mois (d'avril à novembre) ;
- **Le domaine nord soudanien** avec une pluviométrie plus faible, entre 500 et 1 000 mm/an et une saison des pluies qui dure de 4 à 6 mois (de mai à octobre) ;
- **Le domaine sahélien** avec une pluviométrie très faible, inférieure à 500 mm/an. La zone Sahélienne comprend la zone sahélienne pluvieuse (450-600 mm/an) et la zone Sahélienne Nord (150-300 mm/an). La saison des pluies dure 3 mois (juillet à septembre). Ce domaine climatique s'apparente depuis ces quelques 15 dernières années au domaine saharien avec des précipitations inférieures à 200 mm/an (Carn, 1993).

4.2.2. Analyse des autres données climatologiques

4.2.2.1. Analyse des températures

A. Variations saisonnières

Le tableau ci-après présente les moyennes des températures minimales et maximales pour trois stations. Les valeurs présentées sont les moyennes mensuelles inter annuelles des extrema journaliers.

Tableau 30 – Moyenne des températures maximales et minimales mensuelles (°C)
(source : ce rapport)

		Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Labé	Moy Min mens	11.6	13.1	15.8	18.4	19.2	18.5	18.1	18.1	17.8	17.2	13.9	11.4
alt. 1050m	Moy Max mens	29.3	31.4	32.5	33	31.1	28	26	25.8	26.4	27.4	28.5	28.6
Mamou	Moy Min mens	14.9	16.7	23.5	19.8	19.6	19	18.7	18.7	18.4	18.4	16.9	15
alt. 782m	Moy Max mens	31	33	33.9	33.1	30.6	27.9	26.5	26.3	27.2	28.4	29.8	30.3
Siguiri	Moy Min mens	16.6	19.5	22.1	23.9	22.8	21	26	20.2	20.1	20.3	18.4	16.7
alt. 361m	Moy Max mens	33.5	35.9	36.6	38	36.3	32.6	30.6	29.9	30.8	33.1	34.2	33.5

A partir de ce tableau on observe que les températures les plus chaudes se situent entre Mars et Mai. Durant cette période, les températures mensuelles maximales sont de l'ordre de 30 – 35 °C, et les minimales sont de l'ordre de 16 à 24 °C selon les stations.

Les températures les plus basses sont observées à Labé (altitude 1050m) et les plus élevées à Siguiri (altitude 361m), située plus à l'Est.

Les plus fortes amplitudes thermiques sont observées durant la saison sèche, entre novembre et février quand souffle l'harmattan (vent du Nord-Est chaud et sec), et les plus faibles amplitudes de juin à septembre, pendant la saison humide.

B. Evolution des températures moyennes annuelles depuis 1960

Nous avons analysé l'évolution des températures des stations de Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis (Figure 37). Ces stations sont choisies d'une part à cause de la qualité des mesures, mais d'autre part parce que leur répartition spatiale couvre plus ou moins les différents sous-bassins du BFS. A l'exception de Bakel qui ne couvre que la période de 1980 à 2016, les trois autres stations présentent des séries de 1960 à 2016.

L'analyse des températures moyennes (Figure 37 – partie haute) de ces 4 stations met en évidence l'existence du fort gradient thermique Ouest-Est dû probablement à l'influence de l'Océan. La station côtière de Saint-Louis présente une moyenne d'environ 26°C contre environ 30°C de moyenne pour les autres stations continentales. Les plus fortes valeurs annuelles de températures sont enregistrées aux stations de Bakel et Matam.

Par ailleurs, une forte irrégularité sur l'évolution temporelle des températures est également observée entre ces stations. Mais toutefois, l'accroissement des températures est bien réel pour l'ensemble des quatre stations. De 1960 à 2016, l'analyse des anomalies de températures (Figure 37 – partie basse) montre une augmentation de +1°C. Une augmentation qui pourrait contribuer à l'amplification des effets de la sécheresse (Funk et al., 2012).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

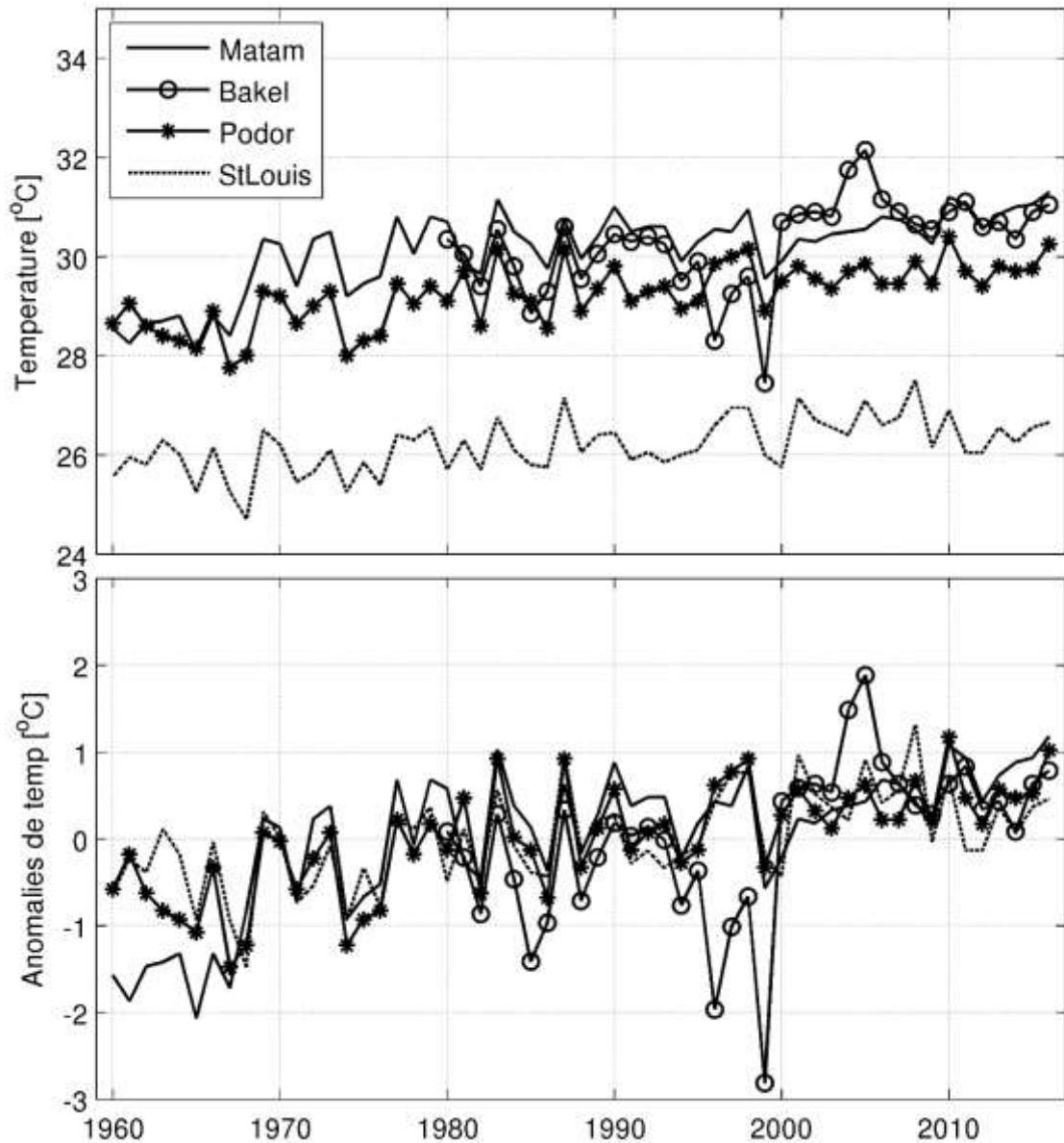


Figure 37. Evolution des températures annuelles moyennes aux stations de Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis (source : ce rapport)

Les tendances observées avec les moyennes annuelles des températures dans les stations du BFS sont similaires à celles retrouvées à l'échelle mensuelle par Sagna et al. (2015). Grâce à la résolution temporelle (1 mois) de leurs données, ces derniers ont en plus analysé séparément l'évolution interannuelle des températures de la saison chaude (Avril à Octobre) et fraîche (Novembre à Mars). Ils ont trouvé que, comme à l'échelle annuelle, la tendance à la hausse des températures est également nette aussi bien en saison chaude qu'en saison fraîche. Cependant, ils remarquent que l'augmentation est beaucoup plus rapide pendant la saison fraîche (Figure 38). Parallèlement à cette tendance à la hausse des températures, ils ont remarqué qu'entre les deux saisons, des différences apparaissent dans la variabilité interannuelle des températures. La variabilité interannuelle est également beaucoup plus marquée en saison fraîche. Pendant cette période, les variations interannuelles de la température sont souvent brutales (Figure 38, en haut). Les écarts peuvent varier de -1.8 °C à 1.7 °C d'une année à l'autre. Alors que pour la saison chaude, les écarts sont moins importants, compris entre -1.7 et 1 °C (Figure 38, bas).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

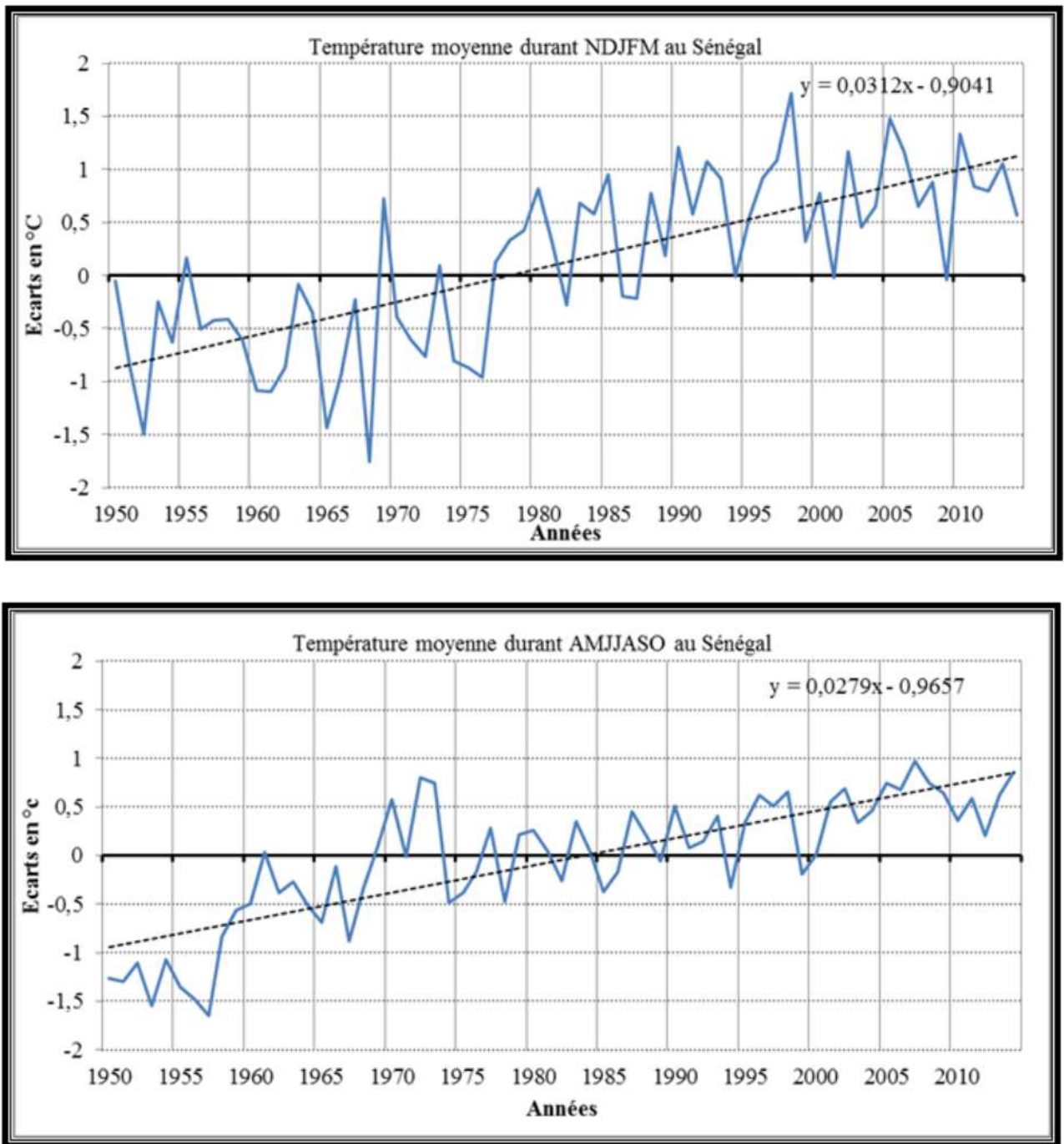


Figure 38. Évolution des anomalies (par rapport à la normale de 1961-1990) des températures de 1950 à 2014 du Sénégal durant la période fraîche (novembre à mars) en haut et durant la période chaude (avril à octobre) en bas (Source : Sagna et al. (2015))

4.2.2.2. Analyse des données de vitesse du vent

Les valeurs moyennes mensuelles de vitesses et de direction du vent sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 31 – Vitesses moyenne et directions du vent (1971 – 2009) (source : ce rapport)

		Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	moy An
LABE	Vit moy (m/s)	2.7	2.7	2.9	2.7	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.7	2.5
	Direction dominante	E	E	E	E	E/W	E/W	W	W	E	E	E	E	/
MAMOU	Vit moy (m/s)	3.5	4	3.4	2.9	2.6	2.8	2.6	2.8	2.6	2.6	3.1	3.6	3
	Direction dominante	N/NE	N/NE	NE/SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	N/NE	N/NE	N/NE	/
SIGURI	Vit moy (m/s)	2.8	2.8	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.2	2.2	2	2.5	2.7	2.5
	Direction dominante	E/NE	E/NE	E/NE	S/SW	S/SW	SW	SW	SW	SW	W/SW	E	E	/

Sur la région étudiée la vitesse moyenne mensuelle du vent est de l'ordre de 2,5 à 3 m/s. La direction générale des vents est Nord – Est pendant la saison sèche (l'harmattan). Pendant la saison humide la direction s'inverse et les vents proviennent de l'Ouest – Sud-Ouest, liés au flux de mousson.

4.2.2.3. Analyse de l'humidité relative

Le tableau suivant présente les variations moyennes mensuelles de l'humidité relative, minimale et maximale aux stations de Mamou (1971-1989), Labé (1971-2002), et Siguri (1971-2002).

Tableau 32 - Humidité relative - Moyennes mensuelles (%) à Mamou, Labé, et Siguri (source : ce rapport)

		Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Mamou	HU min	16	17	20	32	48	62	68	69	65	57	37	21
	HU max	65	69	77	85	94	97	97	98	97	97	93	76
Labé	Hu min	19	17	17	24	38	55	65	67	63	55	35	22
	Hu max	74	69	71	81	91	95	98	98	98	97	94	87
Siguri	Hu min	19	18	19	27	37	53	61	64	60	47	29	20
	Hu max	50	44	50	66	80	89	93	94	93	91	77	59

On note qu'entre Mai et septembre, période de la saison humide, les valeurs maximales d'humidité sont en moyenne supérieure à 90% alors que les minimales ne baissent qu'en mai au-dessous de 65%.

4.2.2.4. Synthèse climatique du BFS

Comme nous l'avons vu précédemment, le BFS est soumis successivement aux climats guinéen, soudanien, sahélien avant d'atteindre la zone littorale ou se fait sentir l'influence de la mer.

- **Le domaine guinéen** est caractérisé par des températures relativement basses. La moyenne annuelle se situe entre 22 et 24°C avec un maxima allant de 27 à 34°C (mars-avril) et un minima variant de 12 à 18°C (décembre-janvier). Le taux d'humidité est relativement important en saison humide (supérieur à 50%).
- **Le domaine sud soudanien** est caractérisé par une température moyenne annuelle de 27°C. Les mois les plus chauds se situent entre février et novembre avec un maximum de 42°C et les mois les plus frais sont décembre et janvier avec une température moyenne de 24°C. Le taux d'humidité moyen est supérieur à 50 %. On distingue trois saisons :
 - Une saison sèche et chaude caractérisée par les vents forts soumis au régime de l'harmattan (vent du Nord-Est) et une faible humidité relative, de février à juin et d'octobre à novembre ;

- Une saison sèche et fraîche avec des vents et une humidité relative faibles (décembre et janvier)
- Une saison humide et chaude de juillet à septembre, influencée par le régime des vents de mousson.
- **Le domaine nord soudanien** est caractérisé par une température moyenne annuelle de 28°C. Les mois les plus chauds sont de février à novembre avec un maximum 32°C et les mois les plus frais sont décembre et janvier avec une température moyenne de 24°C. Le taux d'humidité moyen est un peu inférieur à 50 %. On distingue trois saisons :
 - Une saison sèche et chaude caractérisée par des vents forts et une faible humidité relative, de février à juin et d'octobre à novembre ;
 - Une saison sèche et fraîche avec des vents et une humidité relative faibles (décembre et janvier)
 - Une saison humide et chaude de juillet à septembre.
- **Le domaine sahélien se distingue** avec une moyenne annuelle des températures supérieure à 30°C. Les mois les plus chauds se situent de février à novembre avec des températures pouvant dépasser les 40°C. Les mois de décembre et de janvier sont plus frais avec en moyenne 22°C. Le taux d'humidité est généralement compris entre 40 % et 50 % pendant la saison sèche, puis augmente et atteint jusqu'à 70 à 80 % pendant la saison des pluies (juin à août). On distingue trois saisons :
 - une saison sèche et fraîche de décembre à janvier ;
 - une saison sèche et chaude de février à juin puis d'octobre à novembre ;
 - une saison humide et chaude de juillet à septembre.

Sur le littoral, le Delta, en raison des influences océaniques, bénéficie du régime des alizés maritimes du Nord-Ouest avec une humidité plus élevée et des températures plus basses.

4.2.3. Analyse des débits et niveaux

L'analyse des débits a été effectuée sur les sept sous-bassins versants. Un complément d'analyse a été apporté sur les niveaux pour la partie aval du SBV7 situé entre le barrage de Diama et l'océan.

Dans un premier temps, il nous a paru nécessaire de confronter les jeux de données à notre disposition pour s'assurer de leur complémentarité. Les graphiques suivants représentent les débits mensuels et annuels (calculés à partir des données journalières) des données OMVS en fonction des données SIEREM pour les 8 stations présentes dans ces 2 jeux de données.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

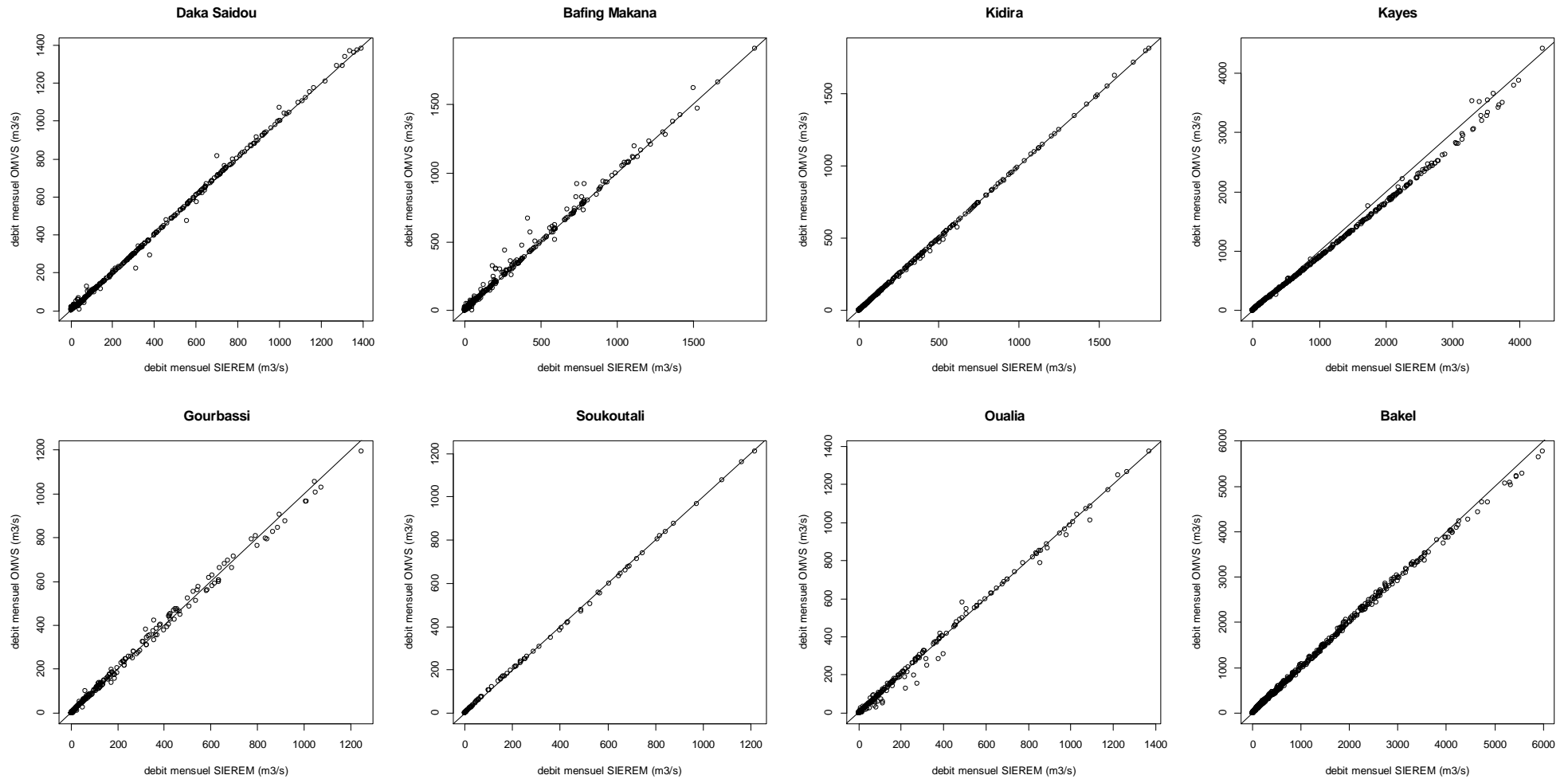


Figure 39. Croisement des données SIEREM et OMVS au pas de temps mensuel sur les périodes communes (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

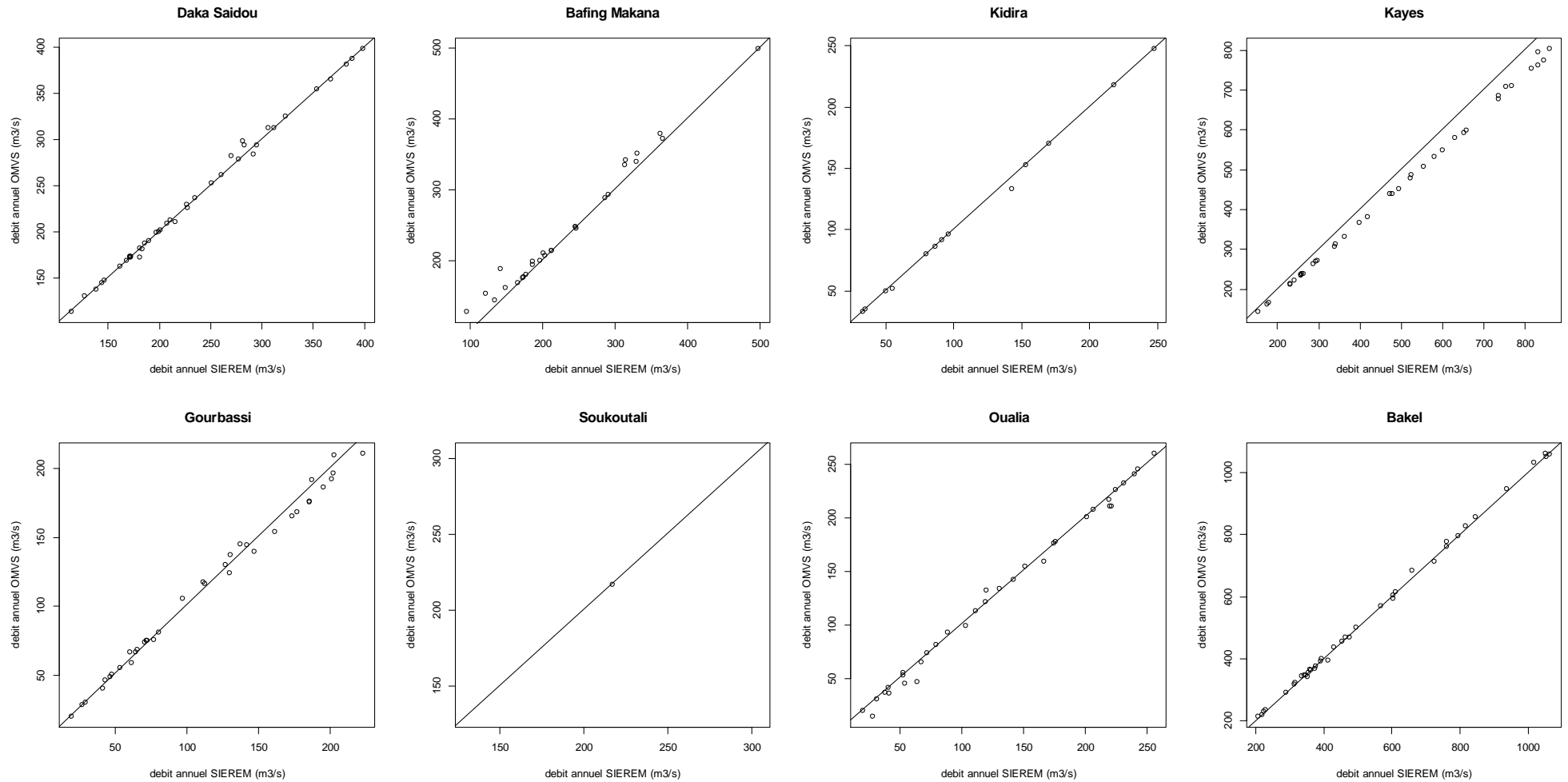


Figure 40. Croisement des données SIEREM et OMVS au pas de temps annuel sur les périodes communes (source : ce rapport)

Comme on peut le remarquer sur les figures ci-dessus, il semble bien y avoir une complémentarité entre les 2 jeux de données. Les débits mensuels et annuels fournis par l'OMVS et ceux issus du SIEREM sont bien corrélés sur les périodes communes.

Les débits à la station de Kayes varient d'un jeu à l'autre. Il semble y avoir une corrélation entre les 2 jeux de données mais celle-ci ne suit pas la droite d'équation $y = x$ tracée sur les différents graphes.

Au pas de temps mensuel, pour les stations de Bakel et Oualia et dans une moindre mesure Bafing Makana et Gourbassi, on remarque quelques années aux débits différents selon l'un ou l'autre jeu de données. Nous avons étudié ponctuellement ces différences pour conserver le jeu de données représentant le plus fidèlement les débits sur ces périodes de divergence.

Ainsi, sur la station de Bakel, il semblerait que les données issues du SIEREM soient surestimées sur une période allant de 1968 à 1974. A cette période, une sécheresse importante s'est produite sur l'Afrique sahélienne¹⁰ et les débits les plus bas sont conservés. De même, sur la période 1988 – 1992, soit au moment de la mise en eau du barrage de Manantali, les données de l'OMVS correspondent aux données trouvées dans la littérature¹¹. On retiendra donc ces valeurs pour la reconstitution de la chronique finale.

Nous avons procédé de la même façon sur la station d'Oualia. Les années 1961, 1974 et 1980 issues du SIEREM sont surestimées et les valeurs fournies par l'OMVS ont été retenues.

Les chroniques de débits finales ont été reconstituées de la sorte :

- Lorsque les 2 jeux de données sont disponibles, conservation des données de débits fournies par l'OMVS ;
- Ajout des données du SIEREM lorsqu'il n'y a pas de données de l'OMVS.

Pour chacun des bassins retenus, nous avons identifié une station afin d'analyser le régime des débits. Ainsi, nous avons sélectionné les stations les plus proches de l'exutoire des sous-bassins et pour lesquelles les chroniques de débits sont suffisamment longues et présentent peu de lacunes.

Les stations ainsi conservées sont :

- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| – SB1 : Bafing à Bafing Makana | – SB5 : Sénégal à Bakel |
| – SB2 : Bafing à Dibia | – SB6 : Sénégal à Dagana |
| – SB3 : Bakoye à Oualia | – SB7 : Sénégal à Diama |
| – SB4 : Falémé à Kidira | |

Nous avons souhaité croiser les chroniques de débits constituées à l'aide des données du SIEREM et de l'OMVS avec les données de débits issues de l'actualisation de la monographie du BFS. Ce croisement peut permettre de compléter ou de valider ces chroniques car la plupart des données de débits de la monographie couvrent une période de 1903 à 2010.

Nous avons représenté les débits mensuels (Figure 41) et annuel (Figure 42) des chroniques OMVS_SIEREM en fonction des débits mensuels et annuels issus de la monographie pour les stations présentes dans les 2 jeux de données ainsi que la droite d'équation $y = x$.

¹⁰ Hydrological Sciences-Bulletin-des Sciences Hydrologiques, XXI, 2 6/1976
(http://hydrologie.org/hjsj/210/hysj_21_02_0315.pdf)

¹¹ Impact du changement climatique et du barrage de Manantali sur la dynamique du régime hydrologique du fleuve Sénégal à Bakel (1950-2014) (<http://popups.ulg.ac.be/0770-7576/index.php?id=4044#tocto2n1>)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

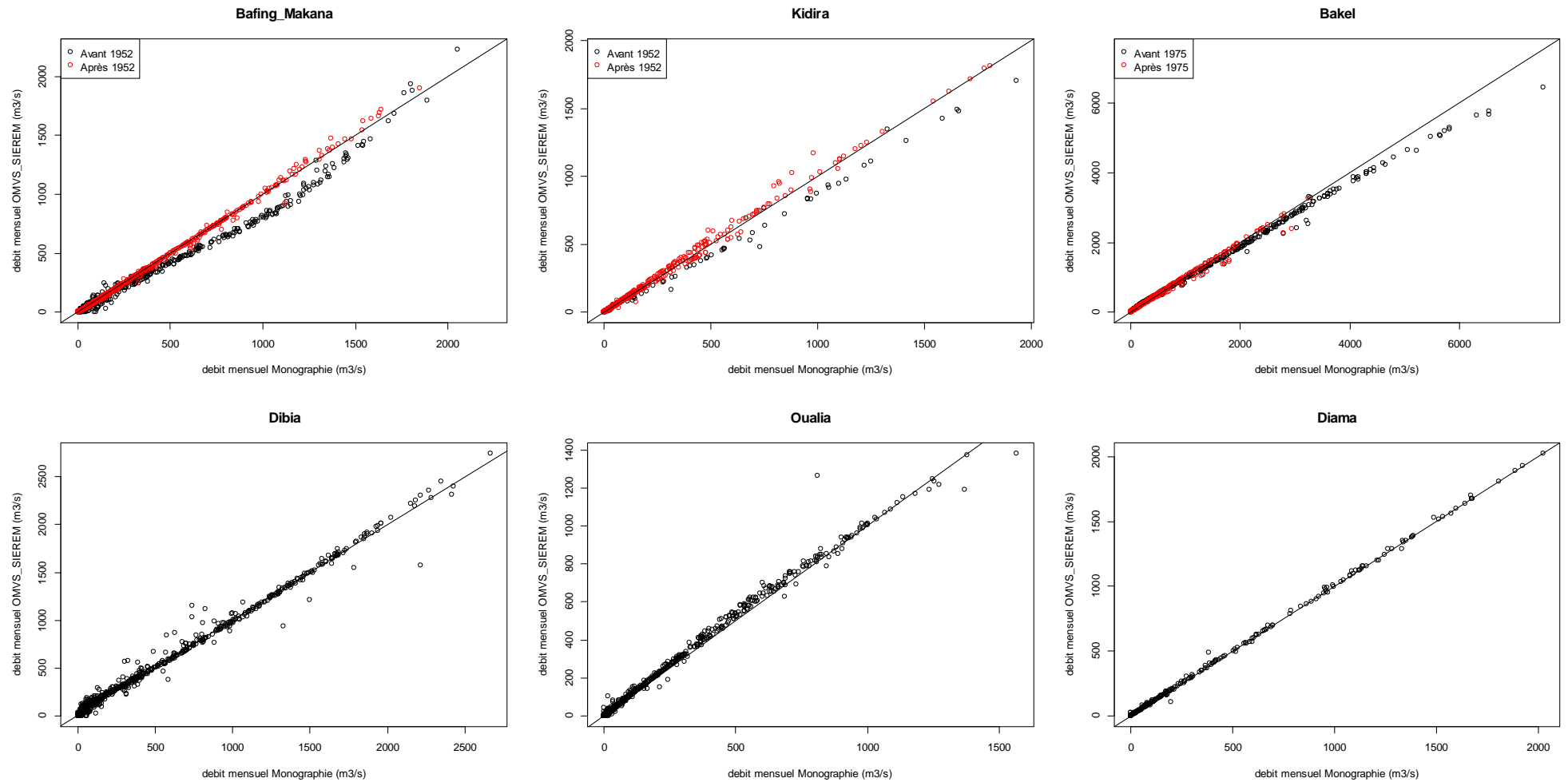


Figure 41. Croisement des données de la monographie du BFS et des chroniques OMVS_SIEREM au pas de temps mensuel sur les périodes communes (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

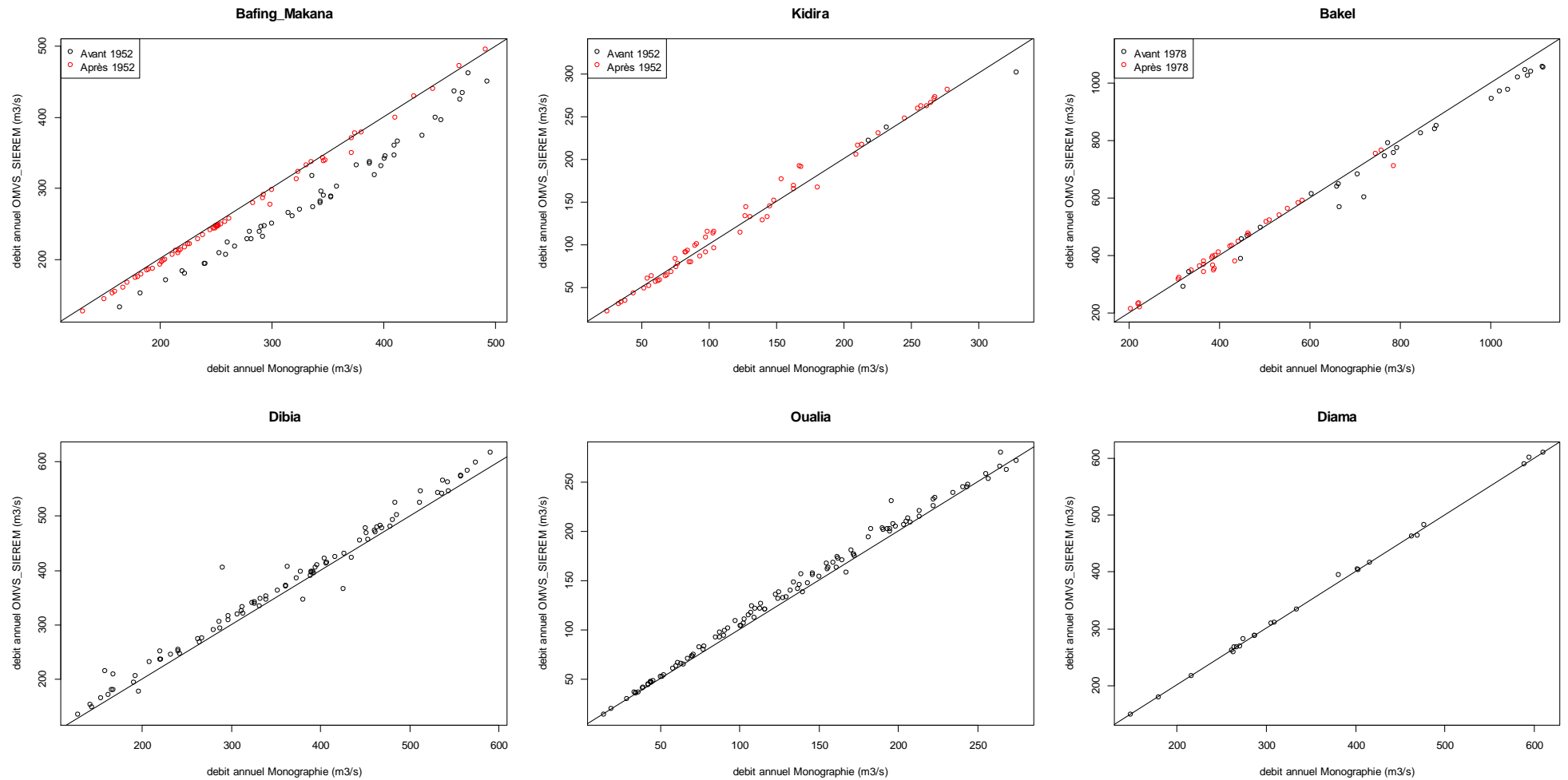


Figure 42. Croisement des données de la monographie du BFS et des chroniques OMVS_SIEREM au pas de temps annuel sur les périodes communes (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

On remarque que les données sont généralement bien corrélées entre elles.

Cependant, sur la station du Bafing à Bafing Makana, les données mensuelles et annuelles ne sont corrélées qu'à partir de 1952. Cette station a été installée en 1955 par la M.A.S. Les données antérieures ont été reconstituées à partir des données d'autres stations. On peut donc imaginer que les reconstitutions n'ont pas pris en compte les mêmes stations. On observe des comportements similaires sur la station de Kidira.

Sur la station du Sénégal à Bakel, on distingue une perte de corrélation sur les débits mensuels supérieurs à 3500 m³/s avant 1975. L'utilisation de courbe de tarage différentes sur les hauts débits peut expliquer ces différences.

Les différences entre les sources de données se retrouvent généralement sur la période ancienne lorsqu'on compare les données SIEREM et celles de la monographie. Or, la monographie fournit des informations sur les stations, ce qui confirme la robustesse de ces données de débits. Nous conserverons donc prioritairement les données de la monographie sauf lorsque seules les données du SIEREM seront disponibles.

Ainsi, pour chaque sous-bassin, nous avons pu reconstituer des chroniques de débits mensuels et annuels sur la période la plus longue possible.

4.2.3.1. SB1- Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali

Sur le bassin du Bafing amont, nous possédons des données pour plusieurs stations hydrométriques. La station de Soukoutali est intéressante car complète sur une période allant de 1904 à 1989. Cependant, il s'agit d'une ancienne station située à l'emplacement actuel du barrage de Manantali et il n'y a donc pas de données sur la période récente. Afin de pouvoir mettre en évidence les changements dans l'hydrologie du bassin du Bafing amont, nous privilégions une station avec des données plus récentes, à savoir la station de Bafing Makana pour laquelle nous disposons de données de 1904 à 2016.

4.2.3.1.1. Simple cumul

Afin d'analyser la variabilité sur du long terme des apports, c'est-à-dire des débits cumulés, un test de simple cumul des apports journaliers a été réalisé sur la série à Bafing Makana.

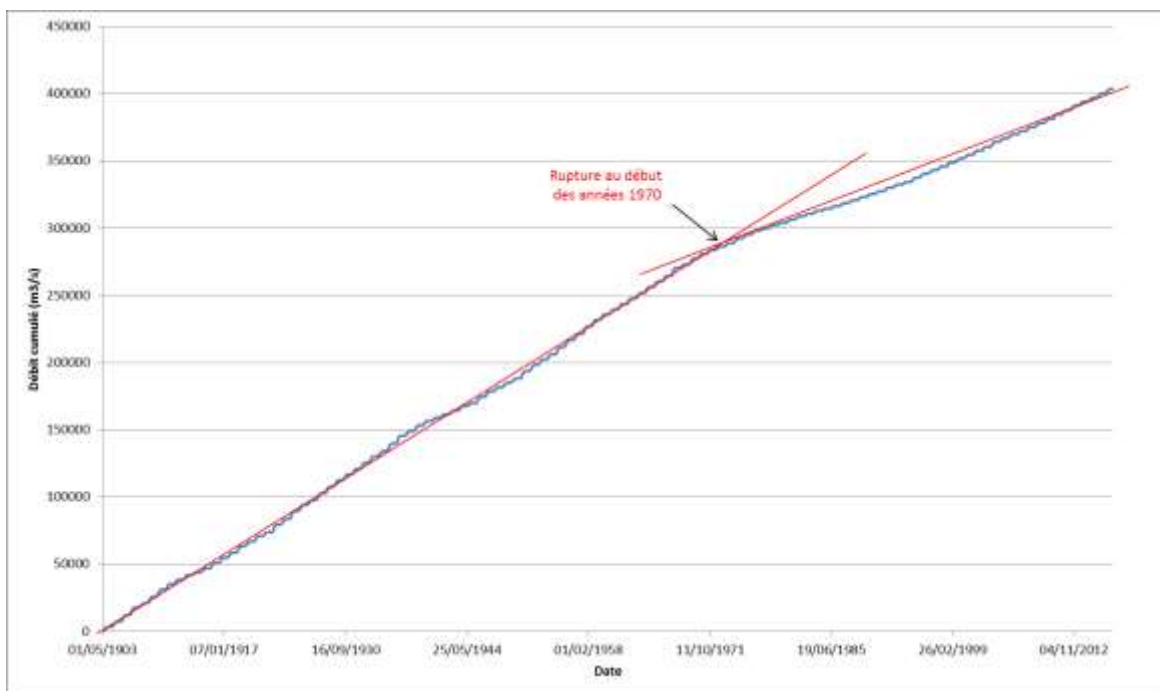


Figure 43. Simple cumul des débits mensuels du Bafing à Bafing Makana (mai 1903 – mars 2017)

La courbe des apports à la station de Bafing Makana (Figure 43) présente une forme particulière formée de paliers qui correspondent aux périodes de basses eaux entre décembre et mai où les apports sont faibles. Cette période correspond bien à la saison sèche identifiée à l'aide des données pluviométriques.

Sur cette figure, on remarque une cassure nette dans les débits au début des années 1970, rupture également mise en évidence sur les données pluviométriques. Elle est représentée par les droites rouges de pentes différentes.

4.2.3.1.2. Double cumul

L'étude hydrologique nécessite de travailler avec des séries de données critiquées et corrigées afin d'éviter des incohérences et de ne pas fausser les résultats des analyses ultérieures.

L'étape suivante a consisté à s'assurer de la cohérence et de la fiabilité des données de la station de Bafing Makana par une approche des doubles cumuls. Il s'agit de comparer les cumuls des débits mensuels (m^3/s) aux stations prises deux à deux. On détermine d'abord les périodes communes entre deux stations. On a préparé alors pour chacune des deux stations, sur la période

commune la séries de cumuls. La première valeur de la série est la valeur d’apport mensuel commune, la seconde valeur est la somme de la première valeur et de l’apport mensuel suivant, la troisième valeur est la somme de la seconde valeur et de l’apport mensuel suivant, etc. On porte ensuite sur un graphique les deux séries obtenues, l’une en abscisse et l’autre en ordonnées. Si les deux séries sont homogènes on obtient une droite au tracé d’autant plus net que la corrélation est forte entre les deux stations. Les stations sont alors identifiées comme bonnes. Par contre si des cassures apparaissent, cela peut s’expliquer par des valeurs relevées douteuses.

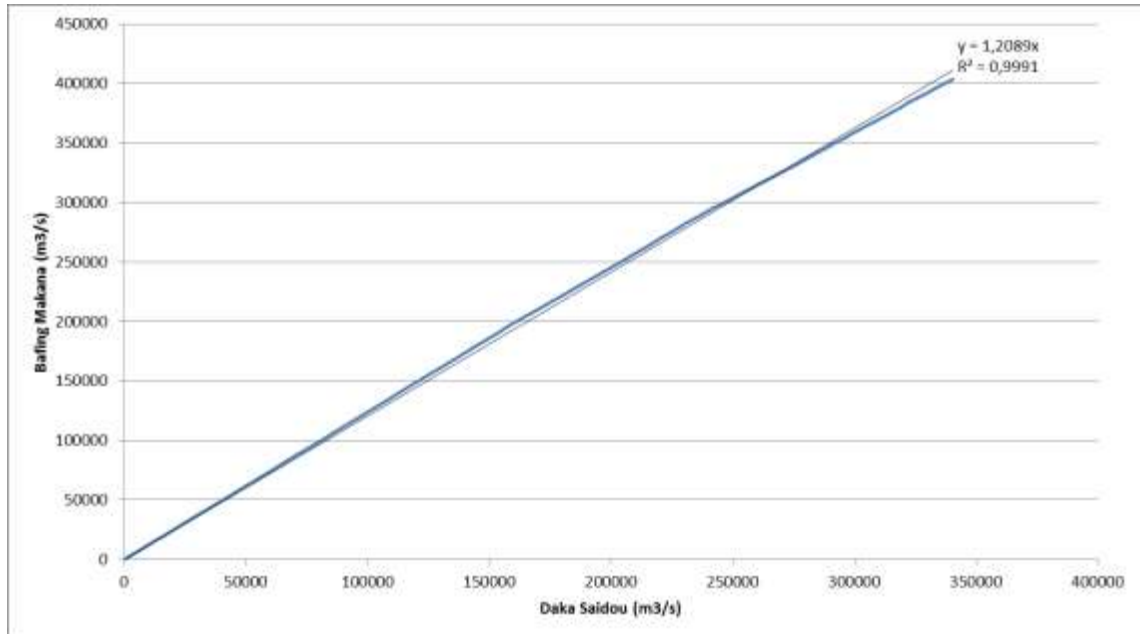


Figure 44. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Daka Saidou et de Bafing Makana sur le Bafing (juillet 1903 – mars 2017)

La Figure 44 montre l’exemple d’un double cumul dont la corrélation est bonne entre les stations de Daka Saidou (située en amont de Bafing Makana) et Bafing Makana sur le Bafing.

4.2.3.1.3. Régime des débits du Bafing à Bafing Makana

Une chronique de 113 années (1904 - 2016) a ainsi pu être reconstituée à l’aide des différentes sources d’information pour la station hydrométrique du Bafing à Bafing Makana.

La Figure 45 présente la variabilité des apports en eau annuels à Bafing Makana, le module et la médiane des apports annuels y sont également reportés.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

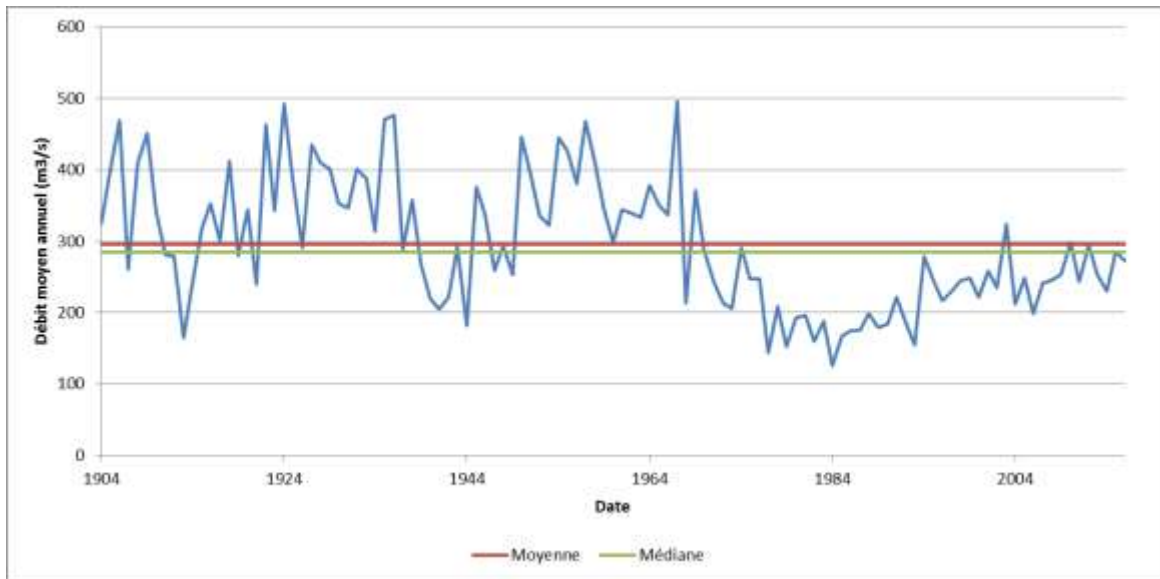


Figure 45. Débits moyens annuels du Bafing à Bafing Makana

Le module interannuel sur l'ensemble de la période (1904 – 2016) est de 295,1 m³/s (débit spécifique de 13,4 l/s/km²) à la station de Bafing Makana. Cette figure met clairement en évidence une cassure en 1970. Les années les plus humides se sont produites en 1967 et 1924 avec des débits annuels respectifs de 495,5 et 492,6 m³/s. L'année la plus sèche est 1984 avec un débit moyen annuel de 126,2 m³/s.

Nous nous sommes également intéressés à la variabilité saisonnière des débits. Ainsi, pour chacune des périodes identifiées, nous avons regardé la contribution des débits mensuels au débit annuel. Nous avons considéré 2 périodes différentes en raison de la cassure observée en 1970.

Tableau 33 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Bafing à Bafing Makana sur 2 périodes distinctes (1904-1969 ; 1970-2016)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avant	Débit (m ³ /s)	84.2	52.9	32.7	21.3	22.4	112.4	391.9	1074.5	1223.2	694.2	297.6	143.2
1970	Contribution (%)	2.0	1.3	0.8	0.5	0.5	2.7	9.4	25.9	29.5	16.7	7.2	3.5
Après	Débit (m ³ /s)	48.8	27.9	13.2	5.3	4.9	47.2	240.5	734.8	843.6	443.3	191.4	85.8
1970	Contribution (%)	1.8	1.0	0.5	0.2	0.2	1.8	9.0	27.3	31.4	16.5	7.1	3.2

Comme le montre le Tableau 33, les différences entre les débits d'une période à l'autre sont très importantes. Cependant, la contribution mensuelle au débit annuel reste globalement stable entre les 2 périodes, avec néanmoins une plus faible contribution en juin.

Les mois présentant les plus forts débits sont août et septembre (et octobre dans une moindre mesure). Les étiages sont particulièrement sévères de janvier à juin, période pendant laquelle les apports du Bafing sont très faibles.

La saisonnalité du Bafing à Bafing Makana peut donc se résumer ainsi :

- La saison sèche, de décembre à juin présente des étiages sévères, avec des apports faibles la majorité du temps ;
- La saison humide, de juillet à novembre, est caractérisée par une très forte variabilité d'une année sur l'autre. Les mois présentant les écoulements les plus importants s'étalent d'août à octobre, avec un maximum en septembre.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Il est intéressant de remarquer que sur les 2 périodes, les contributions mensuelles au débit annuel restent globalement stables malgré le déficit important sur la période récente, avec néanmoins une plus faible contribution en juin.

Une analyse fréquentielle des débits moyens annuels à Bafing Makana a été réalisée. En raison de la cassure observée en 1970, la série a été divisée en 2 échantillons. Les échantillons ont été ajustés à une loi de Galton (aussi appelée $\sqrt{\text{Gauss}}$) tels qu’illustré sur les Figure 46 et Figure 47.

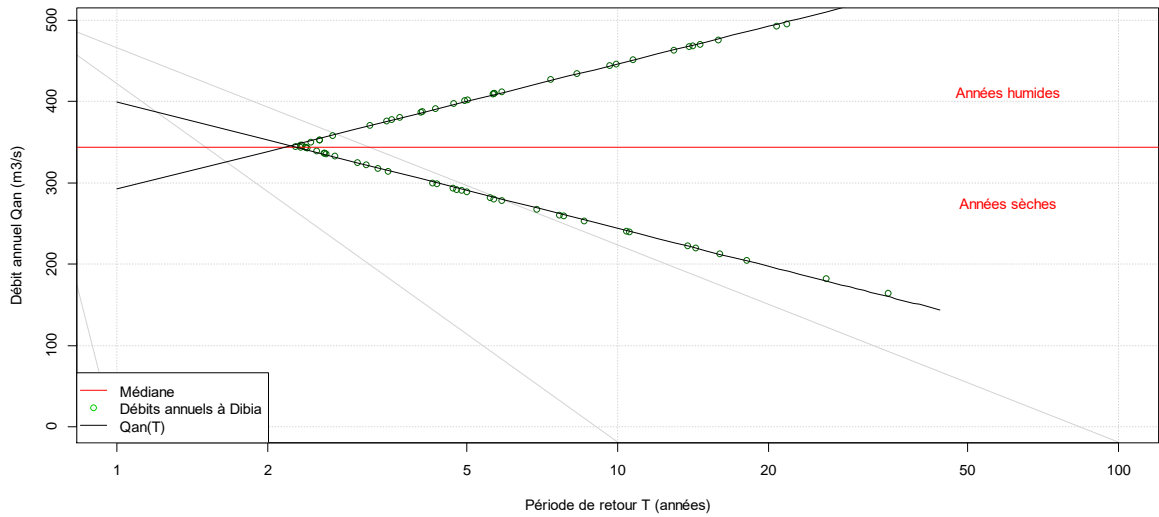


Figure 46. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bafing à Bafing Makana (1904-1969)

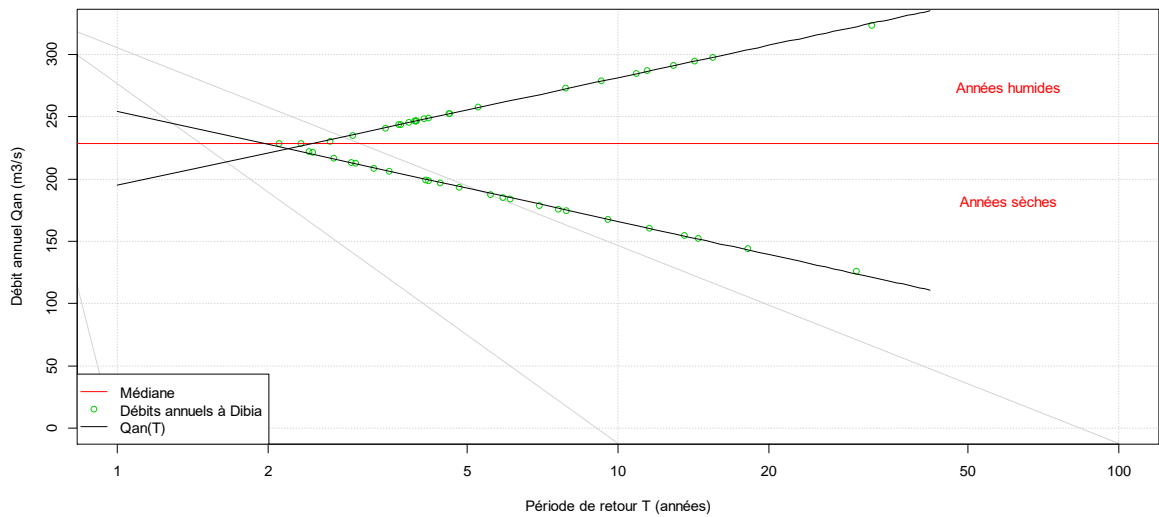


Figure 47. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bafing à Bafing Makana (1970-2016)

Les quantiles d’apports en eau annuels pour les 2 échantillons sont reportés dans le Tableau 34.

Tableau 34 – Quantiles d’apports en eau annuel Qan(T) (m³/s) sur les 2 périodes pour la station du Bafing à Bafing Makana

	Période de retour T	Qan 1904 - 1969	Qan 1970 – 2016
	années	m ³ /s	m ³ /s
Année sèche	100	98,8	83,9
	50	141,6	108,2
	20	198,8	140,6
	10	243,0	165,6
	5	289,0	191,6
Médiane	2	344,1	228,4
Année humide	5	401,7	256,0
	10	446,9	281,9
	20	490,3	306,8
	50	546,4	338,9
	100	588,5	363,0

Comme on peut le remarquer dans le Tableau 34, les différences sont importantes entre les deux échantillons retenus. On observe une réduction des débits de période de retour donnée. Cette réduction est de l’ordre de 15% pour une période de retour de 100 ans en année sèche à près de 40% pour une période de retour de 100 ans en année humide entre la période récente (1970 – 2016) et la période ancienne (1904 – 1969).

4.2.3.2. SB2- Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé

Dans l’actualisation de la Monographie, des données mensuelles de débits sont disponibles pour la station du Bafing à Dibia sur la période 1903 – 2011. Il s’agit de données naturelles jusqu’en juin 1987 puis influencées par le barrage de Manantali.

4.2.3.2.1. Simple cumul

Un test de simple cumul des apports journaliers a été réalisé sur la série à Dibia afin d’analyser la variabilité des apports sur le long terme.

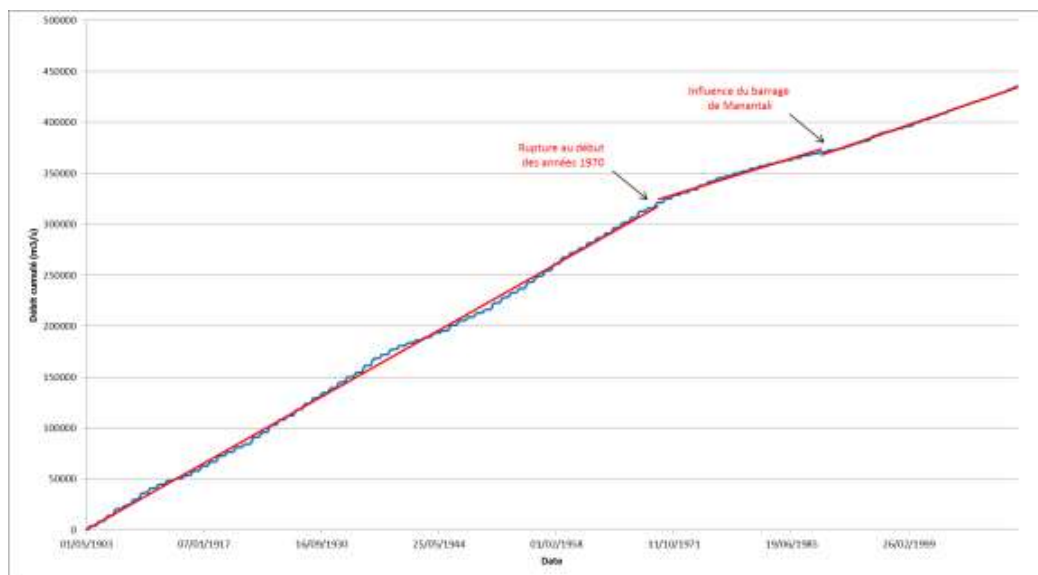


Figure 48. Simple cumul des débits mensuels du Bafing à Dibia (mai 1903 – novembre 2011)

La courbe des apports à la station de Dibia (Figure 48) est formée de paliers qui correspondent aux périodes de basses eaux entre décembre et mai où les apports sont faibles. Cette période correspond bien à la saison sèche identifiée lors de l'analyse des données pluviométriques.

Comme sur le Bafing amont, on remarque sur cette figure une cassure nette dans les débits au début des années 1970, rupture également mise en évidence sur les données pluviométriques. On observe également l'influence du barrage de Manantali à partir de l'année 1990. Ces tendances sont représentées par les droites rouges de pentes différentes.

4.2.3.2.2. Double cumul

Pour s'assurer de la cohérence et de la fiabilité des données de la station de Dibia, une approche des doubles cumuls a été réalisée. Cette approche a été présentée rapidement dans la partie précédente sur le Bafing amont (partie 4.2.3.1.2).

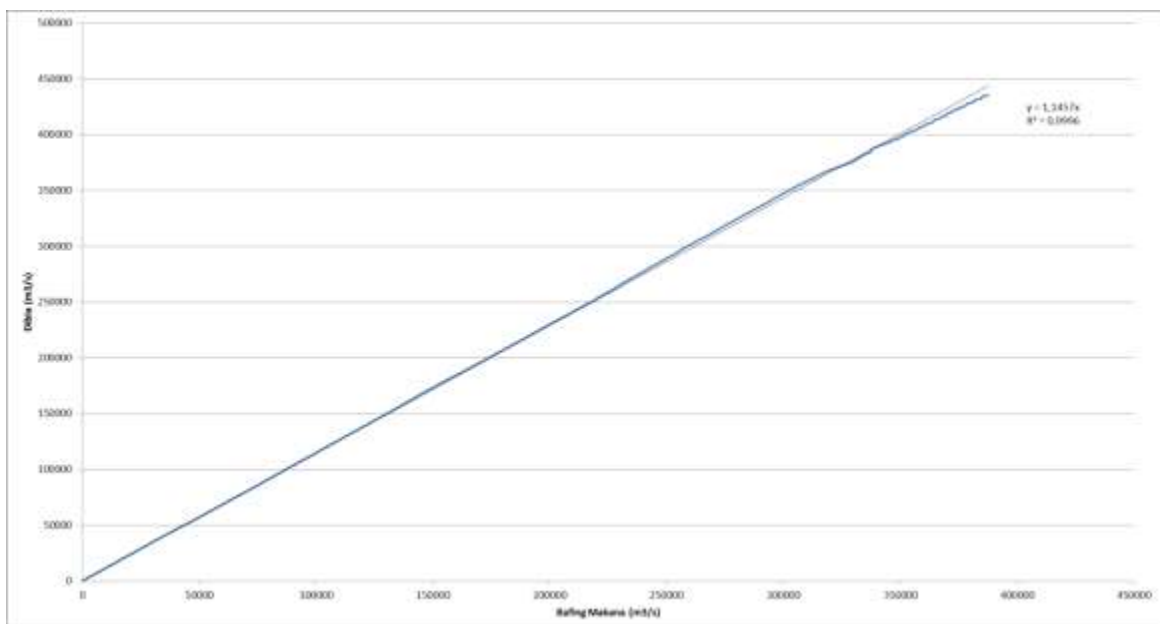


Figure 49. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Bafing Makana et de Dibia sur le Bafing (mai 1903 – novembre 2011)

La Figure 49 montre l'exemple d'un double cumul dont la corrélation est bonne entre les stations de Bafing Makana et de Dibia. On distingue une cassure sur la fin de la série qui correspond probablement à la mise en eau du barrage de Manantali (Bafing Makana étant situé en amont du barrage alors que Dibia est situé à l'aval).

4.2.3.2.3. Régime des débits du Bafing à Dibia

Une chronique de 107 années (1904 - 2010) a pu être reconstituée à l'aide des différentes sources d'information pour la station hydrométrique du Bafing à Dibia.

La Figure 50 présente la variabilité des apports en eau annuels à Dibia, le module et la médiane des apports annuels y sont également reportés.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

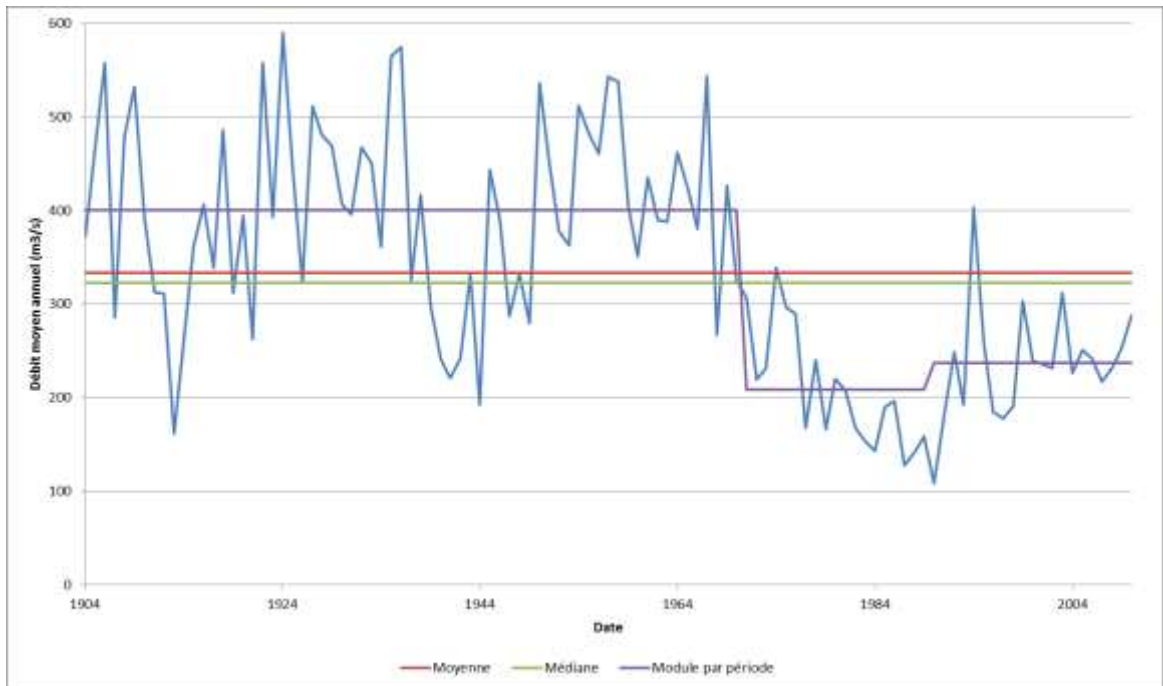


Figure 50. Débits moyens annuels du Bafing à Dibia

Le module interannuel sur l’ensemble de la période (1904 – 2010) est de 333,6 m³/s (débit spécifique de 10,0 l/s/km²) à la station de Dibia. Cette figure met clairement en évidence les cassures de 1970 et de 1990. Nous avons représenté en violet la moyenne des débits annuels sur les 3 périodes identifiées (1904-1969 ; 1970-1989 ; 1990-2010).

Les années les plus humides se sont produites en 1924 et 1936 avec des débits annuels respectifs de 590,4 et 574,4 m³/s. L’année la plus sèche est 1990 avec un débit moyen annuel de 108,4 m³/s. Avant la mise en place du barrage, l’année la plus sèche à Dibia est 1987 avec un débit moyen annuel de 127,5 m³/s.

Nous nous sommes également intéressés à la variabilité saisonnière des débits. Ainsi, pour chacune des périodes identifiées, nous avons regardé la contribution des débits mensuels au débit annuel. Nous avons considéré 2 périodes différentes en raison de la cassure observée en 1970.

Tableau 35 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Bafing à Dibia sur 2 périodes distinctes (1904-1969 ; 1970-2016)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avant 1970	Débit (m3/s)	65.4	35.2	18.2	8.8	7.3	84.3	412.2	1295.1	1550.5	860.7	334.3	133.7
	Contribution (%)	1.4	0.7	0.4	0.2	0.2	1.8	8.6	26.9	32.3	17.9	7.0	2.8
Après 1970	Débit (m3/s)	80.3	76.3	83.4	78.0	81.2	115.4	224.7	523.4	768.8	369.5	197.2	113.8
	Contribution (%)	3.0	2.8	3.1	2.9	3.0	4.3	8.3	19.3	28.3	13.6	7.3	4.2

Comme le montre le Tableau 35, les différences entre les débits d’une période à l’autre sont importantes. On remarque une augmentation des débits lors de la période sèche de décembre à juin sur la période récente. Il s’agit ici de l’influence du barrage de Manantali qui permet de maintenir un débit plus important dans la rivière pendant la saison sèche et d’écarter les crues de la saison humide. On remarque que le régime a grandement changé entre les 2 périodes avec des contributions mensuelles au débit annuel différentes pour les 2 périodes.

Les mois présentant les plus forts débits sont aout et septembre (et octobre dans une moindre mesure). Les étiages sont particulièrement sévères de février à mai avant 1970, période pendant laquelle les apports du Bafing sont très faibles.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

La saisonnalité du Bafing à Dibia peut donc se résumer ainsi :

- La saison sèche, de décembre à juin, présente des étiages sévères, avec des apports faibles la majorité du temps avant la mise en service du barrage de Manantali. A partir de 1990, les débits d’étiages sont soutenus.
- La saison humide, de juillet à novembre. Les mois présentant les écoulements les plus importants s’étalent d’août à octobre, avec un maximum en septembre. Le barrage de Manantali joue un rôle d’écrêteur de crues en réduisant les débits maximaux de la période humide.

Une analyse fréquentielle des débits moyens annuels à Dibia a été réalisée. En raison de la cassure observée en 1970, la série a été divisée en 2 échantillons. Il aurait été intéressant de diviser la période postérieure à 1970 en 2 échantillons (avant et après mise en eau du barrage de Manantali) mais la chronique disponible est trop courte pour réaliser un tel échantillonnage. Les échantillons ont été ajustés à une loi de Galton (aussi appelée $\sqrt{\text{Gauss}}$) tels qu’illustré sur les Figure 51 et Figure 52.

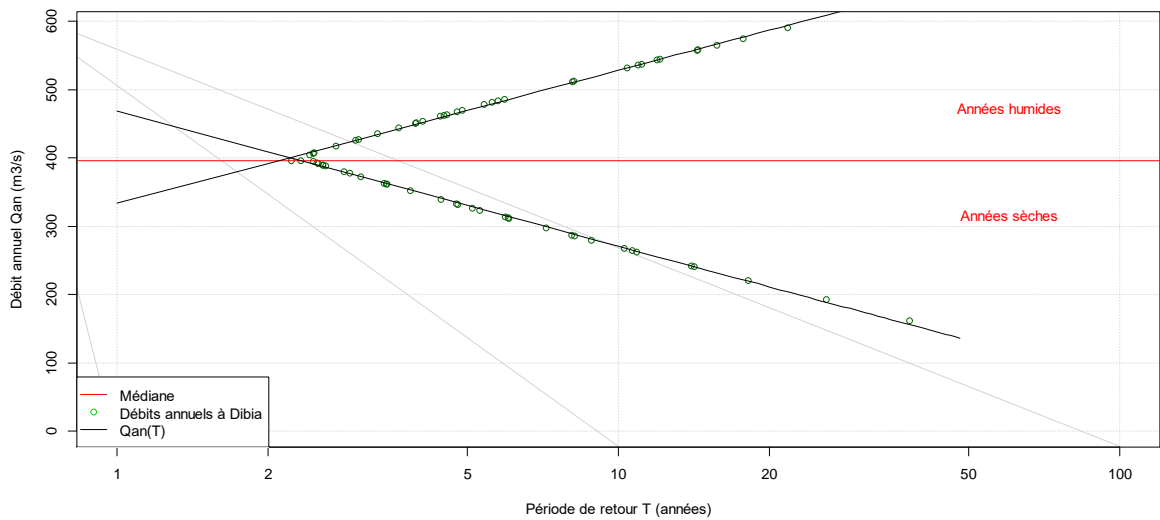


Figure 51. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bafing à Dibia (1904-1969)

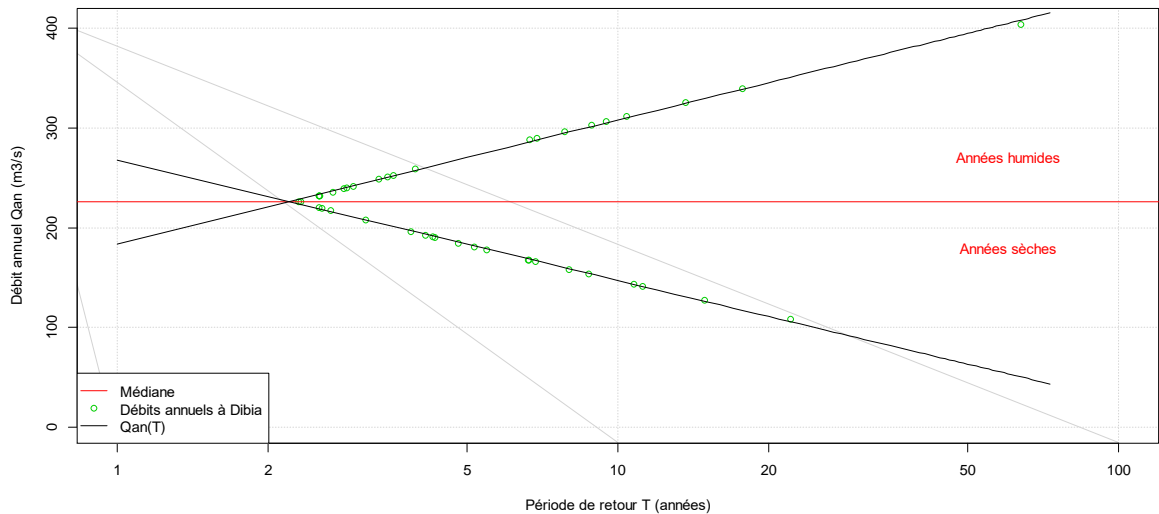


Figure 52. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bafing à Dibia (1970-2010)

Les quantiles d’apports en eau annuels pour les 2 échantillons sont reportés dans le Tableau 36.

Tableau 36 – Quantiles d'apports en eau annuel Qan(T) (m³/s) sur les 2 périodes pour la station du Bafing à Dibia

	Période de retour T	Qan 1904 - 1969	Qan 1970 – 2010
	années	m ³ /s	m ³ /s
Année sèche	100	85,6	36,7
	50	140,2	69,5
	20	213,0	113,3
	10	269,3	147,1
	5	328,0	182,3
Médiane	2	395,3	226,3
Année humide	5	471,4	272,2
	10	528,7	309,5
	20	583,8	345,3
	50	655,0	391,5
	100	708,4	426,2

Comme on peut le remarquer dans le tableau ci-dessus, les différences sont importantes entre les 2 échantillons retenus. On observe une réduction des débits pour une période de retour donnée. Cette réduction est de l'ordre de 57% pour une période de retour de 100 ans en année sèche à près de 40% pour une période de retour de 100 ans en année humide entre la période récente (1970 – 2010) et la période ancienne (1904 – 1969).

4.2.3.3. SB3- Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé

Sur la station du Bakoye à Oualia, nous disposons de données complètes sur la période mai 1903 – mars 2017.

4.2.3.3.1. Simple cumul

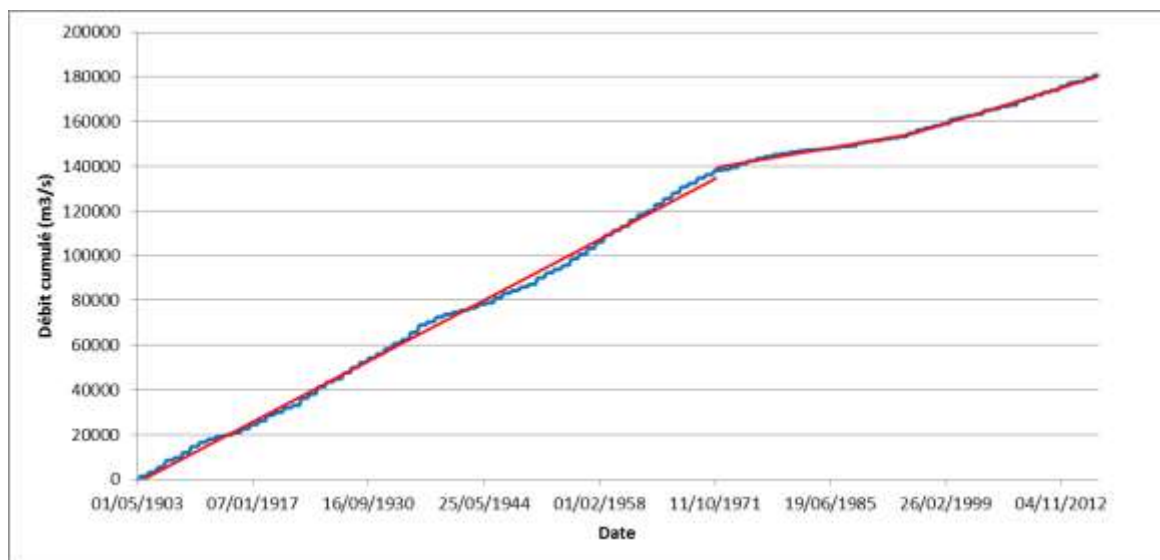


Figure 53. Simple cumul des débits mensuels du Bakoye à Oualia (mai 1903 – mars 2017)

La courbe des apports à la station du Bakoye à Oualia (Figure 53) est formée de paliers qui correspondent aux périodes de basses eaux entre novembre et juin pendant lesquelles le Bakoye est régulièrement asséché.

On remarque sur cette figure une cassure dans les débits en 1972. En 1994, il semblerait y avoir une nouvelle cassure avec une augmentation des débits. Ces deux ruptures ont également été mises en évidence sur les données pluviométriques. Cependant, la seconde rupture n'avait pu être confirmée car la série des pluies s'arrête en 2000. La chronique des débits permet donc de valider cette observation.

4.2.3.3.2. Double cumul

Pour s'assurer de la cohérence et de la fiabilité des données de la station à Oualia, une approche des doubles cumuls a été réalisée. Il convient de mettre en regard les débits à la station d'Oualia avec la somme des débits des stations du Bakoye à Toukoto et du Baoulé à Siramakana. Sur ces 2 dernières stations, nous disposons de données sur la période mai 1903 – avril 2012 d'après la monographie du BFS. Nous opérons donc le double cumul sur la période commune 1903 - 2012.

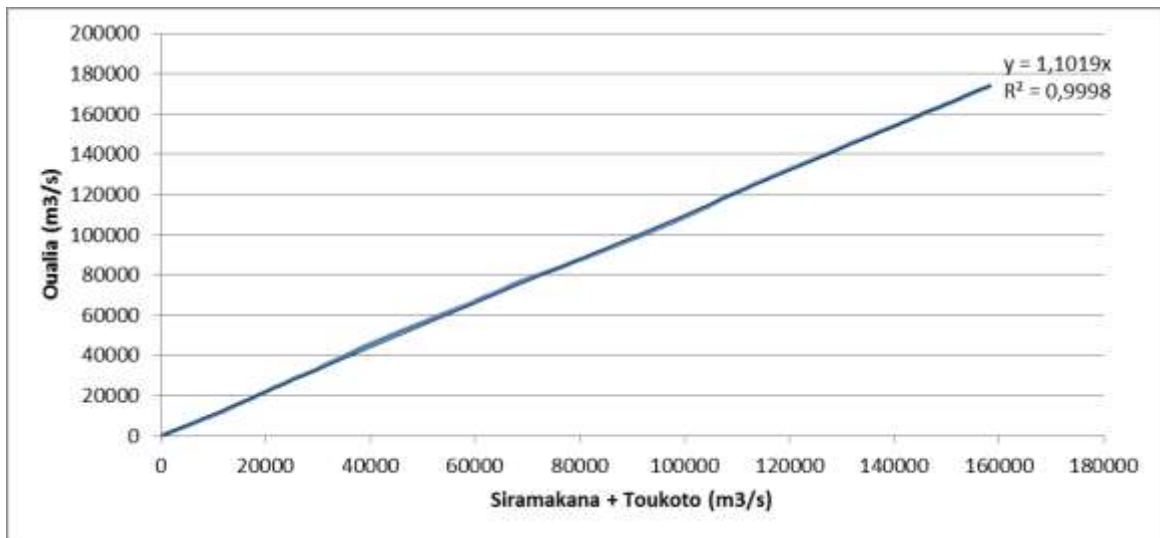


Figure 54. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Toukoto (Bakoye) + Siramakana (Baoulé) et d'Oualia (Bakoye) (mai 1903 – avril 2012)

La Figure 54 montre que la corrélation est bonne entre le débit mesuré à la station d'Oualia et le cumul des débits aux stations de Toukoto et Siramakana et permet donc de valider la série de données hydrométriques.

4.2.3.3.3. Régime des débits du Bakoye à Oualia

Une chronique de 113 années (1904 - 2016) a pu être reconstituée à l'aide des différentes sources d'information pour la station hydrométrique du Bakoye à Oualia.

La Figure 55 présente la variabilité des apports en eau annuels à Oualia, le module et la médiane des apports annuels y sont également reportés.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

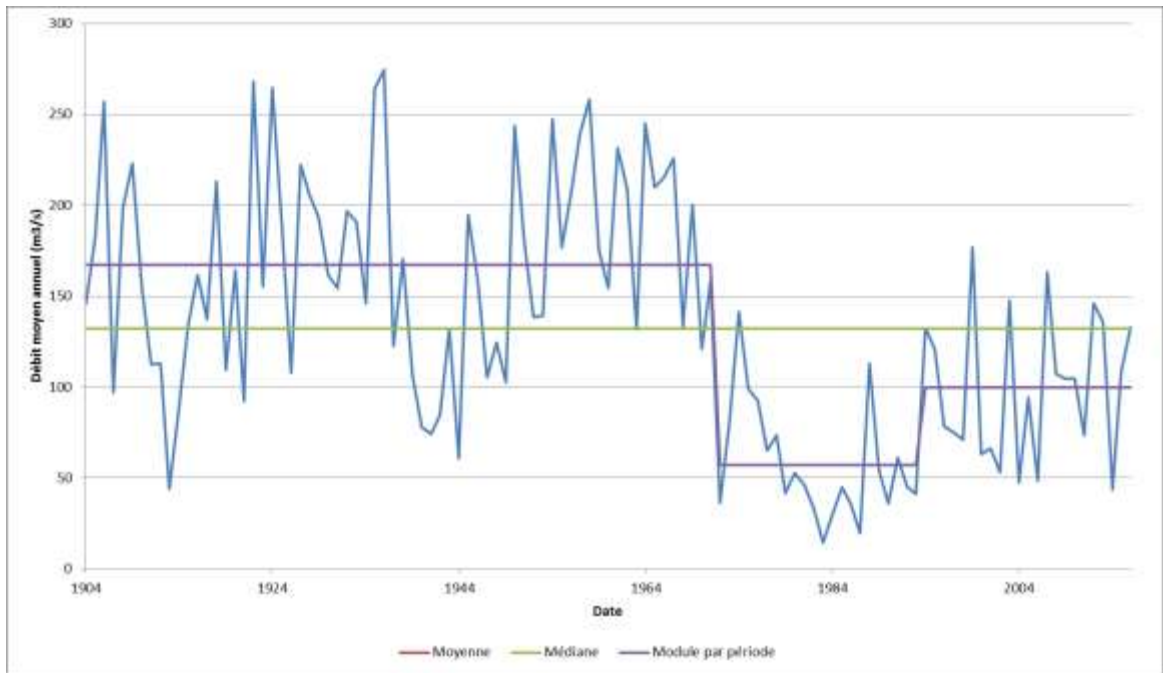


Figure 55. Débits moyens annuels du Bakoye à Oualia

Le module interannuel et la médiane sur l’ensemble de la période (1904 – 2010) sont respectivement de 132,2 m³/s (débit spécifique de 1,56 l/s/km²) et 132 m³/s à la station de Dibia. Les droites représentant ces deux valeurs sont confondues sur la Figure 55. Cette figure met clairement en évidence les cassures de 1972 et de 1994. Nous avons représenté en violet la moyenne des débits annuels sur les trois périodes identifiées (1904-1971 ; 1972-1993 ; 1994-2016).

Les années les plus humides se sont produites en 1936 et 1922 avec des débits annuels respectifs de 274,7 et 268,3 m³/s. L’année la plus sèche est 1983 avec un débit moyen annuel de 14,4 m³/s.

Nous nous sommes également intéressés à la variabilité saisonnière des débits. Ainsi, pour chacune des périodes identifiées, nous avons regardé la contribution des débits mensuels au débit annuel. Nous avons considéré 3 périodes différentes en raison des cassures observées en 1972 et 1994.

Tableau 37 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Bakoye à Oualia sur 3 périodes distinctes (1904-1971 ; 1972-1993 ; 1994-2010)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avant 1972	Débit (m ³ /s)	17.4	8.7	3.7	1.3	0.6	22.0	137.6	597.4	763.7	328.2	93.1	35.4
	Contribution (%)	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	1.1	6.9	29.7	38.0	16.3	4.6	1.8
Entre 1972 et 1994	Débit (m ³ /s)	1.0	0.2	0.1	0.0	0.3	13.5	89.8	236.7	247.8	75.8	18.4	3.3
	Contribution (%)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	13.1	34.5	36.1	11.0	2.7	0.5
Après 1994	Débit (m ³ /s)	2.3	0.7	0.2	0.0	0.1	9.7	105.3	424.8	471.0	145.4	30.3	7.6
	Contribution (%)	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	8.8	35.5	39.3	12.1	2.5	0.6

Comme le montre le Tableau 37, les différences entre les débits d’une période à l’autre sont importantes. Conformément à ce qui a été observé précédemment, on met en évidence la reprise des écoulements après 1994. On remarque un changement dans la saisonnalité des débits à partir de 1972 avec une contribution mensuelle au débit annuel plus importante en juillet et août.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Les mois présentant les plus forts débits sont août et septembre. Les étiages sont particulièrement sévères de décembre à juin, période pendant laquelle les apports du Bakoye à Oualia sont très faibles.

La saisonnalité du Bakoye à Oualia peut donc se résumer ainsi :

- La saison sèche, de décembre à juin présente des étiages sévères, avec des apports faibles la majorité du temps avant la mise en service du barrage de Manantali. A partir de 1990, les débits d'étiages sont soutenus.
- La saison humide, de juillet à novembre. Les mois présentant les écoulements les plus importants s'étalent d'août à octobre, avec un maximum en septembre. Depuis 1972, on observe une part plus importante des débits du mois d'août au débit annuel. En contrepartie, on observe une part moins importante des débits du mois de novembre au débit annuel.

Une analyse fréquentielle des débits moyens annuels à Oualia a été réalisée. En raison des cassures observées en 1972 et 1994, la série a été divisée en 3 échantillons. Les échantillons ont été ajustés à une loi de Galton (aussi appelée $\sqrt{\text{Gauss}}$) tels qu'illustrés sur les Figure 56, Figure 57 et Figure 58.

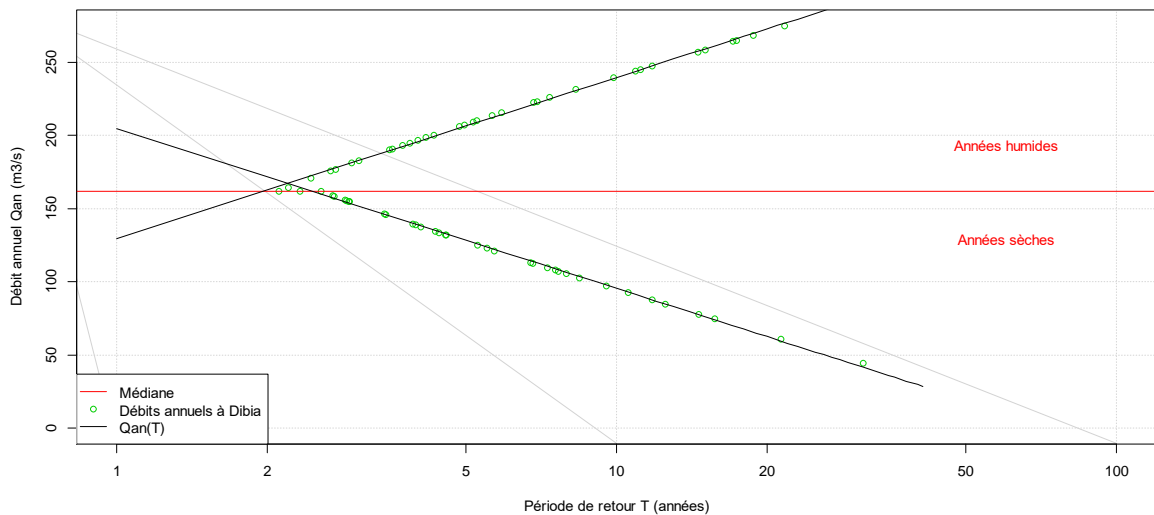
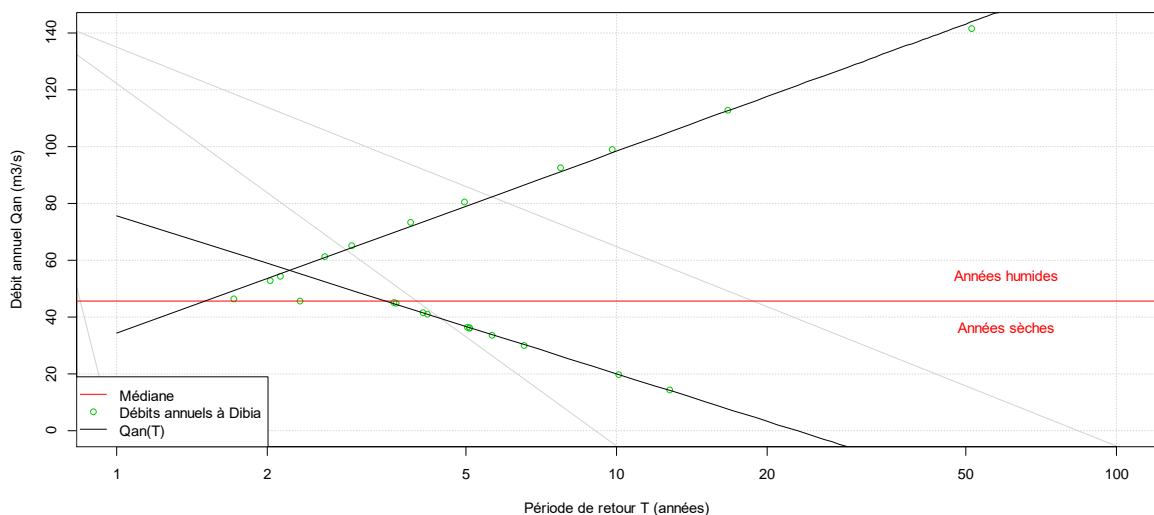


Figure 56. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bakoye à Oualia (1904-1971)



PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Figure 57. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bakoye à Oualia (1972-1993)

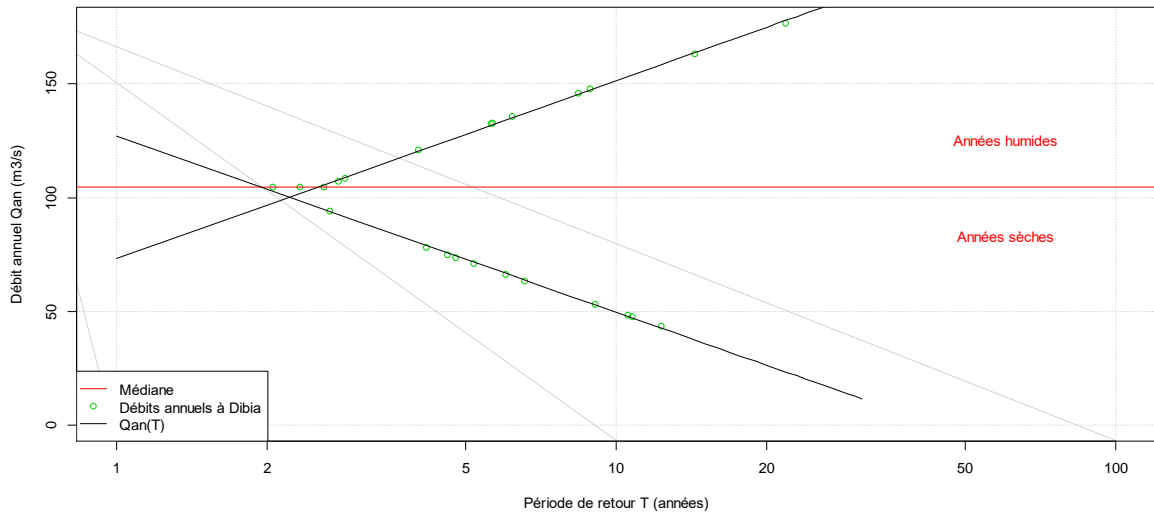


Figure 58. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Bakoye à Oualia (1994-2016)

Les quantiles d’apports en eau annuels pour les 3 échantillons sont reportés dans le Tableau 38.

Tableau 38 – Quantiles d’apports en eau annuel Qan(T) (m³/s) sur les 3 périodes pour la station du Bakoye à Oualia

	Période de retour T	Qan 1904 - 1971	Qan 1972 – 1993	Qan 1994 – 2016
	années	m³/s	m³/s	m³/s
Année sèche	100	0	0	0
	50	23,4	0,0	1,2
	20	63,7	4,2	28,7
	10	94,9	20,1	50,0
	5	127,3	36,6	72,2
Médiane	2	161,8	45,7	104,5
Année humide	5	207,5	80,7	128,6
	10	239,9	99,5	151,7
	20	271,0	117,5	173,9
	50	311,3	140,8	202,6
	100	341,4	158,3	224,2

Comme on peut le remarquer dans le tableau ci-dessus, les différences sont importantes d’un échantillon à l’autre. Une réduction des débits est observée pour une période de retour donnée entre la période ancienne « humide » et la période « sèche ». Cette réduction est de l’ordre de 54% pour une période de retour de 100 ans en année humide. La période récente (1994 – 2016) montre une augmentation des débits du Bakoye à Oualia.

4.2.3.4. SB4- La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal

Pour l'étude hydrologique de la Falémé, la station de Kidira ($S = 28\,900\text{ km}^2$ soit la quasi-totalité du bassin versant de la rivière) a été retenue. Par reconstitution à partir des différents jeux de données à notre disposition, nous avons pu obtenir une chronique complète sur la période mai 1903 – mars 2017.

4.2.3.4.1. Simple cumul

Afin d'analyser la variabilité sur le long terme des apports, un test de simple cumul des apports journaliers a été réalisé sur la série à Kidira.

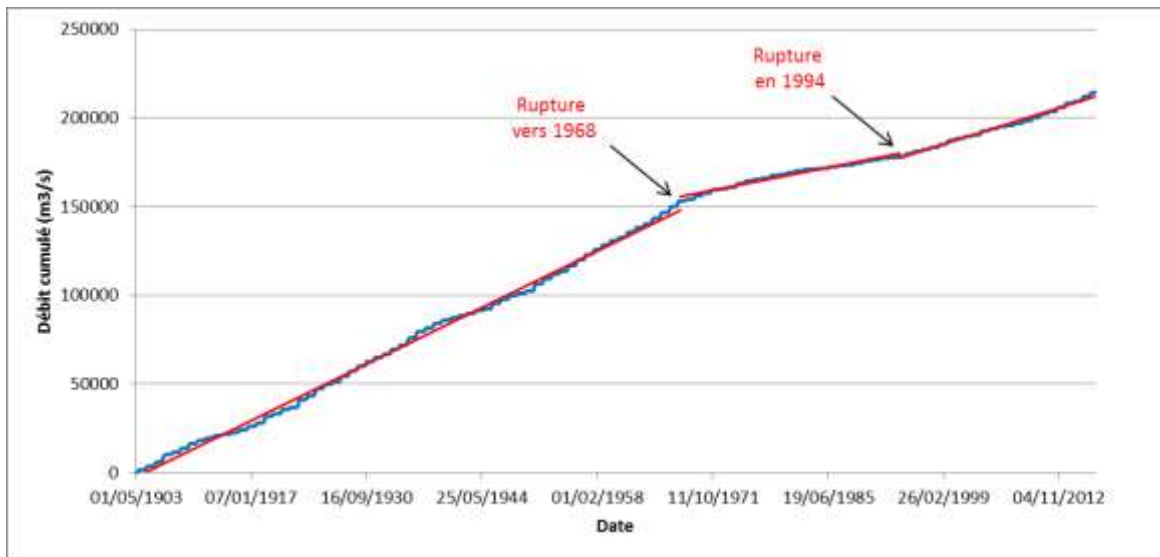


Figure 59. Simple cumul des débits mensuels du Falémé à Kidira (mai 1903 – mars 2017)

La courbe des apports à la station de Kidira (Figure 59) présente une forme particulière formée de paliers qui correspondent aux périodes de basses eaux entre décembre et juin où les apports sont faibles.

Sur cette figure, on remarque une cassure nette dans les débits vers l'année 1968, rupture également mise en évidence sur les données pluviométriques. Une rupture moins nette est identifiée en 1994 avec une augmentation des apports. Ces ruptures sont représentées par les 3 droites rouges de pentes différentes sur la figure ci-dessus.

4.2.3.4.2. Double cumul

On s'assure de la cohérence et de la fiabilité des données de la station de Kidira par une approche des doubles cumuls avec la station de Gourbassi ($S = 17\,100\text{ km}^2$), située en amont de Kidira sur la Falémé et pour laquelle des données sont disponibles de juillet 1903 à mars 2017.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

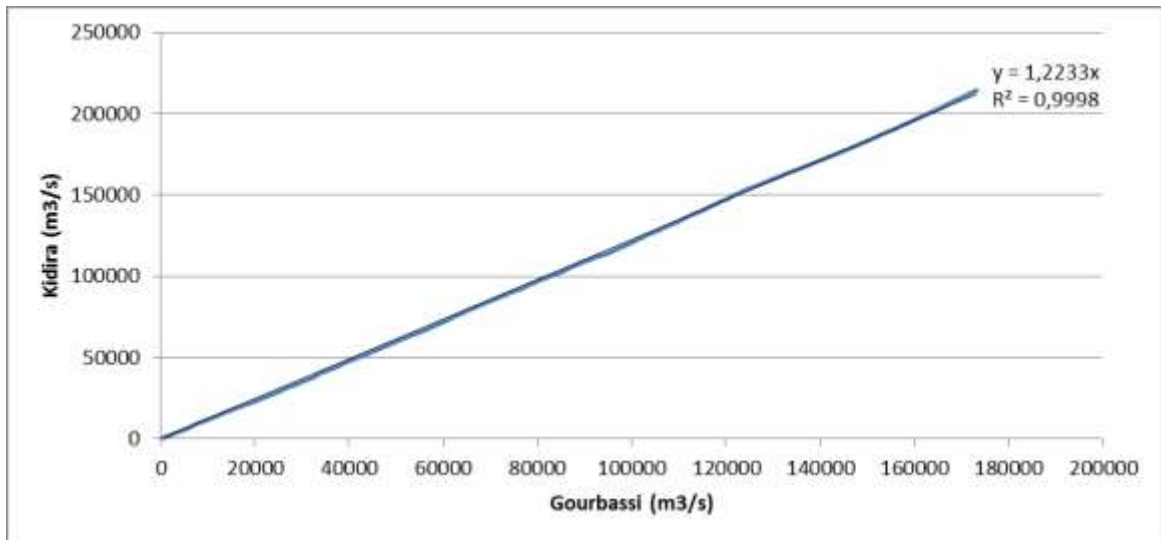


Figure 60. Double cumulé sur les débits mensuels aux stations de Gourbassi et de Kidira sur la Falémé (juillet 1903 – mars 2017)

La Figure 60 montre le double cumulé dont la corrélation est bonne entre les stations de Gourbassi et de Kidira et permet de valider les données hydrométriques de la station de la Falémé à Kidira.

4.2.3.4.3. Régime des débits de la Falémé à Kidira

Une chronique de 113 années (1904 - 2016) a pu être reconstituée à l'aide des différentes sources d'information pour la station hydrométrique de la Falémé à Kidira.

La Figure 61 présente la variabilité des apports en eau annuels à Kidira, le module et la médiane des apports annuels y sont également reportés.

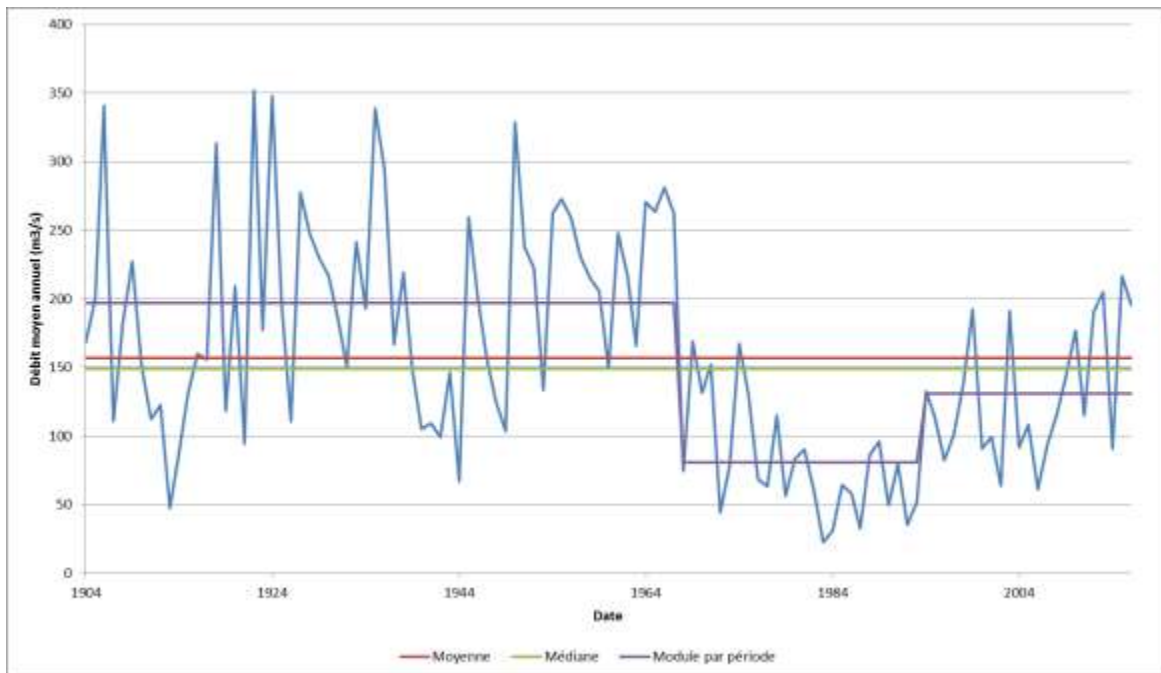


Figure 61. Débits moyens annuels du Falémé à Kidira

Le module interannuel sur l'ensemble de la période (1904 – 2016) est de 156,8 m³/s (débit spécifique de 5,43 l/s/km²) à la station de Kidira. Cette figure met clairement en évidence la

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

cassure de 1968 mais également celle de 1994. La droite violette qui représente la moyenne des débits annuels sur les différentes périodes identifiées confirme ces observations. Les années les plus humides se sont produites en 1922 et 1924 avec des débits annuels respectifs de 352,1 m³/s et 347,7 m³/s. L'année la plus sèche est 1983 avec un débit moyen annuel de 22,6 m³/s.

Nous nous sommes également intéressés à la variabilité saisonnière des débits. Ainsi, pour chacune des périodes identifiées, nous avons regardé la contribution des débits mensuels au débit annuel. Nous avons considéré 3 périodes différentes en raison des cassures observées en 1968 et 1994.

Tableau 39 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits de la Falémé à Kidira sur 3 périodes distinctes (1904-1967 ; 1968-1993 ; 1994-2016)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avant 1968	Débit (m ³ /s)	17.7	7.5	2.3	0.4	0.6	17.5	131.6	676.3	966.8	401.3	104.9	39.6
	Contribution (%)	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.7	5.6	28.6	40.9	17.0	4.4	1.7
Entre 1968 et 1994	Débit (m ³ /s)	5.7	2.4	0.8	0.3	0.2	5.2	67.5	317.6	384.1	134.8	35.1	11.4
	Contribution (%)	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.5	7.0	32.9	39.8	14.0	3.6	1.2
Après 1994	Débit (m ³ /s)	10.6	4.8	1.8	0.3	0.0	4.3	91.8	434.5	671.1	257.2	67.9	25.8
	Contribution (%)	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.3	5.8	27.7	42.7	16.4	4.3	1.6

Comme le montre le Tableau 39, les différences entre les débits d'une période à l'autre sont importantes. Conformément à ce qui a été observé précédemment, on met en évidence la reprise des écoulements après 1994. Sur la période entre 1972 et 1994, on remarque un léger changement de la saisonnalité des débits. Ainsi, les débits sont un peu plus importants en juillet et août et diminuent en septembre et octobre. Cependant, à partir de 1994, on retrouve des contributions mensuelles au débit annuel sensiblement similaires à celles d'avant 1968.

Les mois présentant les plus forts débits sont août et septembre. Les étiages sont particulièrement sévères de janvier à juin, période pendant laquelle les apports de la Falémé à Kidira sont très faibles.

La saisonnalité de la Falémé à Kidira peut donc se résumer ainsi :

- La saison sèche, de décembre à juin, présente des étiages sévères, avec des apports faibles notamment sur la période de janvier à juin ;
- La saison humide, de juillet à novembre. Les mois présentant les écoulements les plus importants s'étalent d'août à octobre, avec un maximum en septembre.

Une analyse fréquentielle des débits moyens annuels à Kidira a été réalisée. En raison des cassures observées en 1968 et 1994, la série a été divisée en 3 échantillons. Les échantillons ont été ajustés à une loi de Galton (aussi appelée $\sqrt{\text{Gauss}}$) tels qu'illustrés sur les Figure 62, Figure 63 et Figure 64.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

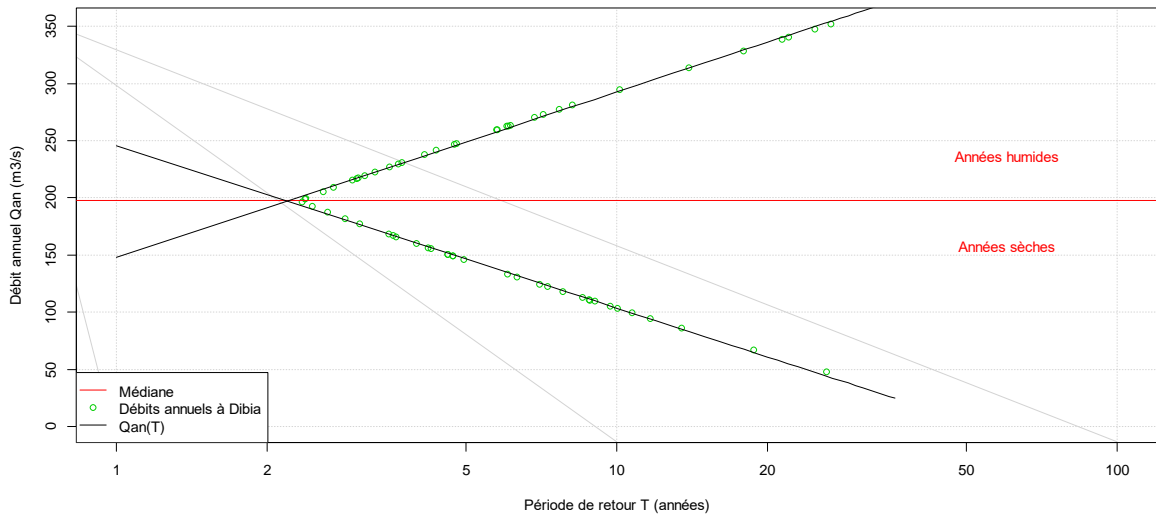


Figure 62. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Falémé à Kidira (1904-1967)

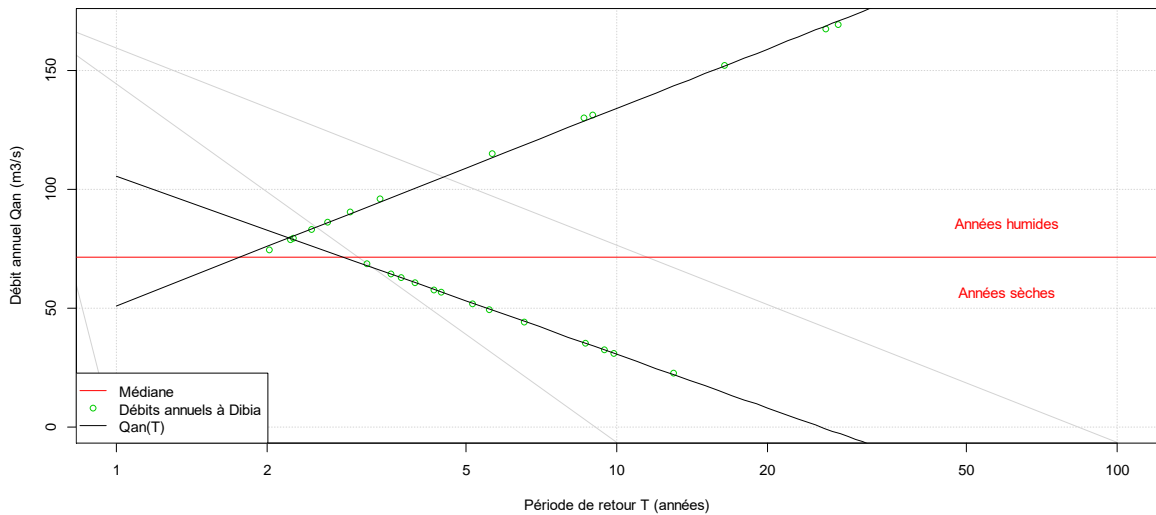


Figure 63. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Falémé à Kidira (1968-1993)

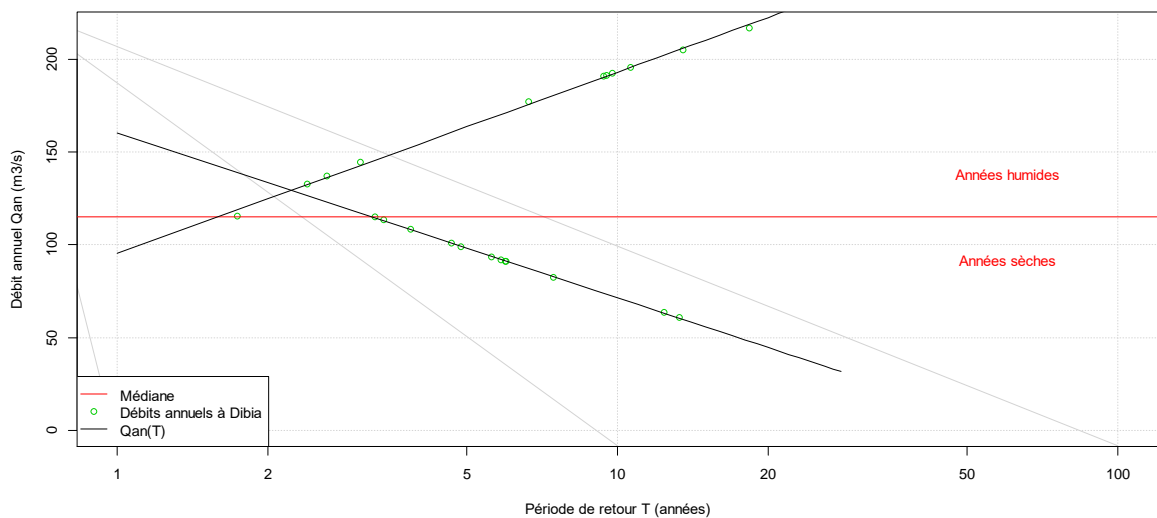


Figure 64. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Falémé à Kidira (1994-2016)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Les quantiles d'apports en eau annuels pour les 3 échantillons sont reportés dans le Tableau 40.

Tableau 40 – Quantiles d'apports en eau annuels Qan(T) (m³/s) sur les 3 périodes pour la station du Falémé à Kidira

	Période de retour T	Qan 1904 - 1967	Qan 1968 – 1993	Qan 1994 – 2016
	<i>années</i>	<i>m³/s</i>	<i>m³/s</i>	<i>m³/s</i>
Année sèche	100	0,0	0,0	0,0
	50	11,0	0,0	13,3
	20	63,1	9,4	46,1
	10	103,4	30,7	71,5
	5	145,3	52,8	97,9
Médiane	2	197,8	71,5	115,2
Année humide	5	250,5	110,7	165,5
	10	293,6	135,1	193,3
	20	334,9	158,5	220,0
	50	388,4	188,7	254,5
	100	428,6	211,4	280,4

Comme on peut le remarquer dans le Tableau 40, les différences sont importantes entre les 3 échantillons retenus. On observe une réduction des débits de période de retour donnée entre la période « sèche » (1968 – 1994) et la période ancienne « humide » (1904 – 1967). Le débit de période de retour 100 ans en année humide a été réduit d'environ 50% entre ces 2 périodes. La période récente montre une augmentation des débits de période de retour donnée.

4.2.3.5. SB5- Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel

Pour l'étude hydrologique du Sénégal à Bakel, la station de Bakel (S = 218 000 km²) a naturellement été retenue. Par reconstitution à partir des différents jeux de données à notre disposition, nous avons pu obtenir une chronique complète sur la période mai 1903 – mars 2017.

4.2.3.5.1. Simple cumul

Afin d'analyser la variabilité sur le long terme des apports, un test de simple cumul des apports journaliers a été réalisé sur la série à Bakel.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

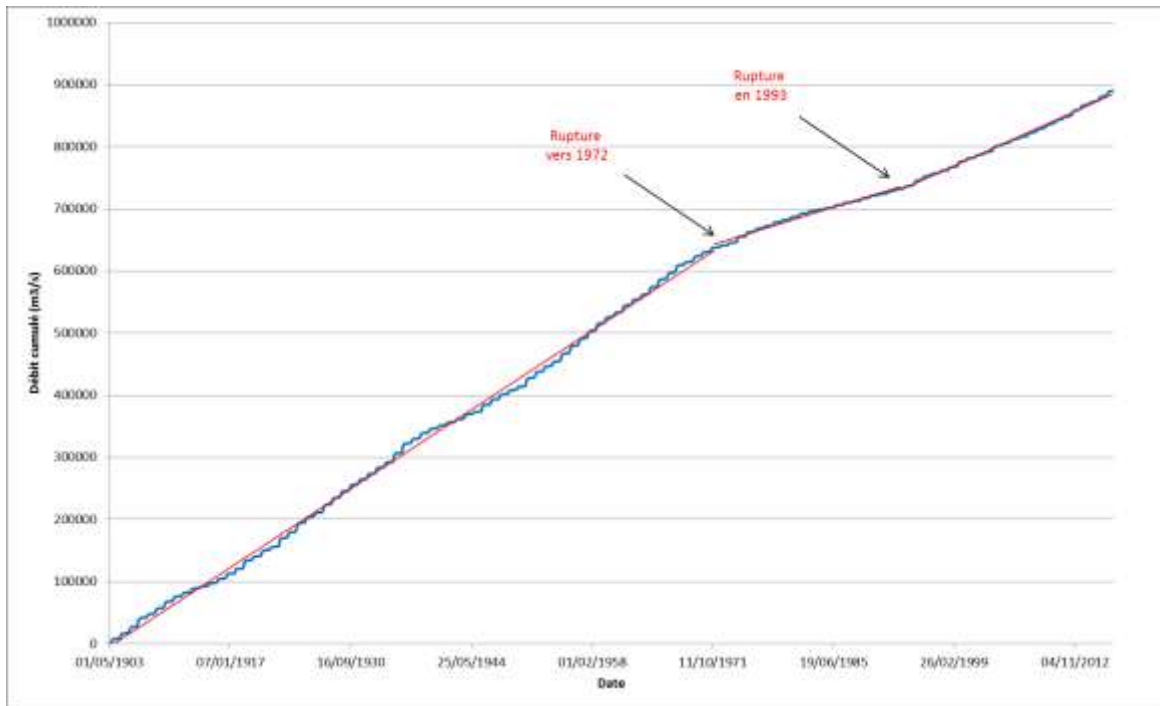


Figure 65. Simple cumulé des débits mensuels du Sénégal à Bakel (mai 1903 – mars 2017)

La courbe des apports à la station de Bakel (Figure 65) présente une forme particulière formée de paliers, qui correspondent aux périodes de basses eaux entre novembre et juin où les apports sont faibles. A partir de 1988, la mise en place du barrage de Manantali permet de maintenir un débit plus élevé durant la saison sèche.

Sur cette figure, on remarque une cassure dans les débits vers l'année 1972. Une rupture moins nette est mise en évidence en 1993 avec une augmentation des apports qui pourrait être imputable à la mise en eau du barrage de Manantali en amont mais également à l'augmentation des débits observée sur la quasi-totalité des bassins en amont étudiés précédemment. Ces ruptures sont représentées par les 3 droites rouges de pentes différentes sur la figure ci-dessus.

4.2.3.5.2. Double cumul

On s'assure de la cohérence et de la fiabilité des données de la station de Bakel par une approche des doubles cumuls avec le cumul des débits des stations de Kayes sur le Sénégal (situé en amont de Bakel et de la confluence avec la Falémé) et de Kidira sur la Falémé. La série de Kayes n'est complète qu'à partir de juin 1953. Le double cumul sera donc réalisé sur la période juin 1953 – mars 2017.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

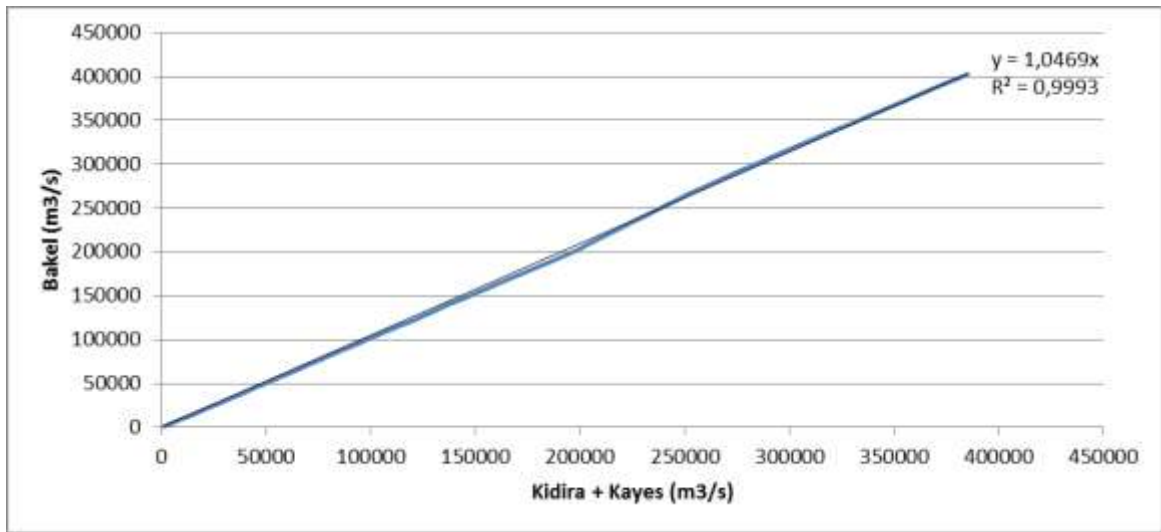


Figure 66. Double cumul sur les débits mensuels aux stations de Kidira (Falémé) + Kayes (Sénégal) et de Bakel (Sénégal) (juin 1953 – mars 2017)

La Figure 66 montre le double cumul dont la corrélation est bonne entre les débits cumulés de Kayes et Kidira et ceux mesurés à la station de Bakel et permet donc de confirmer les données hydrométriques de la station du Sénégal à Bakel.

4.2.3.5.3. Régime des débits du Sénégal à Bakel

Une chronique de 113 années (1904 - 2016) a pu être reconstituée à l’aide des différentes sources d’information pour la station hydrométrique du Sénégal à Bakel.

La Figure 67 présente la variabilité des apports en eau annuels à Bakel, le module et la médiane des apports annuels y sont également reportés.

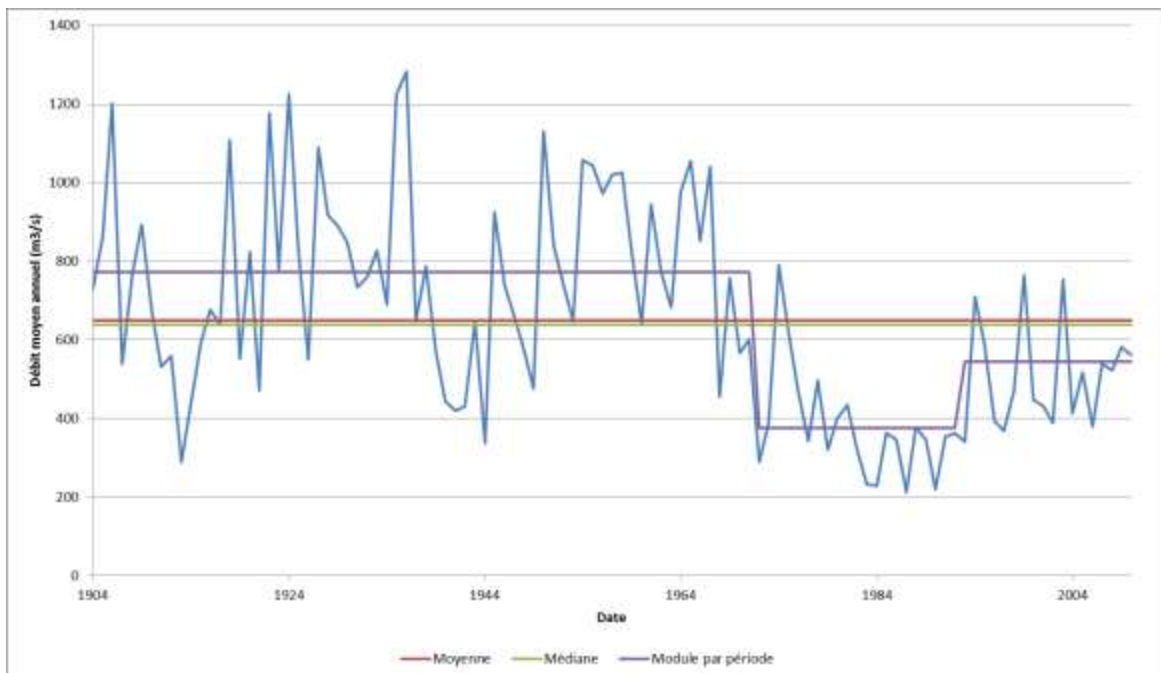


Figure 67. Débits moyens annuels du Sénégal à Bakel

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Le module interannuel sur l'ensemble de la période (1904 – 2016) est de 650,1 m³/s (débit spécifique de 2,98 l/s/km²) à la station de Bakel. Cette figure met clairement en évidence la cassure de 1972 mais également celle de 1993. La droite violette qui représente la moyenne des débits annuels sur les différentes périodes identifiées appuie ces observations. Les années les plus humides se sont produites en 1936 et 1924 avec des débits annuels respectifs de 1281,9 m³/s et 1225,8 m³/s. L'année la plus sèche est 1987 avec un débit moyen annuel de 213,2 m³/s.

Nous nous sommes également intéressés à la variabilité saisonnière des débits. Ainsi, pour chacune des périodes identifiées, nous avons regardé la contribution des débits mensuels au débit annuel. Nous avons considéré trois périodes différentes en raison des cassures observées en 1972 et 1993.

Tableau 41 – Variabilité mensuelle interannuelle des débits du Sénégal à Bakel sur trois périodes distinctes (1904-1971 ; 1972-1992 ; 1993-2016)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avant 1972	Débit (m3/s)	159.1	91.0	46.5	19.1	7.5	95.7	648.5	2407.0	3341.9	1601.7	568.1	275.4
	Contribution (%)	1.7	1.0	0.5	0.2	0.1	1.0	7.0	26.0	36.1	17.3	6.1	3.0
Entre 1972 et 1993	Débit (m3/s)	68.4	43.4	34.0	23.6	24.8	56.0	382.5	1184.4	1563.6	726.7	290.1	121.2
	Contribution (%)	1.5	1.0	0.8	0.5	0.5	1.2	8.5	26.2	34.6	16.1	6.4	2.7
Après 1993	Débit (m3/s)	180.4	175.7	192.5	196.9	200.0	249.5	549.2	1336.8	2016.7	820.3	380.3	234.7
	Contribution (%)	2.8	2.7	2.9	3.0	3.1	3.8	8.4	20.5	30.9	12.6	5.8	3.6

Comme le montre le Tableau 41, les différences entre les débits d'une période à l'autre sont importantes. On remarque une augmentation des débits lors de la période sèche de décembre à juin sur la période récente et une diminution des débits lors de la période humide d'août à novembre notamment. Il s'agit ici de l'influence du barrage de Manantali qui permet de maintenir un débit plus important dans le fleuve pendant la saison sèche et d'écarter les crues de la saison humide. Avant la mise en service du barrage, on remarque une diminution importante des débits mensuels moyens entre avant et après 1972. Cependant, la saisonnalité du débit est conservée.

Les mois présentant les plus forts débits sont août et septembre (et octobre dans une moindre mesure). Les étiages sont particulièrement sévères entre mars et mai avant la mise en service du barrage de Manantali.

La saisonnalité du fleuve Sénégal à Bakel peut donc se résumer ainsi :

- La saison sèche, de décembre à juin, présente des étiages sévères, avec des apports faibles la majorité du temps avant la mise en service du barrage de Manantali, particulièrement de mars à mai. A partir de 1990, les débits d'étiages sont soutenus ;
- La saison humide, de juillet à novembre. Les mois présentant les écoulements les plus importants s'étalent d'août à octobre, avec un maximum en septembre. Le barrage de Manantali joue un rôle d'écarter de crues en réduisant les débits maximaux de la période humide.

Une analyse fréquentielle des débits moyens annuels à Bakel a été réalisée. En raison des cassures observées en 1972 et 1993, la série a été divisée en 3 échantillons. Les échantillons ont été ajustés à une loi de Galton (aussi appelée $\sqrt{\text{Gauss}}$) tels qu'illustré sur les Figure 68, Figure 69 et Figure 70.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

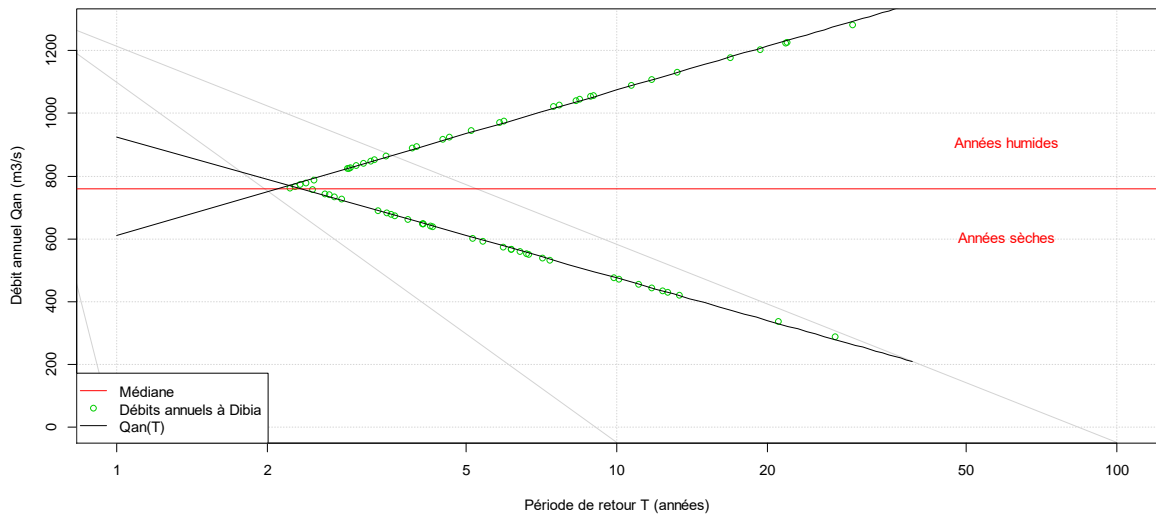


Figure 68. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Sénégal à Bakel (1904-1971)

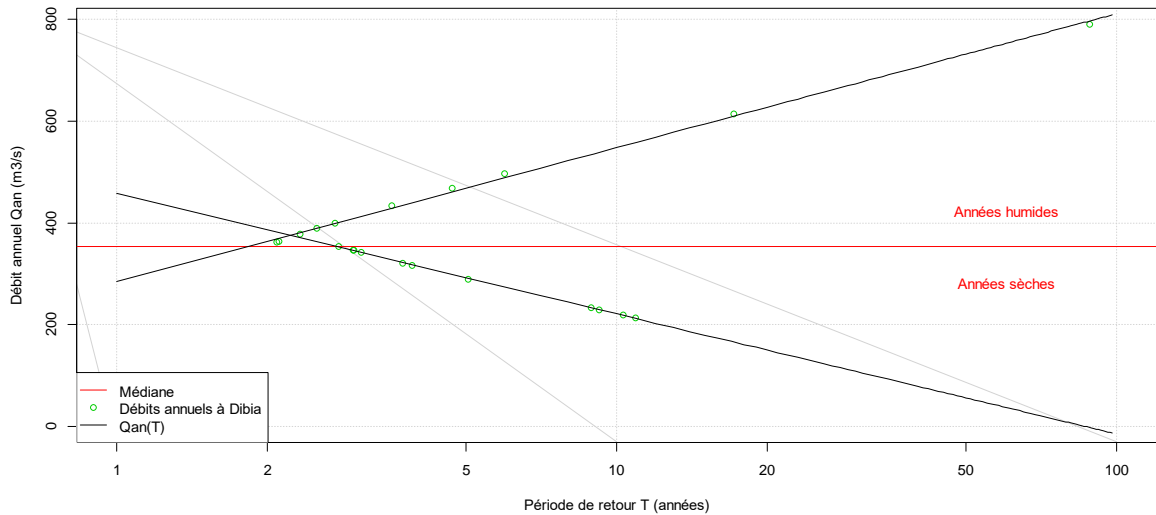


Figure 69. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Sénégal à Bakel (1972-1992)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

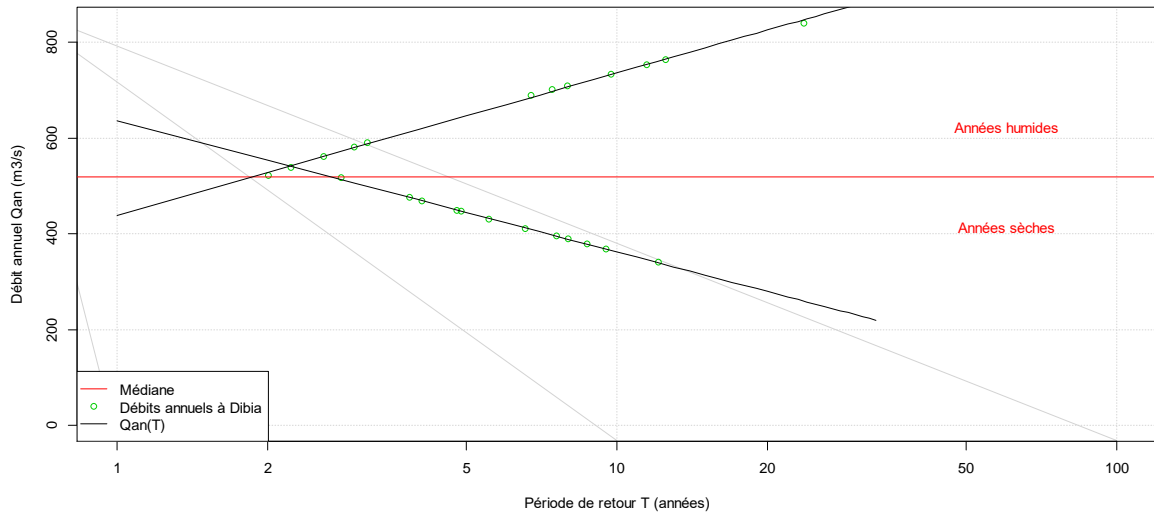


Figure 70. Ajustement ($\sqrt{\text{Gauss}}$) des débits annuels du Sénégal à Bakel (1993-2016)

Les quantiles d’apports en eau annuels pour les 3 échantillons sont reportés dans le Tableau 42.

Tableau 42 – Quantiles d’apports en eau annuel Qan(T) (m³/s) sur les 3 périodes pour la station du Sénégal à Bakel

	Période de retour T	Qan 1904 - 1971	Qan 1972 – 1992	Qan 1993 – 2016
	années	m³/s	m³/s	m³/s
Année sèche	100	56,4	6,1	110,4
	50	180,4	70,1	185,5
	20	345,9	155,7	285,8
	10	473,8	221,7	363,2
	5	607,1	290,6	443,9
Médiane	2	759,4	354,0	519,5
Année humide	5	940,7	475,6	651,7
	10	1077,5	555,0	737,8
	20	1208,6	631,2	820,5
	50	1378,4	729,8	927,4
	100	1505,7	803,6	1007,6

Comme on peut le remarquer dans le Tableau 42, les différences sont importantes entre les 3 échantillons retenus. On observe une réduction des débits de période de retour donnée entre la période « sèche » (1972 – 1992) et la période ancienne « humide » (1904 – 1971). Le débit de période de retour 100 ans en année humide a été réduit d’environ 47%. Sur la période plus récente, on remarque que les débits pour les différentes périodes de retour sont plus importants mais inférieurs à ceux calculés pour la période ancienne. Le barrage de Manantali permet de réguler en partie les apports à Bakel.

4.2.3.6. SB6- Le Sénégal moyen de Bakel à Podor

Nous ne disposons pas d'une série longue de débits à Podor ($S = 266\ 000\ \text{km}^2$). Les seules données récupérées pour cette station sont 2 années de mesure issues de la base de données du SIEREM.

Dans la monographie du BFS, il est possible de récupérer des données de débits à Dagana ($S = 268\ 000\ \text{km}^2$) sur la période 1904 – 1982. Cependant, en période sèche, de janvier à juillet, l'action de la marée impacte le débit du Sénégal jusqu'à Podor (et donc Dagana). Ainsi, une relation hauteur – débit ne peut être établie correctement. La mise en service du barrage anti-sel de Diama en 1986 a permis de stopper ces remontées maritimes dans les terres et a complètement modifié le régime du fleuve Sénégal, le rendant entièrement navigable. Nous ne disposons pas de données sur la période postérieure à la mise en place du barrage de Diama.

A partir des stations du Sénégal à Saldé ($S = 259\ 500\ \text{km}^2$) et à Dagana, nous avons tenté d'estimer le débit à Podor. Nous sommes conscients de l'incertitude sur la série reconstituée mais cela donne un ordre de grandeur des ressources à l'aval du bassin. Dans un premier temps, nous avons tracé les débits mensuels à Dagana en fonction de ceux à Podor sur la période commune (juin 1978 – mars 1980). La corrélation entre les débits est bonne aussi bien sur les faibles débits que sur les forts débits malgré la série courte dont nous disposons ($R^2 = 0.99$). Nous appliquons donc cette relation à la série de Dagana pour reconstituer les débits jusqu'en 1982.

La corrélation des débits mensuels à Saldé et à Podor n'est pas aussi bonne que pour Dagana ($R^2 = 0.97$) mais pour une estimation des débits, nous nous en satisferons. Ainsi, il est possible de reconstituer la chronique jusqu'en novembre 2001. Nous disposons donc d'une série reconstituée de Mai 1903 à Novembre 2001.

Cependant, devant l'incertitude importante sur cette série de débits, il n'est pas possible de mener une étude hydrologique rigoureuse sur le régime du fleuve Sénégal à Podor.

4.2.3.7. SB7- Le Sénégal aval de Podor à l'océan

L'OMVS nous a fourni une série de données de débits du fleuve Sénégal à Diama. La période couverte est 1987 - 2016, soit depuis la mise en service du barrage de Diama. L'étude de la chronique a mis en évidence de nombreuses valeurs nulles. Selon la SOGED les valeurs nulles indiquent que le barrage est fermé.

Les chroniques de débits permettent donc d'apprécier les débits qui transitent par le barrage, notamment leurs variations au cours de l'année, étant entendu que ces débits sont anthropisés du fait des manœuvres de vannes. Il n'est donc pas possible d'apprécier le régime du fleuve sur la base de cette série de données.

Pendant toute la durée de la période de basses eaux (février à juin), le barrage de Diama, dans les conditions actuelles de gestion des eaux, est quasiment toujours fermé. Les rares fois où les vannes sont ouvertes, cette ouverture reste faible, réduite à l'évacuation d'un débit de l'ordre de $100\ \text{m}^3/\text{s}$, afin de réguler le niveau amont.

Concernant les niveaux entre le barrage de Diama et l'océan nous avons exploité les résultats de recherche présentés dans la thèse de Moussa SALL¹². Dans ce travail de thèse l'analyse fréquentielle des hauteurs d'eau du fleuve à Saint-Louis a notamment été réalisée. L'analyse a porté sur les hauteurs d'eau maximales annuelles enregistrées à Saint-Louis entre 1964 et 2003.

¹² Moussa SALL (2006), Crue et élévation du niveau marin à Saint-Louis du Sénégal : impact potentiels et mesures d'adaptation, Thèse de doctorat de l'Université du Maine

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 43 – Hauteurs d'eau maximales annuelles à Siant-Louis (1964-2003) (source : thèse de Moussa Sall)

Années	Cote maximale (cm IGN)	Date	Années	Cote maximale (cm IGN)	Date	Années	Cote maximale (cm IGN)	Date
1964	247,5	31/10	1983	60,5	08/09	1994	126,5	07/10
1965	288,5	26/10	1984	53,5	26/09	1995	120,5	08/10
1969	189,5	29/10	1985	88,5	26/09	1996	94,5	13/09
1970	172,5	12/10	1986	89,5	03/10	1997	128,5	19/09
1971	186,5	12/10	1987	61,5	07/10	1998	142,5	09/10
1972	74,5	24/10	1988	108,5	25/09	1999	149,17	18/10
1973	135,5	17/09	1989	97,5	16/09	2000	114,29	28/09
1979	62,5	08/09	1990	67,5	04/09	2001	125,92	22/09
1980	72,5	27/09	1991	92,5	18/09	2002	103,5	25/09
1981	83,5	31/08	1992	100,5	24/09	2003	149,5	04/10
1982	78,5	18/09	1993	107,5	18/09			

L'analyse a montré que la probabilité, pour une année donnée, d'atteindre une valeur maximale de crue comprise entre 100 et 150 cm IGN (qui inclut la cote d'alerte à Saint-Louis : 140 cm IGN) est de 0,41 (soit 41% de chance). Par ailleurs, il y'a seulement 3% de chance d'obtenir à Saint-Louis une cote maximale comprise entre 250 et 300 cm IGN.

Il y a 34% de chance que la cote d'alerte soit dépassée une fois par an à Saint-Louis, ce qui correspond en moyenne à 1 année sur 3.

La cote de la crue décennale à Saint-Louis est de 187,12 cm IGN et la cote de la crue centennale 243,82 cm.

Ces chiffres ne prennent pas en compte une augmentation du niveau marin sous l'effet des changements climatiques.

4.2.3.8. Synthèse de l'analyse des débits

Le régime d'écoulement du fleuve Sénégal dépend essentiellement des précipitations du Haut-Bassin guinéen. Son régime est caractérisé par :

- une saison de hautes eaux, de juillet à octobre ;
- une saison de basses eaux à décroissance régulière, de novembre jusqu'à mai/juin avec des étiages particulièrement sévères de janvier à avril, surtout sur les petits affluents.

Les débits moyens mensuels évoluent entre les valeurs extrêmes de 3 320 m³/s en septembre et de 9 m³/s en mai. Une autre caractéristique importante du régime du fleuve Sénégal réside dans son irrégularité interannuelle accentuée.

Les modules annuels des principaux cours d'eau du bassin, calculé sur toute la période sont :

- Pour le Bafing : 284 m³/s à Bafing Makana ;
- Pour le Bakoye : 132 m³/s à Oualia ;
- Pour la Falémé : 156 m³/s à Kidira ;
- Pour le Sénégal : 650 m³/s à Bakel.

4.2.4. Analyse par la méthode SPEED

L'analyse des précipitations menée au chapitre 4.2.1 ne nous a pas fourni les pluies fréquentielles. La détermination de ces pluies est faite par application de la méthode SPEED. En outre cette

méthode permet d'identifier une relation entre les pluies annuelles et les apports annuels. En exploitant cette relation, il est possible de quantifier l'incidence sur les apports d'une modification des précipitations qui pourrait résulter de variations climatiques.

4.2.4.1. Présentation de la méthode SPEED

Après avoir analysé et corrigé les données, si nécessaire, nous avons réalisé une analyse probabiliste des séries de pluies par la méthode du système SPEED (Système Probabiliste d'Etudes par Evénement Discret). Le système SPEED est documenté en Annexe 3. Afin de prendre en compte le changement de régime de pluie aux alentours de l'année 1971, nous avons coupé chaque série en deux périodes : une avant 1971 et une à partir de 1971. L'analyse a été réalisée séparément pour chaque période. Le but recherché est d'établir, pour la situation climatique de chaque période, une cartographie des pluies et de pouvoir déterminer les valeurs de précipitations annuelles pour différentes périodes de retour.

Le système SPEED est fondé sur la théorie du Processus de Poisson. La théorie du Processus de Poisson s'applique à tout phénomène accidentel (non prévisible par des lois déterministes), notamment les pluies et les crues. Elle s'applique aussi bien aux valeurs extrêmes (crues de projet) qu'aux sommes (apports). Combinée à la théorie de l'échantillonnage, elle devient méthodologie d'étude probabiliste. Des axiomes du processus de Poisson, on déduit notamment que les racines carrées des totaux annuels de la mesure (précipitations ou apports) suivent une loi de Gauss (loi normale). On dit que les totaux suivent la loi Racine-Gauss, dont les deux paramètres sont la moyenne m et le pivot u_0 : point où la droite représentative de la loi sur papier de Gauss coupe l'axe des abscisses. Le pivot u_0 de la loi de Gauss est une fonction mathématique d'un nombre n qui est le nombre moyen annuel d'apparition de l'événement que l'on mesure.

Afin de mieux prendre le caractère aléatoire de chaque échantillon, nous avons gardé uniquement les stations pluviométriques avec des séries longues (plus de 30 ans de données) recouvrant bien la période 1970-1975, soit un total de 58 stations. L'analyse a été réalisée en découpant les séries des stations conservées avant et après 1971.

Dans une certaine zone donnée, le nombre n de perturbations météorologiques est identique. Les fluctuations de la valeur n , que l'on peut observer d'une série de totaux à une autre, sont des fluctuations d'échantillonnage : les populations mères forment, sur un papier de Gauss, un faisceau d'origine unique u_0 appelé « pivot ». Les populations-mères de la région ne diffèrent donc entre elles que d'un seul paramètre : la moyenne.

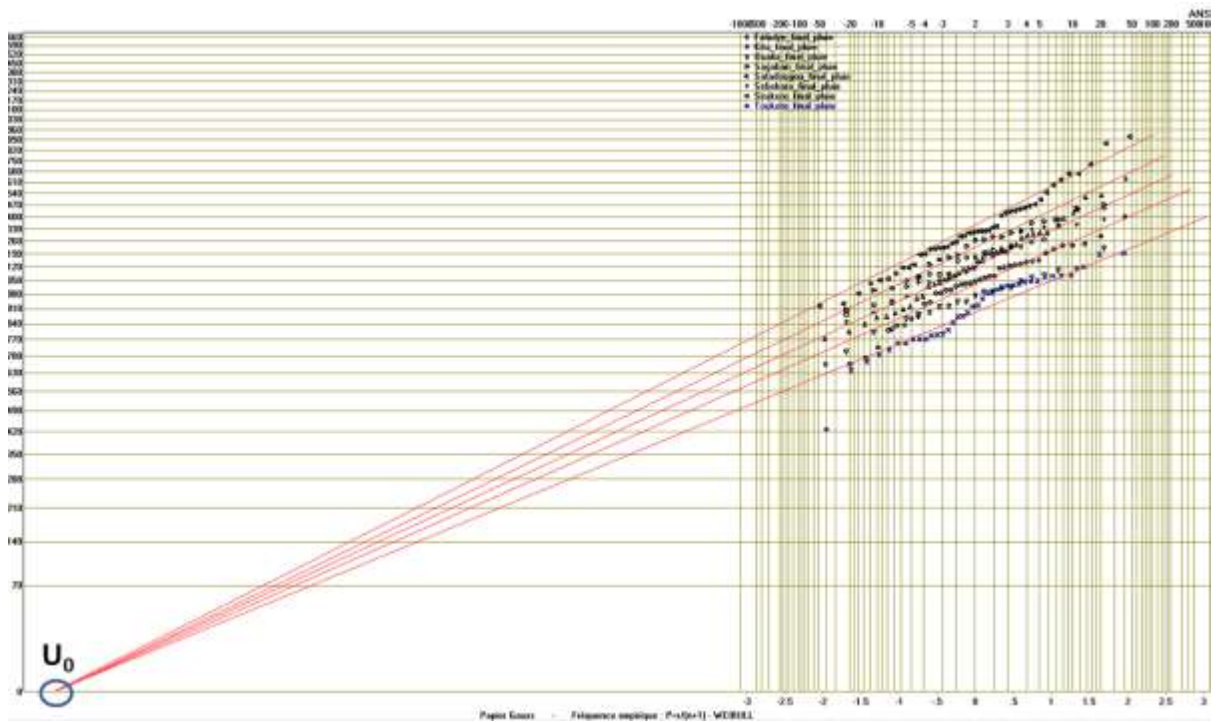


Figure 71. Ajustement des racines carrées des pluies annuelles sur un papier de Gauss

Nous avons, dans un premier temps, cherché à identifier ce pivot. Pour certaines stations, le pivot trouvé dans la région ne correspondait pas aux données, nous avons donc cherché une explication (relief, isolement...) pour ces stations.

La synthèse sur le bassin du Sénégal a consisté en la réalisation des opérations suivantes :

- On a d'abord déterminé une partition de la zone d'étude en régions de même pivot, de régions homogènes vis-à-vis des pluies annuelles (affectées par les mêmes perturbations météorologiques). La limite entre deux régions est souvent bien matérialisée sur une carte topographique : souvent il faut une chaîne montagneuse importante pour perturber le passage des événements pluvieux.
- Connaissant la moyenne en chaque station, on a alors pu tracer, sur papier Racine-Gauss, pour chaque station, les ajustements probabilistes sous forme d'une droite passant par le pivot et la moyenne.
- Les ajustements probabilistes ont été effectués pour la situation climatique avant et après 1971. Les précipitations annuelles pour différentes périodes de retour ont été déterminées pour ces deux périodes.

4.2.4.2. Détermination des pivots

La première étape de l'analyse consiste à identifier les régions homogènes vis-à-vis des pluies annuelles. Ceci est fait en recherchant les pivots u_0 de l'ajustement probabiliste des pluies annuelles à chaque station. L'analyse a d'abord porté sur la série entière puis, comme les pivots pourraient avoir été affectés par les variations climatiques, nous avons analysé les données pluviométriques avant et après 1971.

La recherche des pivots est purement statistique : SPEED affiche à l'écran les diverses ellipses (une ellipse par station, correspondant à l'ajustement statistique de la série par la droite d'Henry) qui sont produites comme suit :

- Centre de l'ellipse de coordonnées : en abscisse la moyenne m , en ordonnée le paramètre λ

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

- La longueur des demi-axes des ellipses est égale à l’intervalle de confiance à 80% de l’estimation de la moyenne et du Lambda pour chaque coordonnée respectivement.

La recherche d’une région homogène consiste à fixer une valeur de λ qui intercepte le maximum d’ellipses, où λ est égal au nombre moyens d’événements pluvieux affectant la station. Lambda (λ) est une expression ne dépendant que du pivot u_0 de l’ajustement probabiliste de la série des pluies annuelles de la station donnée.

$$u_0 = -e^{1/2} \tag{2}$$

$$e = -1 + \lambda + (\lambda^2 - \lambda)^{1/2} \tag{3}$$

Le λ (donc la valeur du pivot) est bien choisi si à la fin on obtient :

- 80% des ellipses interceptées (dans ce cas, l’ellipse est écrasée par le programme) ;
- 10% des ellipses qui restent au-dessus de la ligne d’interception ;
- 10% des ellipses qui restent en-dessous de la ligne d’interception.

Pur exemple, dans le cas du bassin central, la valeur de $\lambda=40$ a été retenue, soit donc un pivot $u_0 = -8.85$.

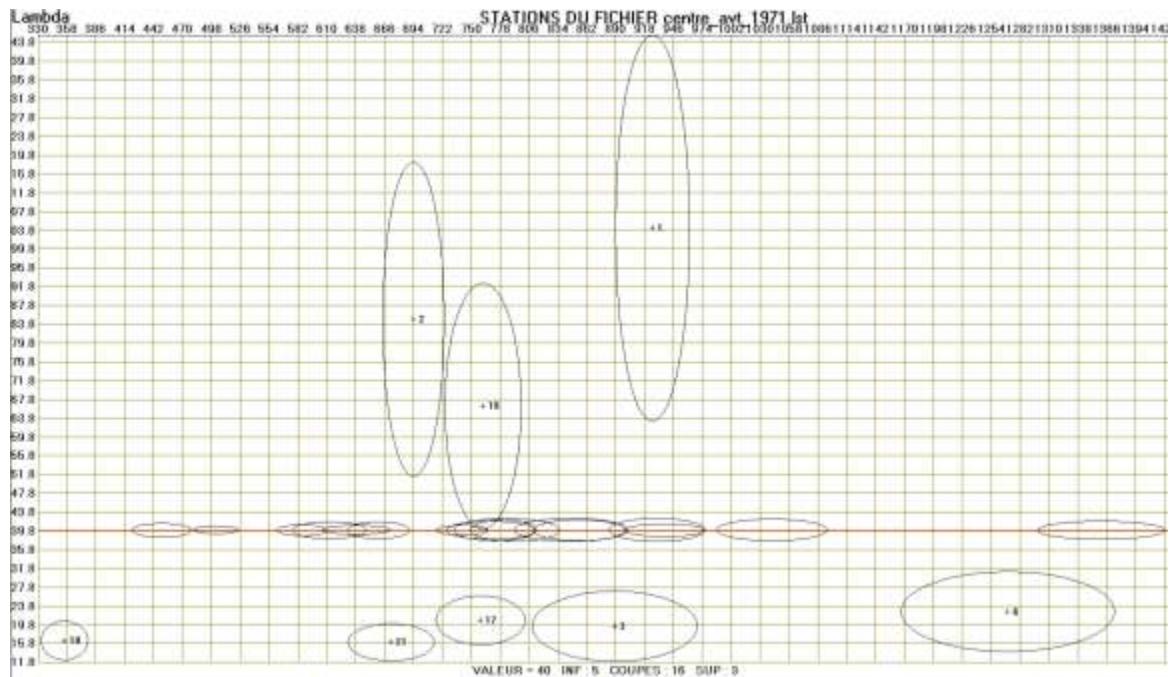


Figure 72. Essai d’interception des ellipses avec la valeur lambda = 40.5 sur la partie centrale du BFS sur la période avant 1971.

Les résultats conduisent à identifier 4 régions homogènes pour les deux périodes : avant et après 1971. L’analyse réalisée sur l’ensemble des séries sur la base des séries complètes conduit à des valeurs du pivot u_0 comprises entre -2.6 et -18.6. La localisation des régions est précisée sur la Figure 73.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

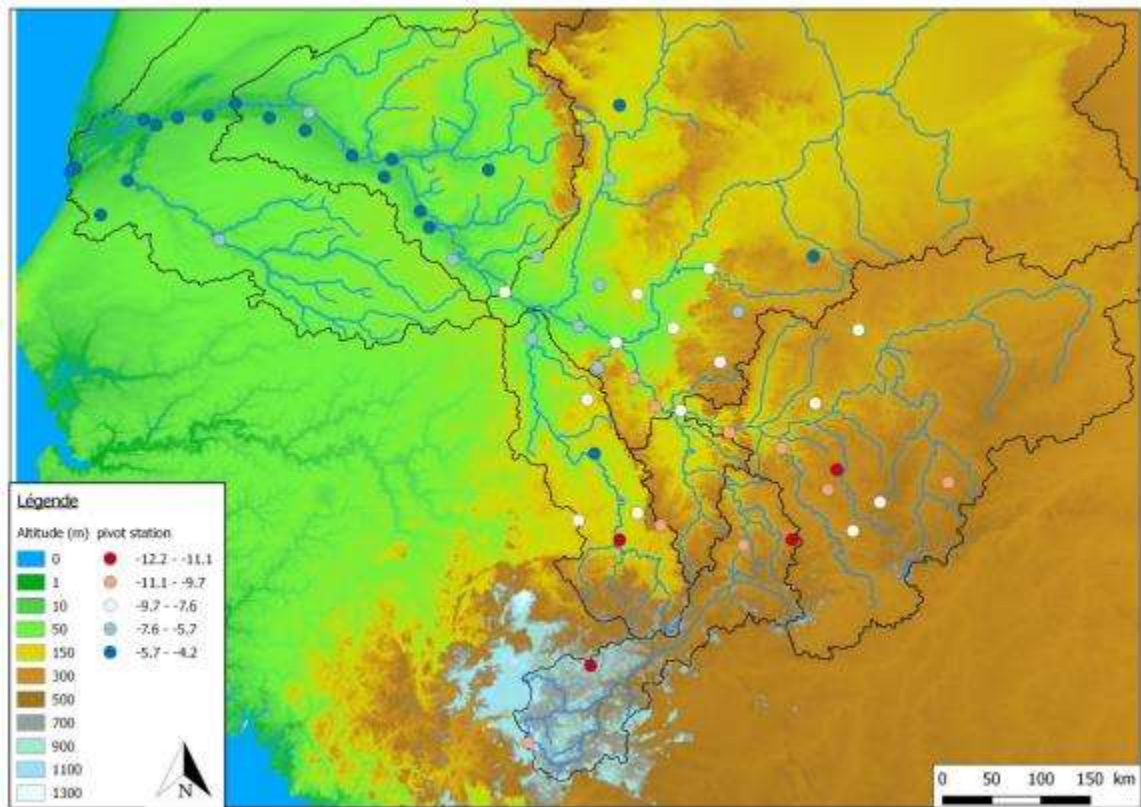


Figure 73. Cartographie des valeurs des pivots des stations (source : ce rapport)

L'analyse régionale fait ressortir les différences entre la plaine, le plateau et les parties montagneuses. Grâce à cette carte présentant les valeurs des pivots pour chaque station, nous avons pu découper le bassin du Sénégal en 4 parties distinctes :

- La tête de bassin, comprenant les stations en amont du Bafing et du Falémé. Cette partie correspond à la partie la plus montagneuse du bassin. Les barrières montagneuses peuvent bloquer les perturbations météorologiques et ainsi recevoir la totalité des précipitations ;
- La partie amont comprenant toute la partie Nord du Bafing, et tout le bassin du Bakoye. Cette partie correspond à une région montagneuse de moyenne altitude ;
- La partie centrale : de Bafoulabé jusqu'à Bakel ; correspondant à la partie des plateaux du BFS. Dans cette partie, on observe qu'au Nord, dans la zone désertique, les stations ont un pivot u_0 plus important (plus proche de 0), signe d'une précipitation moindre ;
- La partie aval, comprenant toute la plaine du BFS en aval de Bakel jusqu'au delta.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

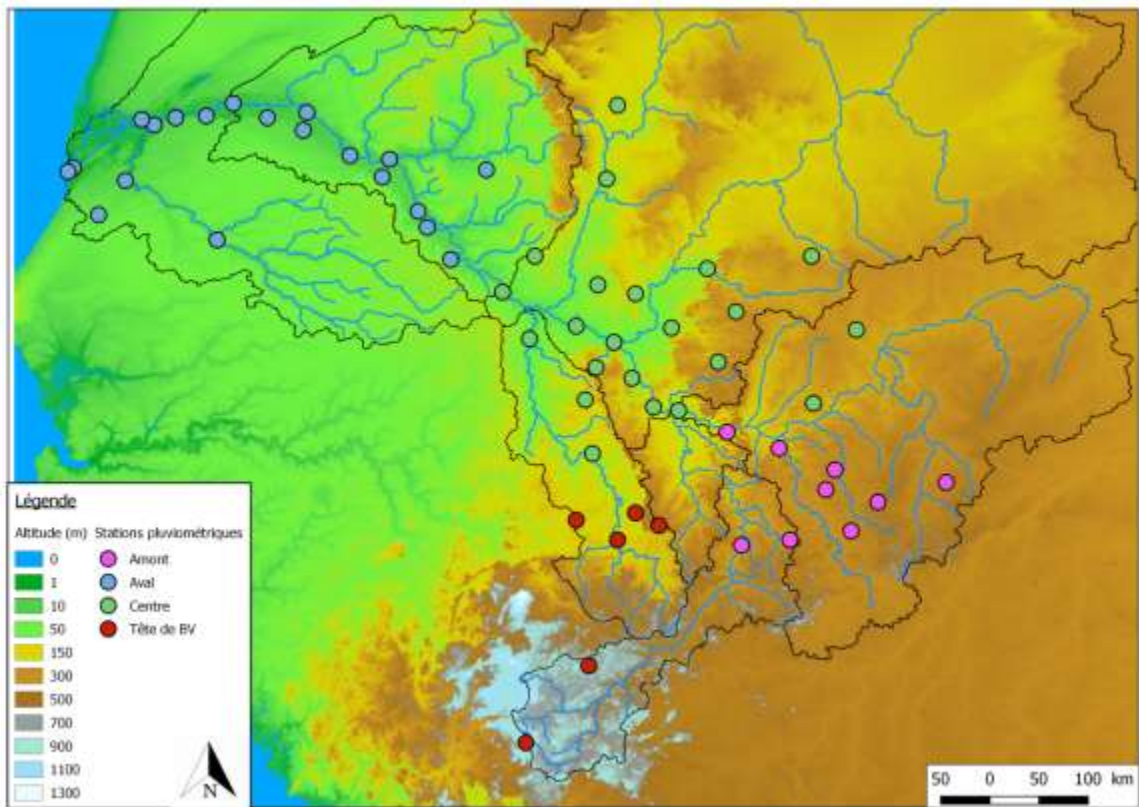


Figure 74. Répartition des stations pluviométriques sélectionnées (source : ce rapport)

Pour les stations en dehors de l'intervalle de confiance de 80%, il faut essayer de comprendre la raison : erreurs d'échantillonnage, stations isolées sujettes à un régime particulier, faibles nombres de données...

Le nombre de perturbations est plus élevé dans les régions montagneuses au Nord que sur la plaine et sur le plateau. Les vents dominants en saison des pluies sont des vents d'Ouest-Sud-Ouest. Les hauts reliefs à l'intérieur du bassin retiennent les perturbations et sont donc plus arrosés.

Dans le Tableau 44, chaque valeur de lambda a été choisie afin d'intercepter au moins 80% des ellipses des stations.

Tableau 44 – Résultats de la synthèse régionale, pivots des pluies annuelles

Zone	Pivot			Lambda			Nombre de stations
	Total	Avant 1971	Après 1971	Total	Avant 1971	Après 1971	
Tête de bassin	-9.92	-12.19	-12.19	50	75	75	5
Amont	-9.7	-12.27	-10.51	47.8	76	56	10
Centre	-7.5	-8.92	-8.63	30	40.5	38	22
Aval	-4.98	-6.11	-5.33	13.2	19.4	15	21

Les premiers résultats permettent de mettre en évidence l'impact du changement climatique sur le nombre d'évènements pluvieux. En effet, le pivot étant directement lié au nombre d'évènements pluvieux qui affectent une région, l'une des raisons possibles des déficits pluviométriques peut résider dans une diminution du nombre d'évènements pluvieux qui affectent la zone d'étude.

En isolant les périodes avant et après 1971, nous pouvons vérifier si les pivots restent les mêmes pour les deux périodes climatiques. De manière générale, les pivots sont plus forts sur la période avant 1971 qu'après 1971.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Le pivot calculé sur la période totale est, pour les 4 zones, inférieur à ceux calculés sur les périodes avant et après 1971. La première explication à ces résultats est que la série est plus longue, elle prend donc mieux en compte la variabilité de l'échantillon et permet ainsi de trouver un pivot et une droite plus adaptés aux données.

Pour réduire les risques d'écart liés au hasard de l'échantillonnage et donc à la différence de taille des échantillons, nous avons en fait défini, pour chaque région, un intervalle de valeurs du pivot défini de telle façon que la valeur inférieure corresponde à celle qui laisse 10% des ellipses non interceptées au-dessus de la moyenne des pivots et la valeur supérieure corresponde à celle qui laisse 10% des ellipses non interceptées en-dessous de la moyenne des pivots. Rappelons que les ellipses correspondent à des intervalles de confiance à 80%.

Les résultats ainsi obtenus sont présentés dans la Figure 75.

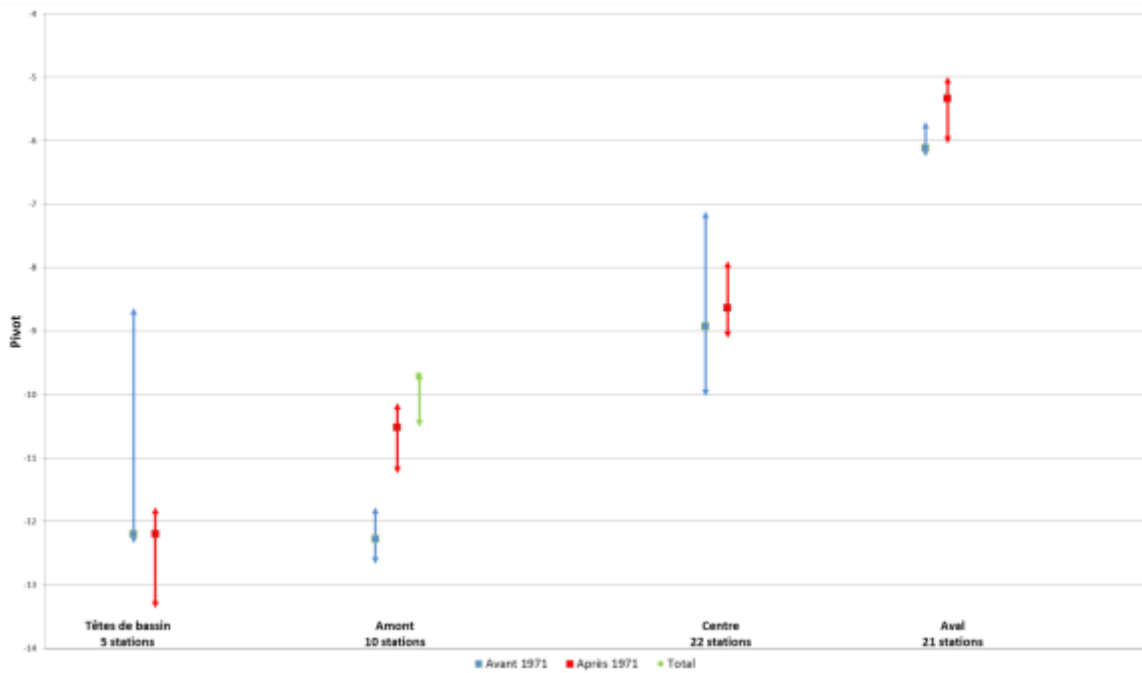


Figure 75. Intervalles des valeurs des pivots avant et après 1971

L'écart à la valeur moyenne tel que défini précédemment varie de 1 à 20 % de la valeur moyenne sauf pour le bassin amont où l'écart est plus important.

Sur la partie aval et au centre du bassin, on observe un recouvrement des intervalles d'incertitude. Pour la partie centrale, les valeurs des pivots trouvées sont sensiblement les mêmes. On peut donc supposer que la valeur du pivot reste constante malgré la cassure en 1971. Pour la partie aval, le pivot a légèrement augmenté après 1971, mais comme les intervalles d'incertitudes se recouvrent, il est difficile de conclure sur d'éventuels changements de régime de pluies.

Sur la période avant 1971, à l'amont du bassin, on compte peu de données sur les stations, ce qui a tendance à aplatir la droite et donc à donner un pivot beaucoup plus fort. Afin de limiter cet effet, nous avons comparé la valeur des pivots après 1971 et de toute la période. Les deux intervalles s'intersectent et les valeurs moyennes des pivots sont plus proches.

Il est intéressant de remarquer que c'est dans la région centrale, où le pivot n'aurait pas évolué entre avant et à partir de 1971, que la moyenne des pluies annuelles a diminué significativement. Le pivot étant lié au nombre d'évènements générant la pluie moyenne, ceci laisserait donc supposer que, au moins dans le centre du bassin, c'est avant tout la diminution de l'intensité des phénomènes pluvieux (masses d'air moins humides ou/et conditions météorologiques aboutissant à des intensités pluvieuses plus faibles qu'auparavant) qui serait responsable du déficit des pluies.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

On peut supposer que sur les parties aval et amont, la situation est similaire, même si la variation du pivot semble plus importante.

Toutefois ces conclusions sont certainement hâtives car le nombre de séries longues utilisables est limité, ce qui peut distordre de façon sensible les résultats d'analyse.

Nous avons examiné tour à tour le cas où le pivot reste stable, avant et après 1971, et le cas où le pivot varie.

Nous nous sommes interrogés sur les conséquences de la variation du pivot entre les deux périodes, dans la détermination des valeurs caractéristiques des pluies annuelles. Pour les 4 zones, le pivot augmente entre avant et après 1971. Cette augmentation est comprise entre 3 et 14%.

La conséquence de cette variation réside en fait dans la détermination des pluies annuelles de période de retour différente de 2 ans (la pluie de période de 2 ans est la moyenne).

Si l'on considère que la diminution du pivot Y_0 est de $n\%$ entre les 2 périodes, telle que $Y_0' = Y_0 (1 - n)$, on démontre que la variation relative induite sur la valeur de pluie annuelle de période de retour T (Pan_T) est la suivante :

$$\frac{\Delta Pan_T}{Pan_T} = \frac{n Y_T}{(1-n)^2 (Y_T - Y_0)^2} [Y_T (2-n) - 2Y_0 (1-n)] \quad (4)$$

où Y_T est la valeur de la variable de Gauss pour la période T .

Tableau 45 – Sensibilité du calcul des pluies fréquentielles à une erreur sur les pivots

			Amont	Centre	Aval
Période	Y_T	Pivot Y_0	-12.27	-8.92	-6.11
		Ecart Pivot %	12.80%	14.30%	3.25%
20 ans sec	-1,64	$\Delta P/P$	-5.10%	-1.51%	-10.48%
10 ans sec	-1,28		-3.86%	-1.07%	-7.01%
10 ans humide	1,28		3.19%	0.60%	2.99%
20 ans humide	1,64		3.99%	0.72%	3.49%

On constate que l'écart relatif sur le pivot a une incidence limitée sur le résultat du calcul de la pluie décennale et même vingtennale humide. La marge d'erreur la plus importante est pour le calcul de la pluie vingtennale sèche pour le pivot de l'aval, avec une erreur de 10.5%.

En conclusion, il n'est pas certain que le pivot soit constant entre la période avant 1971 et après 1971. Cependant, s'il varie, cela n'a que peu de conséquence sur la détermination des pluies annuelles caractéristiques qui nous concernent dans la présente étude.

Il est probable que la valeur du pivot obtenue en considérant la totalité de la série soit biaisée par le mélange de deux régimes de pluies : avant et après 1971. L'analyse probabiliste doit porter sur des séries homogènes, ce qui n'est plus le cas pour les séries totales. Par ailleurs, les séries découpées avant et après 1971 sont relativement courtes et ne sont donc pas forcément représentatives de la population mère, ce qui n'est pas sans incidence sur la détermination des pivots.

4.2.4.3. Ajustements probabilistes des séries annuelles de pluies

Après avoir calculé le pivot pour chacune des zones du bassin, nous avons cherché la station moyenne représentative des différents bassins. Pour trouver cette station, nous avons tracé la droite partant du pivot de la zone et passant par le point (0 ; pluie moyenne des stations du bassin). Pour la zone du centre, la station représentative est la station de Kayes (en rouge sur le graphe). Plusieurs stations s’alignent bien avec la droite, mais la station de Kayes comporte le plus de données.

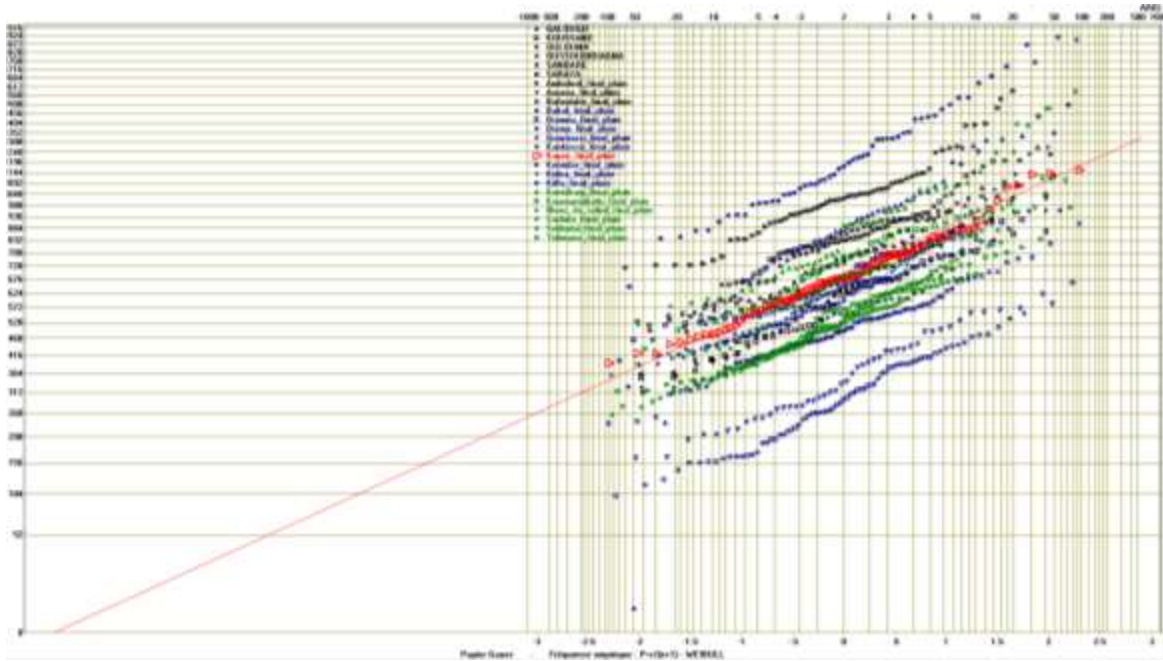


Figure 76. Exemple d’ajustement des stations de la zone centrale sur toutes les périodes

Les séries de pluies annuelles, pour les périodes avant et à partir de 1971, ont été tracées séparément sur un papier Racine-Gauss.

Connaissant le pivot avant et après 1971 (Tableau 44) et la moyenne en chaque station, on a alors pu tracer sur un papier Racine-Gauss, pour chaque station, les ajustements probabilistes sous forme d’une droite passant par le pivot et la moyenne conformément à l’exemple de la Figure 76.

Les ajustements probabilistes ont été effectués pour la situation climatique avant et après 1971. Les précipitations annuelles pour les différentes périodes de retour ont été déterminées pour ces deux situations climatiques.

Pour chaque sous-bassin, on a défini une station représentative de la pluie de bassin.

A partir de la carte des pivots et de la carte des moyennes des pluies annuelles on peut retrouver, en tout point, les valeurs V(T) des pluies annuelles pour une période de retour T donnée en appliquant la formule suivante à la valeur de la variable de Gauss u(T) :

$$V(T) = \frac{m}{1 + u_0^2} (u(T) - u_0)^2 \tag{5}$$

avec :

m = moyenne des pluies annuelles

u₀ = pivot des pluies annuelles

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

V(T) = valeur de la pluie pour la période de retour T

u(T) = valeur de la variable de Gauss pour la période de retour T

T = période de retour en années

Tableau 46 – Précipitation annuelle pour différentes périodes de retour sur les stations représentatives des sous-bassins du fleuve Sénégal

Période T (années)	Précipitation annuelle (mm)														
	Avant 1971							Après 1971							
	Tougué	Sagabari	Bafoulabé	Diema	Bakel	Matam	Saint-Louis	Tougué	Sagabari	Bafoulabé	Diema	Bakel	Matam	Saint-Louis	
Année sèche	-100	1079.24	876.59	537.61	390.58	247.07	228.99	101.79	944.75	655.06	430.31	295.36	247.98	125.51	62.24
	-50	1138.18	913.61	577.88	417.97	271.71	256.32	125.93	994.19	690.18	461.73	322.71	273.15	145.18	75.6
	-20	1229.5	970.57	641	460.78	310.84	300.18	166.95	1070.71	744.55	510.92	365.99	313.18	177.36	98.07
	-10	1313.62	1022.63	699.83	500.58	347.82	342.07	208.25	1141.1	794.61	556.73	406.73	351.04	208.65	120.48
	-5	1419.22	1087.5	774.55	550.99	395.39	396.46	264.38	1229.34	857.41	614.84	458.95	399.8	249.96	150.72
Normale	2	1632.58	1217.14	928.01	654.14	494.88	511.67	390.36	1407.28	984.18	734.03	567.63	501.88	339.36	217.98
Année humide	5	1860.87	1354.08	1095.33	766.14	605.52	641.55	540.81	1597.24	1119.7	863.77	687.84	615.55	442.4	297.61
	10	1986.17	1428.58	1188.33	828.22	667.8	715.3	629.21	1701.34	1194.02	935.8	755.29	679.6	501.7	344.16
	20	2092.71	1491.6	1267.97	881.3	721.53	779.21	707.24	1789.77	1257.19	997.45	813.35	734.86	553.47	385.15
	50	2215.91	1564.13	1360.67	942.99	784.46	854.4	800.49	1891.95	1330.22	1069.17	881.25	799.64	614.77	434.03
	100	2300.03	1613.46	1424.31	985.29	827.9	906.47	865.89	1961.67	1380.06	1118.38	928.05	844.35	657.43	468.25

4.2.4.4. Relation pluie-débits

Il convient d'utiliser au mieux les quelques séries d'apports a priori fiables sans perdre de vue que la fiabilité n'est pas totalement assurée. Ceci rend difficile l'application, sur les données d'apports, des approches de type statistique (e.g. corrélations multiples, Analyse en Composantes Principales – ACP) qui nécessitent des échantillons importants de données, notamment des observations de qualité sur de nombreuses années.

Il est préférable de mettre en œuvre une approche probabiliste qui suppose l'existence d'une relation « grandeurs climatiques – apports » selon une loi de probabilité a priori connue et dont il reste à caler les paramètres.

L'approche mise en œuvre, en application du système hydrologique SPEED, vise à établir une relation annuelle pluies-apports. Il s'agit de comparer les précipitations annuelles Pa sur le bassin versant à étudier et les écoulements annuels Ea à l'exutoire de ce bassin. Pa et Ea sont tous les deux exprimés en mm (lame d'eau) et sont donc comparables.

A l'échelle de l'année le bilan hydrologique s'écrit :

$$Pa = Ea + ETR + Résidus$$

où ETR, exprimée en mm, est l'évapotranspiration réelle (retour à l'atmosphère).

Pour la majorité des rivières la variable aléatoire Résidus a une moyenne nulle (sauf cas particuliers de bassins karstiques). Il faut toutefois veiller à prendre en compte les aménagements humains tels que les grands réservoirs, les dérivations ou les pompages pour l'irrigation.

Ea est mesuré sur une certaine période à la station de jaugeage : on dispose de Ne valeurs annuelles. Dans SPEED, Pa est une pluie ponctuelle, mesurée en un point particulier du bassin : on dispose à cette station de Np années de données.

On dispose d'une période de N années d'observations concomitantes de Pa et Ea, c'est-à-dire que pour chaque année de cette période, on possède une valeur d'apport annuel et une valeur de pluie annuelle. Cette période peut être discontinue. Si la période commune d'observations a une durée supérieure à dix ans et si les données d'apports sont fiables, on obtient une relation pluies-apports assez robuste vis-à-vis des erreurs d'échantillonnage.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

La relation est établie sur le graphique probabiliste Racine-Gauss où l'on a disposé les points de chaque échantillon Ea et Pa . On observe la loi suivante :

$$\sqrt{Ea}(mm) = \sqrt{Pa}(mm) - L \quad (6)$$

Les deux échantillons sont parallèles, le décalage mesurant L (Figure 77). L peut y être « mesuré » par exemple comme $\sqrt{2387}(mm) - \sqrt{1001}(mm) = 18$

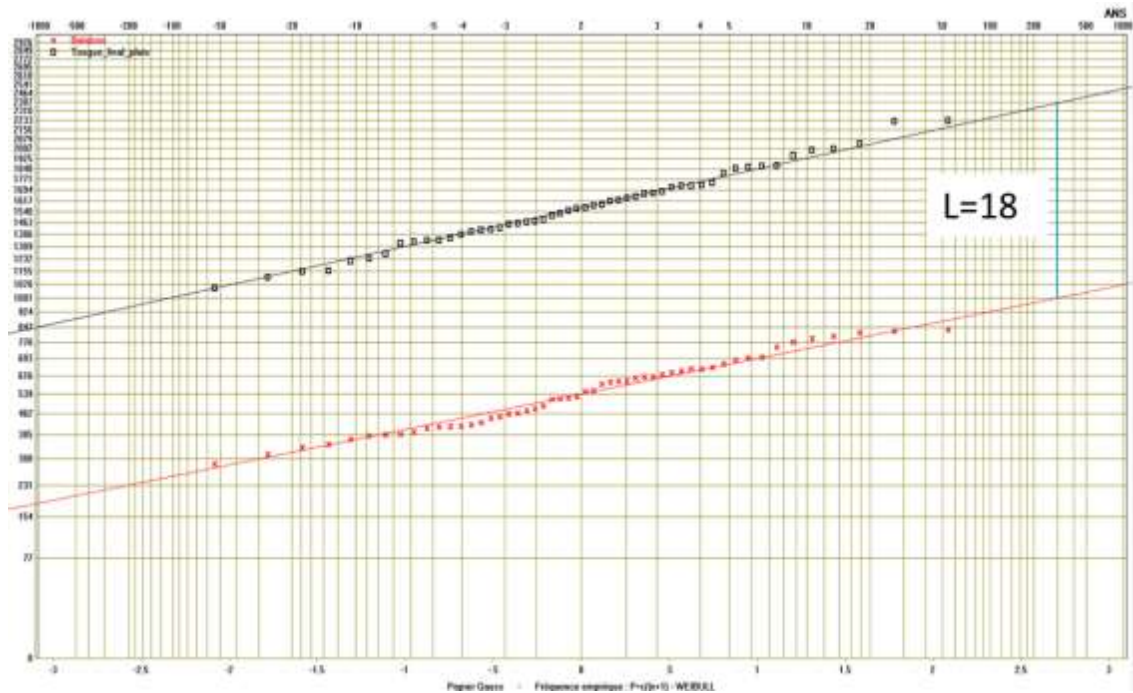


Figure 77. Illustration de la relation pluies-apports

La relation n'est valable que si les précipitations ne sont pas trop faibles (régions arides ou semi-arides), la limite variant suivant les climats entre $Pa = 250$ et 400 mm. En deçà d'un certain seuil, ici fixé à 270 mm, il n'y a plus de relation entre la pluie et l'écoulement.

L est un paramètre lié à l'évapotranspiration réelle, c'est-à-dire un paramètre climatique régional. Il varie en particulier suivant la longueur d'une éventuelle saison sèche, et selon que la saison des pluies est la saison froide ou la saison chaude. Le paramètre L est indirectement lié à la température ; il convient d'en préciser la valeur en différents points du BFS et de vérifier sa stabilité temporelle eu égard aux changements climatiques.

La relation pluies - apports a été mise en évidence en tous points où existe une série fiable d'apports annuels (séries des stations hydrométriques) en vue d'une régionalisation de cette approche, là où elle est applicable.

A. Préparation des séries de données

Le calage de la relation pluies-apports, à savoir la détermination du paramètre L , nécessite d'identifier des bassins versants où on dispose à la fois d'une série pluviométrique représentative du bassin versant et d'une série d'apports.

La mise en relation entre les pluies et les apports nécessite de travailler avec la pluie moyenne sur le bassin versant, alors que la série de la station pluviométrique ne vaut qu'en un point du bassin versant. Nous choisissons donc une station pluviométrique représentative de la pluie de bassin.

En cas de bassin versant très contrasté, où un gradient important de la pluviométrie est observé, ou en cas de très grand bassin, on peut alors être amené à le découper en deux et associer à chaque sous bassin une station pluviométrique différente. Il existe toujours des cas particuliers. Par exemple pour un bassin karstique, une partie de l'écoulement est soustrait du débit de surface pour alimenter une circulation souterraine. De plus il existe de nombreux cas où le bassin de surface et le bassin souterrain ne coïncident pas.

Les séries de données hydrométriques ont été rassemblées et mises au format SPEED. On dispose des séries d'observations aux stations hydrométriques issues des différentes sources d'informations à notre disposition (SIEREM, OMVS et Monographie du BFS). Le cas échéant, on est amené à éliminer des données manifestement mal observées. Ce traitement a été réalisé plus tôt lors de l'analyse des débits (partie 4.2.3)

En année sèche ou en région sèche, les prélèvements sauvages sont impossibles à estimer directement : il faut savoir que les observations aux stations sont une sous-estimation des apports naturels, l'écart étant d'autant plus grand que l'année est sèche et qu'il existe des terres irrigables sur les berges. On ne s'étonnera pas que les faibles valeurs d'apports s'écartent notablement de ce que suggérerait la relation pluies-apports.

En fonction des différents cas, on pourra être amené soit à reconstituer les débits naturels de la rivière, soit à rejeter des séries pour lesquelles les dérivations d'eau sont trop mal connues, soit à garder de telles séries comme contrôle par défaut des relations mises au point sur les séries les plus sûres, soit encore à constater qu'il s'agit de faibles apports et qu'ils s'écartent logiquement de ce que suggérerait la relation pluies-apports.

B. Stabilité spatio-temporelle de la relation pluies – apports

La stabilité spatio-temporelle du paramètre L a été analysée sur les bassins versants où la longueur des séries de données le permettaient. Cette analyse a visé à examiner la stabilité de L vis-à-vis des perturbations climatiques (pluies) et vis-à-vis de la taille des échantillons.

Pour les deux analyses, temporelle et spatiale, on a cherché à mettre en évidence une éventuelle corrélation entre la valeur de L et les conditions climatiques exprimées à travers la pluie annuelle. En effet, si une corrélation significative était mise en évidence, il faudrait se poser la question de la stabilité de la relation pluies-apports dans les calculs d'apports annuels selon divers scénarios de changements climatiques et donc questionner l'applicabilité de cette relation dans un contexte non stationnaire alors que le système SPEED a été développé en supposant les phénomènes stationnaires.

C. Stabilité temporelle de la relation

Si la grandeur mesurée n'est plus stationnaire, ce qui est le cas de la pluie dont le régime a manifestement changé à partir de 1971, la théorie de l'échantillonnage n'est alors plus applicable sans précaution. La pluie annuelle était stationnaire avant 1971 ; on peut faire l'hypothèse que la pluie annuelle est stationnaire après 1971 mais est sujette à un nouveau régime. Dans ce cas on peut étudier séparément les deux sous-séries sur les périodes avant et à partir de 1971, ce qui a été réalisé dans l'analyse des pluies (partie 4.2.4.2).

En application de la théorie de l'échantillonnage, valable pour une grandeur stationnaire, une série de données ne représente qu'approximativement la population mère dont elle est issue. Logiquement la qualité des résultats augmente avec la taille des échantillons. Toutefois, on a pu vérifier que lorsque les données sont fiables, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas, les résultats se stabilisent rapidement dès que les séries comportent plus d'une dizaine de données en commun.

Pour l'analyse temporelle, on a comparé les valeurs obtenues de L pour des périodes avant et à partir de l'année 1971 (incidence de la diminution de la pluie). L'analyse a été menée sur des séries de données sur les deux périodes avant et à partir de 1971. Les résultats graphiques sur papier racine-Gauss montrent une différence, entre les deux périodes, de la pente des droites d'ajustement, aussi bien pour les pluies que pour les écoulements.

On a vérifié que l'écart L entre les deux droites d'ajustement reste sensiblement le même d'une période à l'autre et est peu différent de la valeur du L pour la série complète. La diminution persistante de la pluie à partir de 1971 (changements climatiques) ne semble donc pas affecter la valeur de L de façon significative, les différences étant liées aux erreurs d'échantillonnage.

L'objectif est de démontrer ici que la résultante de la relation est de l'ordre de 18 quelle que soit la période considérée (avant ou après 1971).

Comme le montre le Tableau 47, la moyenne des valeurs de L sur la période avant 1971 est de 17.95 et la moyenne des L sur la période à partir de 1971 est de 18.1.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 47 – Résultats des L sur la période avant et après 1971 et sur la période totale

	Station débit		Station pluvio		Total				Avant 1971				Après 1971				
	Code	Nom	Code	Nom	nb_années communes	Moyenne P	Moyenne E	L	nb_années communes	Moyenne P	Moyenne E	L	nb_années communes	Moyenne P	Moyenne E	L	
Tête de bassin et Amont	1272601203	Daka Saidou	1270039100	Sagabari	46	1096.6	479.0	11.4	21	1222.0	616.2	15.1	25	991.2	363.8	16.9	
	1272601218	Soukoutali	1270039100	Sagabari	40	1102.9	344.4	14.8	21	1222.0	426.9	19.3	19	971.2	253.3	19.7	
	1272601415	Toukoto	1270041200	Sebekoro										18	896.6	54.5	21.5
			1270046300	Toukoto													
	1272601603	Fadougou	1270022900	Kita	59	1053.6	129.6	21.4									
			1270016300	Guene-Gore										19	1110.6	175.3	20.2
	1272604006	Siramakana	1270041000	Satadougou	49	1314.7	379.0	17.2	46	1330.8	391.9	16.8					
			1270005500	Batimakana	28	775.3	18.7	23.7	9	839.0	33.6	23.2	19	745.2	11.7	24.0	
	1272601215	Bafing Makana	1270039100	Tougue	50	1087.5	390.3	18.9	37	1642.8	526.9	18.5	15	1415.2	291.4	20.1	
	1172600106	Balabori	1170320000	Dalaba										21	1670.6	386.8	17.9
			1170842000	Tougue	52	1577.2	548.4	16.4	37	1642.8	604.5	16.0					
	1172602006	Bebele	1170320000	Dalaba										21	1670.6	521.1	14.8
			1170842000	Tougue	52	1577.2	720.1	12.9	37	1642.8	790.1	12.4					
	1272601209	Dibia	1270016300	Guene-Gore										28	1118.1	200.2	19.3
			1270039100	Sagabari													
	1272601412	Oualia	1270021700	Kenieba	53	1215.5	293.1	17.9						30	918.4	26.5	23.0
			1270022900	Kita													
	1172600125	Sokotoro	1270005500	Batimakana						9	839.0	70.0	19.9				
			1270046300	Toukoto	64	860.8	47.8	22.6									
			1170320000	Dalaba										21	1670.6	498.1	15.3
1170842000			Tougue	52.0	1577.2	722.4	12.9	37	1642.8	795.8	12.3						
		Moyenne					17.3					16.6				19.3	
Centre	1272600112	Galougo	1270014200	GALOUGO					21.0	925.6	167.9	14.9					
			1270008800	Diamou	38.0	717.6	118.1	16.1						19.0	643.0	70.4	16.0
	1272600118	KAYES	1270028000	KOUSSANE					21.0	694.0	136.8	14.9					
			1270008800	Diamou	40.0	712.2	96.1	17.0						21.0	639.9	60.7	16.7
	1382600103	Bakel	1270028000	KOUSSANE					21.0	694.0	124.3	16.7					
			1270000400	Ambidedi										19.0	508.3	61.4	16.4
	1272601606	Gourbassi	1270008800	Diamou	48.0	692.7	84.1	17.3									
			1270041000	Satadougou					46.0	1330.8	310.6	19.5					
	1382601609	Kidira	1270021700	Kenieba	53.0	1215.5	214.7	20.6						25.0	1053.3	121.4	22.6
			1270041000	Satadougou					46.0	1330.8	225.2	23.7					
	1272600115	Gouina	1380013000	Kidira										35.0	561.5	97.3	23.0
			1270038800	Sadiola	43.0	861.5	162.4	17.0									
					1270008800	Diamou	29.0	627.5	70.8	16.7				29.0	627.5	70.8	15.6
			Moyenne					17.4					17.9				18.4

La partie aval du bassin présente une pluviométrie très faible pour laquelle la relation pluies – apports ne s’applique pas. De plus, le débit du fleuve Sénégal à l’aval est grandement influencé par les différents ouvrages situés en amont (barrage de Manantali) et en aval (barrage anti-sel de Diama). Par ailleurs, les apports de cette zone subissent l’effet d’un grand nombre de prélèvements et on ne peut donc pas les qualifier « d’apports naturels ». La relation Pluie – Apport est dès lors faussée.

La Figure 78 présente la distribution de L avant et à partir de 1971 ainsi que sur la période totale. Les valeurs de L varient de 11 à 24. Naturellement, il y a toujours des erreurs d’échantillonnage avec des valeurs extrêmes. En outre la qualité toute relative des séries hydrométriques contribue à une dispersion des valeurs de L.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

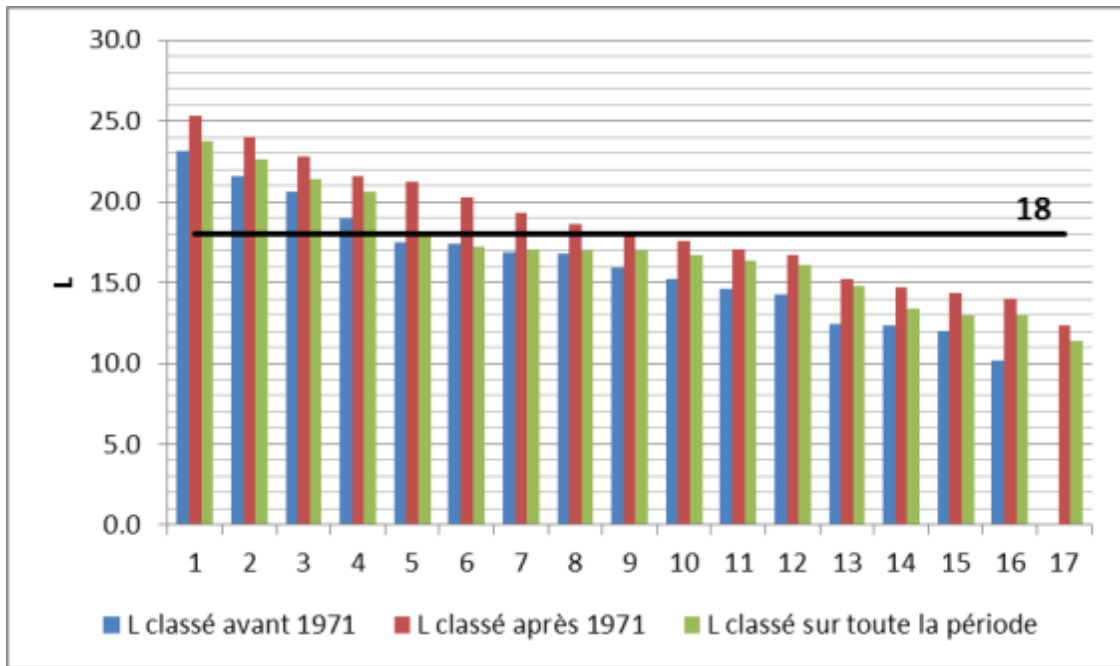


Figure 78. Classement des valeurs de L

La Figure 79 montre la répartition gaussienne des L observés. On observe que cette répartition se fait selon deux droites quasiment parallèles avec un L moyen pour les valeurs avant 1971 de 17.9 et un L moyen pour les valeurs après 1971 de l'ordre de 18.1. Sur la période totale, le L moyen vaut 17.4.

En définitive, une valeur moyenne de $L=18$ est retenue. Les fluctuations des valeurs calculées de L autour de 18 sont avant tout liées aux erreurs d'échantillonnage. La différence de L avant et à partir de 1971 n'est pas significative.

La qualité tout relative des séries hydrométriques ne permet pas d'être plus précis dans l'analyse des résultats.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

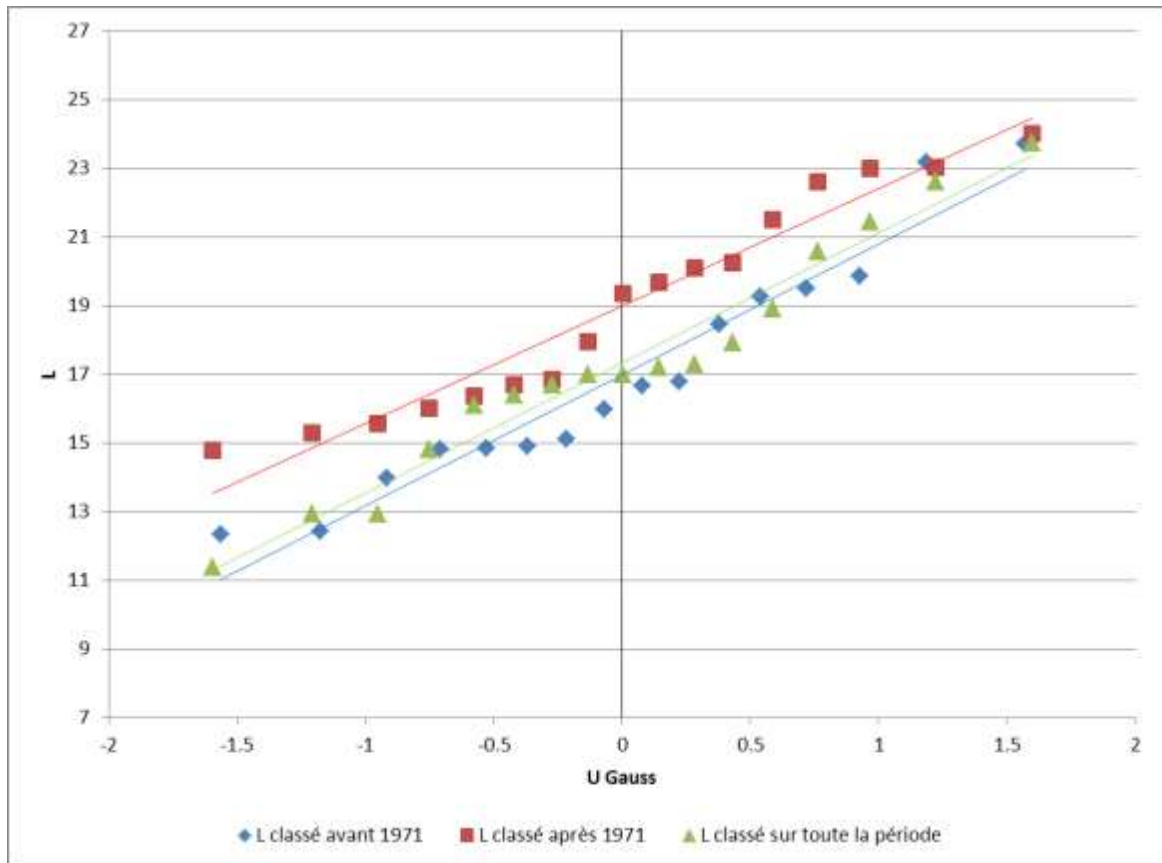


Figure 79. Résultat de l'analyse de la stabilité temporelle de la relation

D. Stabilité spatiale de la relation

Une analyse spatiale a ensuite comparé les valeurs obtenues de L pour les différents sous-bassins du BFS. Ceci n'a été possible que pour les bassins dont les précipitations ne sont pas trop faibles ce qui exclut les régions en aval du bassin, soit les sous bassins 6 et 7.

Les résultats obtenus pour L montrent une certaine dispersion sans pour autant qu'on puisse déceler une tendance d'évolution spatiale. Cette dispersion s'apparente davantage à des erreurs d'échantillonnage voire à des erreurs de mesure. L'estimation de Pa sur le bassin est entachée d'une certaine erreur du fait de la grande variabilité spatiale de la pluie. Ea est parfois entaché d'erreurs dues à la difficulté de mesurer les débits, et dues aux prélèvements qui modifient dans une certaine mesure les apports naturels.

La valeur moyenne de L se situe autour de 18.

On peut penser que la moyenne observée de L sur l'ensemble des stations est probablement débarrassée des erreurs d'échantillonnage, des fluctuations aléatoires d'estimation de la pluie et des erreurs de mesure.

Les codes stations hydrométriques et des pluviomètres mis en relation sont présentés dans le Tableau 47, et les valeurs de L ainsi que les moyennes par sous-bassins versants sont présentés dans le Tableau 48.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 48 – Résultats de l'analyse de la stabilité spatiale de la relation

Code station	Nom station	L avant 1971	L après 1971	L période totale
BV 1				
1272601215	Bafing Makana	18.5	20.1	18.9
1272601203	Daka Saidou	15.1	16.9	11.4
1172602006	Bebele	12.4	14.8	12.9
1172600125	Sokotoro	12.3	15.3	12.9
1172600106	Balabori	16.0	17.9	16.4
1272601218	Soukoutali	19.3	19.7	14.8
Moyenne		15.6	17.5	14.5
BV 2				
1272601209	Dibia	14.8	19.3	17.9
BV 3				
1272601412	Oualia	19.9	23.0	22.6
1272601415	Toukoto	14.0	21.5	21.4
1272604006	Siramakana	23.2	24.0	23.7
Moyenne		19.0	22.8	22.6
BV 4				
1272601603	Fadougou	16.8	20.2	17.2
1272601606	Gourbassi	19.5	22.6	20.6
1382601609	Kidira	23.7	23.0	17.0
Moyenne		20.0	21.9	18.3
BV 5				
1272600112	Galougo	16.1	14.9	16.1
1382600103	Bakel	16.7	16.4	17.3
1272600118	Kayes	14.9	16.7	17.0
1272600115	Gouina		15.6	15.6
Moyenne		15.9	15.9	16.5

La Figure 80 ci-après présente la valeur moyenne de L calculée pour chaque sous bassin versant hydrologique du BFS (pour lesquels la relation pluies-apports est valide) avant 1971 et à partir de 1971 ainsi que sur la période totale. Cet histogramme permet de montrer que la valeur L reste globalement stable sur n'importe quel sous bassin et quelle que soit la période considérée. On notera cependant que, pour le bassin 1 (bassin du Bafing, globalement montagneux), on a une valeur moyenne de L plus faible, notamment sur la période avant 1971 et sur la période totale. Ceci s'explique par des lames d'eau écoulées relativement importantes à l'amont du bassin, dues aux fortes précipitations.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

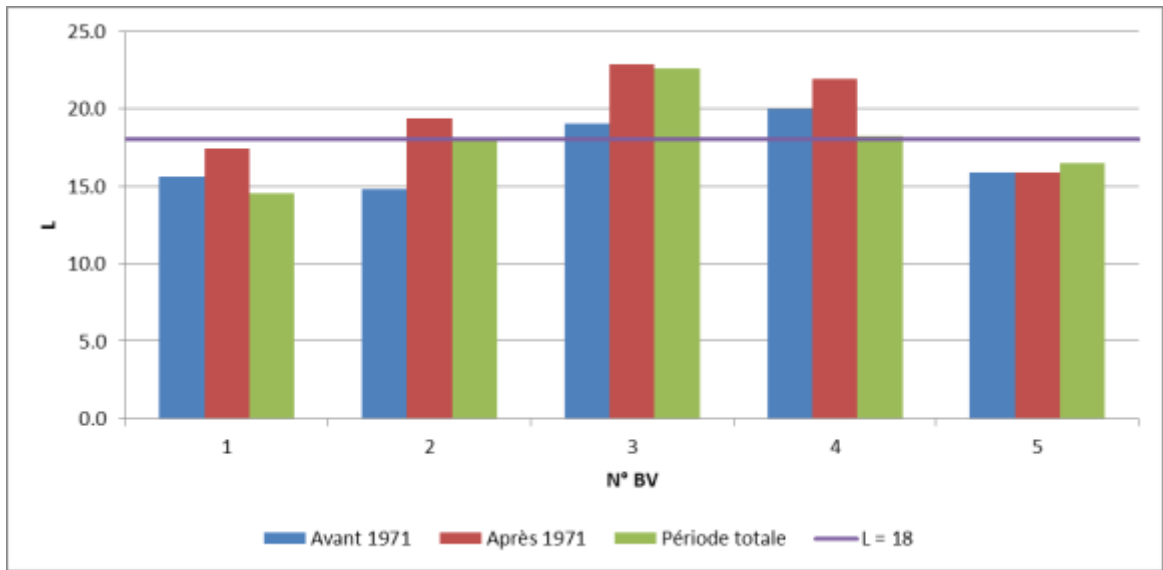


Figure 80. Stabilité spatiale de la relation - graphique

E. Conclusion sur la stabilité de la relation

La valeur moyenne de L a été obtenue pour des situations contrastées : évolution temporelle de la pluie (changements climatiques) et conditions spatiales, températures moyennes notamment, assez différentes. La stabilité spatio-temporelle de la relation pluies apports, avec une valeur moyenne de L=18, est établie.

Cette relation pluies-apports peut être appliquée dans un contexte de perte de stationnarité des grandeurs climatiques. Cette relation vaut uniquement pour les apports naturels. Elle est applicable à condition que les précipitations ne soient pas trop faibles, l’étude s’est donc limitée à la partie supérieure du bassin (amont de Bakel).

4.2.4.5. Détermination des apports naturels annuels pour différentes périodes de retour

La relation pluies apports a été établie sur la base des N années concomitantes entre la station pluviométrique et la station hydrométrique. L’échantillon des données sur ces N années concomitantes est entaché d’erreurs d’échantillonnage. Ce faisant la droite des précipitations Pa, tracée sur le papier Racine-Gauss et passant au mieux entre les données des pluies de l’échantillon, n’est pas la droite d’ajustement probabiliste des pluies qui passe par le pivot et la moyenne.

En revanche pour l’exploitation de la relation pluies apports, notamment pour déterminer les apports annuels pour différentes périodes de retour, en se calant sur l’ajustement probabiliste des pluies, on en déduit simplement les apports par application de la relation pluies apports. Ainsi si nous donnons à la pluie annuelle P(T), où T est la période de retour, sa valeur décennale, nous déduisons immédiatement la valeur décennale des apports E(T) par application de la relation :

$$\sqrt{Ea(mm)} = \sqrt{Pa(mm)} - L \tag{7}$$

Les apports naturels annuels aux systèmes hydrauliques E(T) se déduisent de la pluie annuelle E(T) de même période de retour :

$$E(T) = [\sqrt{P(T)} - 18]^2 \tag{8}$$

La pluie annuelle d’une période de retour T se calcule comme suit :

$$P(T) = \frac{Pa}{1 + u_0^2} [u(T) - u_0]^2 \quad (9)$$

Avec :

- Pa : pluie moyenne annuelle sur le bassin-versant
- u_0 pivot des pluies du bassin versant
- $u(T)$ loi normale qui peut être approchée par la relation suivante pour $T > 2$ et par son symétrique (même valeur absolue, mais négative cette fois) pour les périodes de retour sèches :

$$u(T) = 2.84 \text{Log}[-\text{Log}(-\text{Log}(1 - \frac{1}{T})) + 2.95] - 3.40 \quad (10)$$

L'apport annuel $V(T)$, en hm^3 , est le produit de l'écoulement (en m) par la superficie du bassin versant S (km^2) :

$$V(T) = \frac{E(T)S}{1000} \quad (11)$$

Les apports naturels annuels ont été calculés au barrage réservoir de Manantali, au site de Gourbassi ainsi que sur les principaux affluents du BFS tel que le Bakoye, le Baoulé ou le Kolimbiné.

Si le bassin versant est trop contrasté (grand bassin ou fort gradient des pluies à l'intérieur du bassin) on coupe le bassin versant en deux comme pour le BV1 avec la partie tête de bassin et la partie barrage Manantali. Ce travail est fait pour la période avant 1971 d'une part, sur la période à partir de 1971 d'autre part.

Afin de s'assurer de la fiabilité de la relation, nous avons comparé les valeurs des débits calculés par la relation avec celles calculés à partir des données hydrométriques. Dans la comparaison, nous avons surtout cherché, à minimiser l'écart pour les valeurs des petites périodes de retour (10 ans, 5 ans et la normale). En effet, pour l'élaboration du plan, nous nous intéressons principalement des périodes de faibles temps de retour plutôt qu'à des périodes sèches ou humide cinquantennale ou centennale.

Pour une grande partie des stations hydrométriques, les résultats calculés par la méthode SPEED sont relativement proches, pour des temps de retour de 5 à 10 ans, des valeurs calculées à partir des données observées.

Il est important de bien noter que, ce faisant, on obtient les apports naturels annuels qui sont donc exempts de tous prélèvements. La détermination des apports non naturels nécessite l'utilisation d'autres outils, des modèles de gestion de bassin du type WEAP, qui viennent s'alimenter, en conditions aux limites, sur les résultats que fournit la présente étude. Les apports sont « naturels » au sens où il est supposé qu'il n'y a pas de prélèvement dans le cours d'eau. Les apports « naturels » des bassins versants sont « reconstitués » au moyen d'observations et des outils hydrologiques présentés ci-dessus.

Si la pluviométrie est inférieure à 270 mm, en particulier pour des temps de retour en période sèche, la relation pluie débit ne fonctionne plus, on considère les apports comme une relation linéaire quasi constante. On considère qu'en dessous d'un certain seuil les apports sont constants.

Le tableau suivant fournit les apports naturels calculés par SPEED à la station hydrométrique de Bafing Makana sur le Bafing. Pour les établir nous avons conservé les valeurs de L établies pour

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

cette station et les pluies de la station de Tougué. Les apports calculés sont globalement cohérents avec ceux observés à la station.

Tableau 49 – Apports naturels annuels du Bafing à Bafing Makana calculés par SPEED

Bafing Makana	Période sèche					normale	Période humide				
	100	50	20	10	5		2	5	10	20	50
T	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
u(T)	-2.33	-2.05	-1.64	-1.28	-0.85	0.00	0.85	1.28	1.64	2.05	2.33
Pluie (mm) avant 1971	986	1055	1160	1256	1375	1628	1902	2049	2176	2325	2430
Pluie (mm) à partir de 1971	943	994	1071	1141	1227	1407	1599	1700	1788	1891	1962
E(t) en mm avant 1971	167	195	242	287	345	477	631	716	792	883	948
E(t) en mm à partir de 1971	115	133	162	190	226	306	399	451	497	551	590
Apports annuels (Mm ³) avant 1971	3663	4299	5322	6310	7600	10503	13874	15758	17428	19431	20863
Apports annuels (Mm ³) à partir de 1971	2526	2926	3563	4175	4969	6742	8785	9922	10926	12129	12987

Le tableau suivant fournit les apports naturels annuels calculés par SPEED du Bafing à Manantali pour différentes périodes de retour. La valeur moyenne de L=18 et une pluie de bassin plus faible que pour Bafing Makana ont été considérées.

Tableau 50 – Apports naturels annuels du Bafing au barrage réservoir de Manantali calculés par SPEED

Manantali	Période sèche					normale	Période humide				
	100	50	20	10	5		2	5	10	20	50
T	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
u(T)	-2.33	-2.05	-1.64	-1.28	-0.85	0.00	0.85	1.28	1.64	2.05	2.33
Pluie (mm) avant 1971	563	602	662	717	785	929	1086	1169	1242	1327	1387
Pluie (mm) à partir de 1971	494	521	561	597	643	737	837	891	936	990	1028
E(t) en mm avant 1971	33	43	60	77	100	156	223	262	297	340	370
E(t) en mm à partir de 1971	18	23	32	42	54	84	120	140	159	181	198
Apports annuels (Mm ³) avant 1971	911	1188	1659	2138	2789	4331	6211	7291	8261	9440	10290
Apports annuels (Mm ³) à partir de 1971	497	646	898	1154	1502	2324	3325	3899	4415	5042	5494

Avec L=18 et la pluie de bassin considérée dans les calculs, les apports et donc les débits obtenus pour Manantali sont significativement plus faibles que ceux calculés et observés sur les mêmes périodes à Bafing Makana ; ils sont ici clairement sous-estimés. Ceci met en évidence la grande sensibilité de la formule pluie-apport qui est au carré. Sans remettre en cause l'intérêt de l'approche SPEED, il est donc préférable, quand ceci est possible, d'exploiter les séries de débits observés. Or ceci est possible sur le BFS car on a pu vérifier qu'elles sont de bonne qualité. En outre les épisodes hydrologiques très divers que le BFS a connus peuvent être mis à profit dans l'analyse.

Néanmoins, les chiffres des tableaux ci-dessus mettent en évidence les fortes non-linéarités du processus physique pluies-apports. Ainsi, les chiffres suggèrent pour Manantali qu'une réduction de 21% des pluies sur le bassin versant du réservoir de Manantali conduit à une réduction de 46% des apports.

4.2.5. Analyse des données piézométriques

L'hydrogéologie dans le bassin du fleuve Sénégal est caractérisée par l'existence de plusieurs nappes souterraines correspondant à des formations géologiques différentes qui se sont mises en place respectivement au Primaire, à la fin du Secondaire, du Tertiaire et au Quaternaire.

4.2.5.1. Présentation des différentes nappes

On compte 5 nappes différentes sur le BFS¹³ :

¹³ SDAGE, phase 1 : Etat des lieux et diagnostic, décembre 2009

- **La nappe du Maastrichtien** : on la trouve dans tout le bassin Sénégal-mauritanien. La rive gauche du fleuve constituerait selon certains auteurs, une zone d'alimentation de la nappe à partir du fleuve.
- **La nappe de l'Eocène** : elle est présente sur tout le bassin sédimentaire excepté dans la zone d'affleurement ou de sub-affleurement du Maastrichtien où elle a été érodée. L'alimentation de cette nappe est tributaire des eaux de pluie, des eaux du fleuve (infiltration suite aux crues) ou des eaux de la nappe maastrichtienne par drainage vertical.
- **La nappe du Continental terminal (CT)** : elle regroupe :
 - La nappe du Trarza est en grande partie fossile et est menacée de surexploitation en plus de la présence d'un biseau salé. Elle constitue la plus importante et la plus régulière des réserves de tout le bassin sédimentaire côtier en Mauritanie ;
 - La nappe de Ferlo située sur la rive gauche du fleuve. Elle se présente plus en creux que la nappe du Trarza.
- **La nappe alluviale ou nappe du Quaternaire** : la nappe alluviale couvre le lit majeur du fleuve. L'écoulement de cette nappe s'inverse entre la crue et l'étiage du cours d'eau. Les études piézométriques montrent que les nappes alluviales sont alternativement alimentées et drainées par le fleuve.
- **Les aquifères du socle** : Ils ont été identifiés sur le BFS au Sénégal Oriental, au Mali et en Guinée.
 - Dans la partie malienne du haut bassin, on rencontre des nappes constituant en général un système aquifère en continuité hydraulique.
 - Au Sénégal, les aquifères du socle dans le bassin du fleuve Sénégal sont localisés dans la haute vallée, principalement au Sud de Sémé. Ils renferment des ressources en eau peu importantes. Les paramètres hydrauliques, généralement médiocres, ne permettent le plus souvent que l'exhaure de débits limités à quelques m³/h. De plus, dans la majeure partie du delta, la nappe alluviale est peu utilisée pour l'agriculture même si la nappe se trouve à une faible profondeur (<3m). En effet, les eaux de la nappe sont imprégnées du sel des formations géologiques, les rendant impropres à l'utilisation agricole.

Dans la partie guinéenne du bassin, on distingue des aquifères discontinus de type fissuré ou inter granulaire de bas fond et des aquifères semi continus de type fissuré avec une nappe superficielle inter granulaire. Le milieu fracturé caractéristique des environs du barrage de Manantali est hydrogéologiquement mal connu. Le potentiel en eau souterraine est estimé à 13 milliards de m³ répartis sur 3 nappes. Les résultats des travaux hydrogéologiques effectués jusqu'à nos jours ne permettent pas la connaissance des ressources en eau souterraines de ce pays en terme de localisation précise des aquifères.

4.2.5.2. Paramètres et données sur les nappes

Le tableau ci-dessous présente les paramètres hydrodynamiques des différentes nappes du bassin sur les formations Quaternaire, Eocène et Maastrichtienne.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Nappes de formations Quaternaires			
Sondage de :	Transmissivité (*10 ⁻³ m2/s)	Coefficient d'emmagasinement (*10 ⁻³)	Source (auteur, programme...)
Kanel (F1)	6,0	2,0	Illy 1973
Matam (F6)	7,2	0,6	Illy 1973
Bogué (Fg bis)	0,7	1,3	Illy 1973
Nianqa (F10)	9,2		Illy 1973
Nianqa (F12)	0,07		Illy 1973
Saldé	1,3		Illy 1973
Podor (GA 237)	5,5	0,45	Equesen 1993
Mbakhna (GA 334)	15	2,2	Equesen 1993
Thilogne (GA 318)	9,5	0,2	Equesen 1993
Wali (DA 250)	5,0	0,07	Equesen 1993
Kanel (GA 345)	17	0,064	Equesen 1993
Keur Macene (DA 032)	2,0	0,45	Equesen 1993
Lac de Guiers (GA 264)	1,0	0,45	Equesen 1993
Diana (DA 001)	2,5	0,25	Equesen 1993
Nappes de formation Eocène			
Sondage de :	Transmissivité (*10 ⁻³ m2/s)	Coefficient d'emmagasinement (*10 ⁻³)	Source
Boynadi (GA 368)	9,0	850	Equesen 1993
Ebakana (GA 333)	40	8,5	Equesen 1993
Thilogne (GA 319)	7,5	12	Equesen 1993
Wali (DA 249)	8,0	0,061	Equesen 1993
Youmaniré (DA 241)	21		Equesen 1993
Mbagne (DA 264)	9,0	0,58	Equesen 1993
Bagoudine (DA 268)	12		Equesen 1993
Mafoundou (DA 220)	40	0,2	Equesen 1993
Nappes de formation Maastrichtienne			
Sondage de :	Transmissivité (*10 ⁻³ m2/s)	Coefficient d'emmagasinement (*10 ⁻³)	Source
Kanel (GA 345)	15	0,42	Equesen 1993

Figure 81. Paramètres hydrodynamiques des nappes (source : SDAGE phase I)

D'après l'étude d'Illy de 1973, le fleuve et la nappe contiguë constituent une source de recharge des aquifères profonds du Continental Terminal, de l'Eocène et du Maastrichtien. Le niveau de la nappe alluviale dépend du niveau d'eau dans le fleuve. Les périodes de crues permettent le rechargement et à l'inverse, en saison sèche, la nappe soutient le débit du fleuve.

L'estimation, selon l'IRD, des volumes échangés entre le fleuve et la nappe est de l'ordre de 330 Mm³/an¹⁴. Les eaux souterraines de la vallée du fleuve Sénégal appartiennent à trois aquifères principaux superposés, qui ont une très bonne communication piézométrique avec la nappe alluviale. Le niveau des nappes est donc étroitement lié avec la pluviométrie et la gestion des eaux sur le fleuve.

A. La nappe alluviale

Le niveau de la nappe alluviale est très lié au niveau d'eau dans le fleuve. Le relèvement du niveau d'eau dans le fleuve à l'amont de Diama et le soutien des débits d'étiage par le barrage de Manantali ont permis une augmentation de la recharge de la nappe. Le volume d'eau stockée dans la nappe a été estimé à environ 225 Mm³.

Sur la partie aval du BFS, le fleuve alimente la nappe alluviale en périodes de hautes eaux. Le système de marigots et de cuvettes permet également une recharge importante de la nappe.

¹⁴ Calculée à partir des données de l'année 1989

B. La nappe du Trarza

La nappe du Trarza est la plus grande nappe sur la partie aval Sénégal-Mauritanienne. Elle est en grande partie fossile et est menacée de surexploitation en plus de la présence d'un biseau salé. La nappe du Trarza s'étend sur une superficie d'environ 40 000 km². Elle assure l'alimentation en eau potable les régions de Nouakchott, du Trarza et la partie ouest du Brakna¹⁵. Environ 2000 points d'eau (en majorité des puits) ont été recensés dans le Trarza en 2011 par le Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement (MHA) dans le cadre de la mission AGIR¹⁶. Ces forages d'eau sont utilisés pour l'alimentation en eau potable et l'abreuvement du cheptel. Les prélèvements effectués sont très faibles et extrêmement dispersés. La seule exploitation intensive était celle du champ captant d'Idini qui alimentait en eau potable Nouakchott entre 1965 et 2011. Mais, depuis 2011, la ville est alimentée par les eaux du fleuve Sénégal via la station de Keur-Mecèn située à 30 km en amont du barrage de Diama. Le volume prélevé à Idini en 2010 était de l'ordre de 60 000 m³ par jour. Les autres prélèvements pour l'alimentation des centres urbains sont moins importants. Le volume exploité est évalué par la Société Nationale de l'Eau (SNDE) à environ 8 000 à 10 000 m³ par jour.

Depuis 1959 la nappe du Trarza est relativement bien suivie et des données sont disponibles. Les données récentes proviennent de l'étude « Inventaire des ressources en eau du Trarza » réalisée par Hydroconseil dans le cadre de la mission AGIR/MHA.

Pour l'ensemble des piézomètres, la baisse moyenne depuis 1965 ne dépasse pas 1,3 m soit environ 2,5 cm par an en même temps que la production journalière de pompage passait de 1000 m³ (2 forages) en 1973 à 60 000 m³ en 2010 (36 forages).

En régime naturel, le suivi hydrodynamique de Diagona (1994) dans la moyenne vallée indiquait un flux à double sens : une décharge de la nappe vers le fleuve en saison sèche et une recharge de la nappe en saison des pluies. En 1986, l'OMVS a mis en service le barrage de Diama principalement pour empêcher la remontée saline dans le cours du fleuve. Avant la construction du barrage de Diama, le niveau du fleuve variait entre 0 et 300 cm (cote IGN) à Rosso à 120 km de l'embouchure ; depuis la construction de Diama, le niveau est maintenu à une cote supérieure à 200 cm à Rosso. Cette stabilité du niveau des eaux de surface en position plus haute que la nappe en toutes saisons nous pousse à imaginer une recharge continue de la nappe par l'infiltration latérale des eaux du fleuve.

Cette hypothèse a été vérifiée par des mesures piézométriques faites dans des puits près du fleuve et comparées aux données de 1961-1964 (Service du Génie Rural, 1964).

Tableau 51 – Comparaison des mesures piézométriques entre 1964 et 2011 (source : thèse Ahmed Salem Mohamed¹⁷)

Site	long.	lat.	Distance du		Profondeur (m)		Fluctuations (m)	
			fleuve (Km)	Margelle (2011) (m)	1964	2011	1964	2011
El Aedi	15,89	16,60	8,00	0,20	3,37	2,30	0-0,55	0-0,21
El khemsans	15,84	16,67	8,00	0,50	7,97	9,21*	0-1,54	0-0,61
Kraa Lahmar	15,75	16,80	15,00	0,50	15,69	15,43*	0-5,00	0-0,13
Bagoeinite	15,75	16,72	7,00	0,75	13,32	12,3*	0-2,71	n.d.

(*) mesure au cours de pompage ou après pompage ; n.d: non déterminé

¹⁵ SDAGE, phase 1 : Etat des lieux et diagnostic, décembre 2009

¹⁶ Approches géochimique et hydrodynamique de la recharge de la nappe du Trarza, Sud-Ouest de la Mauritanie, Ahmed Salem Mohamed

¹⁷ Approches géochimique et hydrodynamique de la recharge de la nappe du Trarza, Sud-Ouest de la Mauritanie, Ahmed Salem Mohamed

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Bien que le nombre des points de comparaison soit très réduit, le niveau de la nappe semble avoir peu bougé entre 1964 et 2011. Cette stabilité ne peut être maintenue qu'avec une recharge de la nappe relativement constante dans le temps et suffisamment "forte" pour compenser l'augmentation des pompages, concentrés à Idini et diffus sur le reste de la région (la population a doublé en 40 ans). La recharge de la nappe provient de la pluie, toujours irrégulière à court terme, et des eaux du fleuve. Les apports de ce dernier sont devenus plus importants depuis la construction du barrage de Diama, ce qui confirme la précédente hypothèse. La fluctuation du niveau de la nappe est moins importante après la construction du barrage de Diama qu'en 1964.

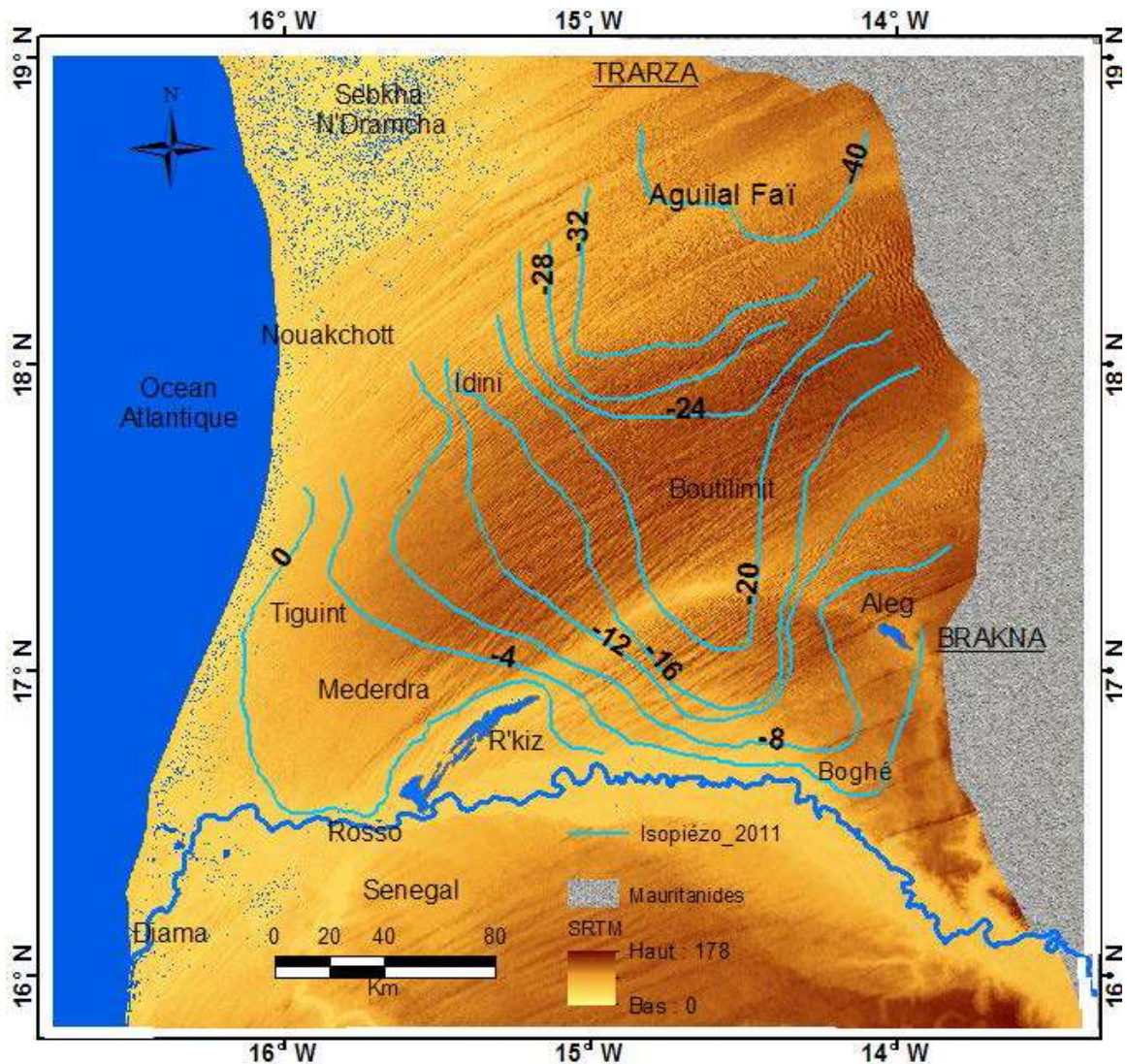


Figure 82. Carte piézométrique de la saison sèche 2011 (thèse Ahmed Salem Mohamed)

L'écoulement général des eaux souterraines de la nappe du Trarza se produit du Sud vers le Nord, c'est-à-dire du fleuve Sénégal vers la dépression au nord de Boutilimit où la nappe est à plus de 30 m sous le niveau de la mer : au pied de la chaîne des Mauritanides.

Le gradient hydraulique moyen est de l'ordre de 1 ‰. Les courbes piézométriques sont très espacées, ce qui indique une bonne perméabilité et/ou un faible flux. Aux environs de Boghé, les courbes piézométriques serrées suggèrent une perméabilité plus faible que dans le reste de la nappe (Ould El Joud, 1998). La courbe 0 m enveloppe le lac de R'kiz, le lac a donc un impact important sur l'hydrodynamique de la nappe.

On remarque sur cette carte que même s'il manque des données pour tracer au Nord et à l'Est l'ensemble des courbes isopièzes, la forme générale de la nappe rappelle les dépressions

piézométriques fermées dites de « nappes en creux ». Cette forme de nappe en creux a été identifiée dans de nombreux autres aquifères du Sahel (e.g. Guiraud, 1988 ; Aranyosy & Ndiaye, 1993). Ces nappes sont caractéristiques de très faibles flux horizontaux et une évapotranspiration assez faible.

Le relative stabilité de la nappe peut suggérer une nappe fossile immense de 80 Milliards de m³. Avec un volume total annuel prélevé de 10 Mm³, soit 500 Mm³ sur les 50 dernières années, sans aucune réalimentation de la nappe, le volume prélevé induirait une baisse de 6 cm du niveau de la nappe en 50 ans, ce qui est imperceptible en regard des autres sources d'erreur. Ce petit calcul simpliste ne donne qu'un ordre de grandeur et confirme qu'il est logique de rencontrer des fluctuations lentes et faibles dans la nappe du Trarza¹⁸. Une autre hypothèse est celle d'une alimentation continue par les eaux du fleuve et des défluent.

Cette nappe est un aquifère multicouche qui se répartit en une nappe phréatique faiblement chargée (1 g.l-1) située entre 10 et 40 mètres, en une nappe subphréatique douce (0,15 à 0,4 g.l-1) entre 60 et 90 mètres (c'est cet horizon aquifère qui est actuellement exploité pour l'alimentation en eau de Nouakchott) et en une nappe profonde (150 à 170 mètres) et salée (4 g.l-1). Du fait de la faiblesse du renouvellement de la réserve et des risques potentiels importants de salinisation par intrusion saline (favorisée par une exploitation intensifiée) et par des interactions avec l'encaissant, la nappe douce du Trarza est une ressource assez vulnérable.

C. La nappe du Ferlo

Sur la rive gauche du Sénégal, se trouve la nappe du Ferlo, dans les formations du Continental Terminal. Cette nappe se présente plus en creux que celle du Trarza. Sa surface piézométrique dessine une vaste cuvette, avec des bords relevés le long de la vallée du fleuve, atteignant +40 m vers le Sud-Est, près de Bakel, et avoisinant la côte (0 m) au Nord. Le niveau descend à (-40 m) entre le fleuve et la vallée du Bounoum et même à -50 m au Sud-Ouest de Linguère.

L'alimentation de cette nappe semble se faire uniquement sur ses bordures par les crues du fleuve. Un apport direct des eaux de pluies par la surface n'est guère possible, à cause de la grande profondeur de la nappe et des conditions climatiques déjà défavorables.

La nappe dite du Ferlo, région plutôt à vocation sylvopastorale, satisfait, par le biais des puits traditionnels, les besoins en eau de nombreux villages qui n'ont pas accès aux forages hydrauliques, captant la nappe profonde du Maastrichtien.

4.3. EVALUATION PAR SOUS-BASSIN DE LA PERCEPTION DU CLIMAT ET DE SES IMPACTS PAR LES POPULATIONS (T2.7)

Les enquêtes de perception réalisées au cours de la mission de collecte de données dans les quatre pays révèlent de réelles inquiétudes aussi bien des populations que des autorités face aux impacts des changements climatiques.

Les populations enquêtées avaient du mal à donner une définition du concept de changements climatiques. Mais les constats faits par les uns et les autres montrent que les populations vivent effectivement les impacts liés à ces changements climatiques. A la question de savoir « qu'est-ce que le changement climatique? » la réponse a toujours été de dire « les cours d'eau tarissent, les pluies sont rares, il fait plus chaud maintenant ».

Sur la question liée aux causes qui entraînent les changements climatiques, trois réponses différentes ont été recueillies,

- 98% des personnes enquêtées accusent l'homme d'être la cause principale des changements climatiques avec les coupes abusives de bois, les cultures au niveau des berges entraînant un ensablement des cours d'eau ;

¹⁸ <http://www.h2o.net/infrastructures-environnements-urbains/defis-pour-un-cinquantaire/page-4.htm>

- 1,5% des réponses donnent pour cause la pollution par les gaz à effet de serre dont les pays occidentaux sont à l'origine ;
- 0,5% qui considèrent les changements climatiques comme une volonté divine.

Ces impacts locaux sont analysés en termes de vulnérabilité des populations et leurs incapacités à développer des activités résilientes permettant de faire face à ces chocs que créent les changements climatiques. Les pluies sont de plus en plus rares ou mal réparties avec souvent de longues pauses pluviométriques rendant ainsi difficile la possibilité pour les agriculteurs de caller leurs activités agricoles sur un calendrier saisonnier pour lequel ils n'ont aucune maîtrise.

La forte diminution de la pluviométrie a aussi beaucoup d'impacts sur le cheptel, car sans pluies, il n'y a pas d'herbes alors que le prix des aliments de bétail augmente de manière exagérée. Les troupeaux de bétail meurent par dizaines parce qu'il n'y a rien à leur donner. C'est l'explication que donne cet agriculteur/éleveur qui, en l'espace de deux ans, a perdu plus de quinze vaches sans compter les dizaines de petits ruminants de sa famille qui sont morts.

Il faut également noter que les impacts locaux liés aux changements climatiques entraînent parfois même des inondations. Quand elles arrivent, les maisons sont inondées, les champs sont envahis par les eaux et elles entraînent une dissémination du cheptel. C'est le cas de l'hivernage de 2014 au cours duquel des ouvrages (ponts) se sont affaîsés à cause de la violence des crues. C'est le cas des barrages de Touhué de la Sous-Préfecture de Gona qui avaient été emportés par les eaux entraînant d'importants dégâts dans le village de Belly Diaobé. Les populations de cette localité avaient perdu toutes leurs récoltes et un nombre important de têtes de bétail.

Enfin, il y a les impacts sur les ressources naturelles, la coupe abusive des arbres, l'abandon des initiatives locales de reboisement ; la rareté des pluies a de forts impacts sur les espèces végétales et fauniques. Beaucoup d'arbres et d'animaux sauvages qui existaient en brousse ont disparu. Selon un membre du GIE de Téméssou de la commune de Diamou (Mali), « même les singes ont des difficultés aujourd'hui dans la brousse ». Lors du Focus Group hommes à Diangounté Camara (Mali), les populations se rappelaient, jusqu'à une date récente, des cris des hyènes non loin des maisons, ce que les populations n'entendent plus. Selon l'adjoint au maire de la commune de Diamou, il y a une dizaine d'années, pour chasser, on avait besoin d'aller loin, alors qu'aujourd'hui, on peut rester une journée dans la brousse avec son fusil sans tuer un seul gibier.

Par faire passer des informations, trois canaux de communications sont généralement utilisés :

- Les radios locales, elles sont les plus utilisées car pour donner des informations les communicateurs utilisent la langue locale ;
- Les organisations communautaires de base (OCB), elles sont de véritables outils de communication capables de faire passer des informations en un laps de temps court ;
- Les marchés hebdomadaires, ils représentent des lieux de rencontres et d'échanges. Les populations en profitent toujours pour faire passer des messages.

4.3.1.1. SB1 – Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali

A. Agriculture

Les changements climatiques rendent plus vulnérables les populations, surtout celles des zones rurales. L'agriculture qui a toujours été la principale activité et la première source de revenus des ménages connaît de réelles difficultés. En Guinée, expliquait un paysan de la commune de Tougué « on entendait toujours parler de sécheresse ailleurs et ici on ne savait même pas de quoi il s'agissait, mais voilà que nous la vivons pratiquement de manière quotidienne ». Les agriculteurs n'ont plus aucune maîtrise sur le calendrier saisonnier à cause d'une pluviométrie très perturbée. Une année, il pleut beaucoup, une autre année il pleut très peu; ce qui fait que les populations se sentent aujourd'hui déstabilisées car ne sachant à quel moment il faut semer et combien de temps il va pleuvoir. C'est un vrai jeu de hasard que jouent les populations dans les zones rurales. C'est

ce qu'illustrent les propos d'un membre de la CRD Koyin lors de l'assemblée villageoise avec les populations de Parawol Marga : « Cette année c'est l'abondance parce que tu récoltes beaucoup et tu remercies le bon Dieu (tu dis Al Hamndoullilah), l'année suivante, c'est la catastrophe et tu te désolés (tu dis Soubkhana Lah) parce que tu n'as rien gagné cette fois ». Il poursuit pour expliquer que c'est exactement ce qui lui est arrivé pendant l'hivernage 2014 où il a eu à récolter beaucoup de riz et l'année suivante tout le village est allé semer, malheureusement c'était la catastrophe, en effet personne n'a rien récolté.

Ces différents éléments donnent une idée, sur le niveau des impacts locaux liés aux changements climatiques, en effet les populations se nourrissent d'agriculture et d'élevage alors que ces secteurs d'activités sont largement dépendants des aléas climatiques (déficits pluviométriques ou inondations récurrents) qui ont des impacts négatifs sur leurs systèmes de productions et de productivité.

B. Elevage

Le secteur de l'élevage, connaît un accroissement continu dans ce sous bassin malgré les difficultés liées aux changements climatiques et leurs corollaires (rareté des puits ayant de l'eau, assèchement des cours d'eau, insuffisance des points d'eau, manque de fourrage). Les populations rencontrées ont fait état d'importantes pertes de leur bétail à cause de ces contraintes majeures liées aux changements climatiques.

A ces difficultés s'ajoutent les conflits permanents entre éleveurs et agriculteurs. Lors de la mission de collecte de données, l'équipe a été informée d'une prochaine mission dans la région de Labé surtout pour sensibiliser davantage les acteurs à une meilleure gestion et à une sécurisation de leur troupeau. La prise en compte de cette problématique donne beaucoup d'espoir aux populations d'autant plus que les conflits entre agriculteurs et éleveurs sont devenus récurrents dans cette zone.

C. Pêche

La pêche a fortement subi l'impact des changements climatiques et les prises sont extrêmement faibles. Les cours d'eau se rétrécissent à cause d'un ensablement du fait des agriculteurs qui cultivent sur les berges et qui coupent les arbres qui retenaient la terre.

L'assèchement des cours d'eau à cause de la faiblesse de la pluviométrie rend également difficile la pratique de cette activité.

Tous ces facteurs ont entraîné une réduction des zones de pêche qui, jadis, nourrissaient en poissons des centaines de familles. Les acteurs du secteur ne trouvant plus d'intérêt à rester dans un secteur qui ne leur permet plus de nourrir leur famille ont préféré investir d'autres secteurs comme l'agriculture ou l'élevage ou bien même regagner les grands centres urbains.

D. Energie

Les populations de ce sous-bassin sont aujourd'hui confrontées à beaucoup de difficultés d'approvisionnement en électricité du fait des changements climatiques dont le principal corollaire est l'assèchement des cours d'eau où sont installés certains barrages hydro-électriques (Kaléta, Souapetit, Fomi). Un tel déficit impacte beaucoup sur la vie des populations des zones concernées car l'électricité y est soit rationnée par un nombre d'heure (7 à 8 heures par jour), soit par alternance (on donne de l'électricité à tel quartier aujourd'hui et on sert un autre quartier le lendemain).

Certains grands centres comme Mali, Koyin, Tougué continuent d'être alimentés en électricité à partir de groupes électrogènes, ce qui n'est pas durable vu les coûts très onéreux d'entretien et de maintenance des machines.

4.3.1.2. SB2- Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé**A. Agriculture**

Dans cette partie du BFS, l'agriculture reste toujours la première activité et la source de revenus la plus importante. On y trouve comme principales spéculations: l'arachide, le coton, le sorgho, le maïs, le riz, la patate. On compte également dans les berges de la zone du bassin des cultures maraîchères comme l'oignon, la tomate, l'aubergine, la pomme de terre, la laitue, l'oignon, la betterave, le gombo, le manioc, le chou, la carottes, la tomate.

La baisse de la pluviométrie et l'ensablement des cours d'eau sont des contraintes majeures qui empêchent à l'agriculture de se développer. L'hivernage s'installe tardivement et connaît souvent de longues pauses pluviométriques

B. Elevage

Il est pratiqué par tous, mais quelques ménages possèdent des troupeaux importants. Cependant, il y a une tendance à l'abandon de l'activité du fait des difficultés que rencontre le secteur dû aux impacts des changements climatiques

La rareté des pluies qui provoque un rétrécissement des zones de jachères et la forte chaleur caniculaire qui provoque un assèchement des herbes installent cette activité du secteur dans une situation assez difficile. Le secteur perd ainsi de manière continue le dynamisme qui l'a toujours marqué. Les acteurs de ce secteur traversent depuis plusieurs années des conditions de vie précaires.

C. Pêche

La pêche est une activité pratiquée le long du fleuve Sénégal et de ses affluents (le Bakoye et le Bafing), aussi bien par les étrangers que par les autochtones. Elle est peu développée dans la zone du sous-bassin, avec une baisse continue des prises. Le barrage de Manantali est le seul site où l'on trouve encore des poissons qui permettent l'approvisionnement en poissons des grands centres urbains (Kayes et Bamako).

Les rares acteurs qui s'y exercent tirent des revenus assez substantiels de ce secteur. La rareté du poisson fait que les prix sont devenus très élevés rendant l'accès à ce produit très difficile. La variabilité climatique du BFS, conduisant à la réduction du volume d'eau, installe le secteur dans une perspective sombre pouvant impacter sur l'équilibre nutritionnel des ménages et sur la sécurité alimentaire des populations.

D. Exploitation forestière

Le secteur de la cueillette a longtemps servi de source de revenus pour la plupart des femmes du sous-bassin. Il permettait également l'autoconsommation et la vente, surtout avec le fort trafic du chemin de fer Dakar-Bamako.

Malheureusement les changements climatiques et ses conséquences entraînent une forte diminution des fruits forestiers (karité, néré, pain de singe). La pauvreté est un facteur aggravant de la déforestation incitant d'autres acteurs à se reconvertir dans l'exploitation des ressources forestières pour en tirer des ressources, détruisant au passage les arbres fruitiers.

4.3.1.3. SB3- Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé**A. Agriculture**

L'agriculture sous pluies développée dans cette zone du bassin permettait aux acteurs de prendre en charge leurs familles. On y pratiquait plusieurs types de spéculations que sont notamment le mil, l'arachide, le haricot, le maïs et le fonio.

Les activités maraîchères (chou, aubergine, oignon, oseille, tomate) qui commençaient à se développer il y a quelques années, connaissent aujourd'hui beaucoup de difficultés avec les changements climatiques. Les femmes qui étaient les principales actrices de ce secteur se sont pour la plupart du temps converties dans le petit commerce et l'élevage où elles tirent quelques revenus.

B. Elevage

Les deux types d'élevage pratiqués dans la zone du sous-bassin sont intensif et extensif (sédentaire, transhumant) avec comme principales espèces les bovins, ovins, caprins, équins, asins et les volailles. L'élevage est caractérisé par un regroupement Nord-Sud de décembre à juin et Sud-Nord de juin à novembre.

Le sous-bassin est une zone caractérisée par d'importants troupeaux de transhumants venus du Mali et des pays limitrophes comme le Sénégal et la Mauritanie. C'est un secteur qui traverse aujourd'hui beaucoup de difficultés pour l'abreuvement du cheptel à cause des changements climatiques et ses conséquences (assèchement des cours d'eau, avancée de la sécheresse).

C. Pêche

Elle est pratiquée de manière artisanale dans les cours d'eau importants (mares, bas-fonds) et dépend fortement de la pluviométrie et donc des changements climatiques. Cette activité est pratiquée de manière irrégulière dans la plupart des villages du sous-bassin. Elle est purement artisanale et ne comprend que les espèces d'eau douce: silures et carpes.

4.3.1.4. SB4- La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal

A. Agriculture

L'agriculture et le maraîchage sont les activités agricoles généralement exercées par les populations du sous-bassin. Les principales spéculations développées sont le sorgho, le maïs, le fonio, le riz pluvial et l'arachide pour l'agriculture, et la tomate, l'aubergine, le gombo, pour le maraîchage. Quel que soit le type d'activité, il reste clair que l'agriculture est totalement soumise aux perturbations du calendrier cultural et à la variabilité des pluies. Les changements climatiques impactent beaucoup les rendements et la productivité dans le secteur de l'agriculture avec l'assèchement et l'ensablement des cours d'eau, la hausse de la chaleur et l'augmentation de la température pendant toute l'année.

La situation risque malheureusement de durer avec les manifestations des changements climatiques. Les revenus que tiraient les acteurs du secteur de l'agriculture risquent de baisser fortement et d'entraîner les ménages dans une certaine précarité ouvrant la voie à l'exode rural et l'engouement des jeunes vers les zones minières comme on le note dans la région de Tambacounda dont une partie est installée dans ce sous bassin.

B. Elevage

Dans le sous-bassin, l'élevage est étroitement lié à l'agriculture. Les bovins sont les plus développés dans la zone mais leur nombre diminue de manière continue avec d'importants cas de mortalités enregistrés chaque année.

Il faut également noter l'importance de la transhumance dans la zone qui représente une grande source de conflits entre agriculteurs et éleveurs.

4.3.1.5. SB5- Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel

Les activités économiques par ordre d'importance sont : l'agriculture, l'élevage, la cueillette, la pêche, le commerce, l'artisanat. Ces activités constituent les principales sources de revenus des populations.

A. Agriculture

Dans ce sous-bassin, l'agriculture sous pluie est la plus développée malgré l'accroissement de la culture irriguée. On y développe des spéculations comme le maïs, le sorgho, le riz, le mil, le haricot, l'arachide et le coton. On y enregistre également des cultures maraîchères comme l'oignon, la tomate, le gombo, l'aubergine.

Dans ce sous-bassin se développe tout aussi des cultures de décrue comme le maïs et le gros mil qui mobilisent toutes les familles de cette zone.

Les superficies rizicoles disponibles et non encore exploitées peuvent permettre de contribuer à la politique de l'autosuffisance alimentaire du Sénégal.

Vers le Mali, le sous-bassin intéresse beaucoup les autorités politiques à travers l'ADRS, car il constitue une opportunité pour la production de riz et la lutte contre l'insécurité alimentaire. Dans cette zone, qui concerne les régions de Bafoulabé, de Kayes, Kéniéba, Kita et Yélimané, sont installés beaucoup de partenaires pouvant contribuer à l'exploitation d'importants aménagements hydro-agricoles. C'est le cas du Projet de Développement Intégré en aval du barrage de Manantali (PDIAM), du Projet d'Appui au Développement Durable du cercle de Yélimané (PADDY), du Projet de Développement Rural Intégré du cercle de Kita (PDRIK) qui contribuent beaucoup à la lutte contre la pauvreté des populations et à l'amélioration de la politique de l'autosuffisance alimentaire.

B. Elevage

Il arrive comme seconde activité tout juste après l'agriculture et se développe fortement dans le sous-bassin. Les bovins sont les espèces les plus en vue dans la zone qui reçoit d'importants troupeaux venant des pays voisins comme le Sénégal et la Mauritanie et même des régions du Mali. Lors de la mission de collecte de données, nous avons reçu l'information selon laquelle Gandé, dans le département de Bakel, accueille chaque année et pendant plusieurs mois d'importants troupeaux de bétail en transhumance et certains restent même dans la zone détruisant tout le tapis herbacé de la zone.

La transhumance dans cette zone crée beaucoup de conflits entre les éleveurs autochtones et étrangers, car les uns et les autres s'accusent mutuellement de porteurs de maladie du bovin

C. Pêche

Elle est pratiquée le long du fleuve Sénégal et de ses affluents, le Bakoye et le Bafing. Elle est faiblement développée dans cette zone du sous bassin avec des moyens traditionnels. On compte dans cette activité des sénégalais et des maliens qui sont plus professionnels.

Vers le cercle de Bafoulabé, il a été installé des mini unités de pêche permettant aux acteurs de mener des activités génératrices de revenus. Malgré les efforts pour accompagner le secteur, les difficultés sont telles que les prises deviennent faibles et l'accès aux poissons difficile.

Les changements climatiques sont susceptibles de détériorer un peu plus la situation avec l'assèchement ou l'ensablement des cours d'eau où certains projets prévoient d'installer des activités piscicoles.

4.3.1.6. SB6- Le Sénégal moyen de Bakel à Podor

A. Agriculture

L'agriculture fait partie des principales activités développées dans le sous-bassin du Sénégal moyen et sans doute la première source de revenus des ménages. Ce secteur joue un rôle essentiel dans l'économie locale. C'est une culture généralement rizicole dans une zone où l'agriculture de décrue et sous pluies sont en diminution continue aussi bien sur le plan des superficies que des rendements.

Pour ce qui est du maraîchage, il est pratiquement le fait des femmes qui en tirent l’essentiel de leurs revenus. La bonne organisation des groupements et l’appui de certains partenaires au développement expliquent le frémissement des activités maraîchères dans cette partie du Sénégal.

Malgré tous ces espoirs, les activités de maraîchage font encore face à des difficultés liées à la divagation des animaux, à la faiblesse des moyens et au manque de clôtures pour protéger les parcelles.

Les changements climatiques ont fortement impacté les activités agricoles sous pluie, de décrue et maraîchères. Le calendrier saisonnier est devenu irrégulier, les températures plus élevées, le déficit pluviométrique ainsi que les inondations qui envahissent les parcelles sont des facteurs contraignants, les mauvais planages des aménagements empêchant aux deux sous-secteurs de se développer.

B. Elevage

Le sous-bassin est une zone où se développe le secteur de l’élevage avec d’importants troupeaux de bétail. Il constitue le second type d’activité du sous-bassin après l’agriculture malgré son développement, surtout sur la rive droite du fleuve Sénégal. Il connaît malheureusement aujourd’hui quelques contraintes (réduction des pluies, augmentation des aménagements agricoles).

C. Pêche

La pêche est une activité pratiquée tout le long du fleuve Sénégal et de ses nombreux affluents. Elle connaît une régression continue avec une réduction progressive des prises. Le fleuve n’est plus en mesure d’approvisionner en poissons toutes les localités riveraines du fleuve Sénégal comme c’était le cas auparavant.

4.3.1.7. SB7- Le Sénégal aval de Podor à l’océan

A. Agriculture

Les cultures irriguées comme le riz, la tomate, l’oignon et le gombo occupent aujourd’hui la première place dans le sous-bassin Sénégal aval. Le riz est cultivé deux fois dans l’année en saison hivernale (août à novembre) et en contre saison chaude (entre février-mars et juillet). Cette activité est favorisée depuis quatre ans grâce au vaste programme américain du MCA. Les rendements et les productions sont devenus depuis lors plus importants.

L’agriculture sous pluie est également reconnue, dans cette zone, comme une importante activité des ménages qui en tirent aussi d’importants revenus. On y développe d’importantes spéculations comme, le maïs, le mil, le niébé, le bœuf. Il s’agit de cultures adaptées aux changements climatiques parce que prévues pour produire sur un cycle court inférieur à 90 jours.

Malgré tous les efforts enregistrés dans le secteur de l’agriculture, celui-ci connaît aujourd’hui des contraintes comme l’exhaure, l’entretien des aménagements, le renouvellement du parc des motopompes vieillissantes, surtout dans le département de Podor, l’accès au crédit, la rareté des pluies, les inondations.

B. Elevage

Le sous-bassin du Sénégal aval a toujours été une zone d’élevage. Mais cette activité connaît depuis quelques années des difficultés, surtout à cause de l’insuffisance des points d’eau. Les mares et les marigots tarissent obligeant les points d’eau comme les forages à fonctionner 12 mois sur 12 alors qu’ils étaient antérieurement à l’arrêt pendant toute la durée de l’hivernage.

C. Pêche

La pêche a été, de tout le temps, une importante activité pour les populations du fleuve Sénégal et de ses affluents. La majorité des acteurs du secteur sont des sénégalais même si on y dénombre quelques bozos (pêcheurs maliens).

C'est un secteur qui permettait aux populations de s'approvisionner en poissons et procurait d'importants revenus pour les pêcheurs. Mais une baisse continue des prises en poissons est observée, en grande partie imputable aux changements climatiques et à ses corollaires comme la régression des pluies et le non renouvellement des instruments de pêche.

4.3.1.8. Conclusions de l'enquête

Les résultats de l'enquête révèlent de réelles inquiétudes des populations par rapport à ces changements climatiques mais elles ne sont pas encore conscientes des conséquences de ces phénomènes. En effet, malgré les réels impacts de ces changements climatiques les populations continuent de couper les arbres et de détruire la nature.

Il importe d'impliquer davantage les autorités politiques dans la sensibilisation/conscientisation des populations afin d'atténuer la destruction continue de la nature.

4.4. PREDICTION DES EVOLUTIONS CLIMATIQUES : TENDANCE FUTURE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.2)

4.4.1. Résultats des études antérieures

Selon la revue de contexte socio-économique, politique et environnemental publié en août 2015 par IED-PRESA, d'après les projections réalisées en 2008 par GAYE et SYLLA, la hausse des températures devrait varier entre 3°C en 2031-2050 et 8.5°C en 2081-2100 si on considère le scénario d'émissions de gaz à effet de serre A1B. Quel que soit le modèle considéré, il faut s'attendre dans les années à venir à une hausse conséquente des températures en particulier pendant les mois traditionnellement les plus chauds.

La réponse des précipitations face à cette hausse des températures va différer en amplitude d'une région à l'autre. A un autre niveau la baisse des précipitations va s'accompagner d'une plus grande variabilité interannuelle se traduisant par la succession de plus en plus aléatoire d'années sèches et d'années excédentaires.

Des précédentes études, ont déjà estimé, à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest ou de tout le Sénégal, les impacts du changement climatique sur les ressources en eau. Les résultats présentés dans ces diverses études sont relativement similaires. Une étude, réalisée par l'UMR HydroSciences Montpellier, montre que les conditions pluviométriques déficitaires, observées sur la période 1971-1998, semblent se maintenir jusqu'à l'horizon 2050, puis elles se dégradent à l'horizon 2080 avec une baisse de la pluviométrie pouvant atteindre localement -47%. L'impact du changement climatique sur les écoulements varie en fonction des précipitations projetées. Pour le bassin versant du Sénégal, les modèles climatiques présentés dans l'étude, prévoient une légère augmentation des débits à l'horizon 2050 (environ +10%), puis une diminution variant de -14% à -45% à l'horizon 2080.

L'analyse de ces études a permis de confirmer la légère reprise des débits, par rapport à la période de sécheresse 1970-1990. Cependant, une diminution de près de 50% du débit est à envisager pour l'horizon 2080, voir même avant selon l'évolution du climat. Cette diminution drastique pourrait avoir des conséquences néfastes tant sur le point de vue environnemental que sur le développement socio-économique des pays.

4.4.2. Approche mise en œuvre pour les prédictions climatiques

Les résultats de plusieurs modèles climatiques globaux sont exploités de façon à générer une moyenne d'ensemble des simulations les plus performantes. La moyenne d'ensemble permet de capturer les incertitudes dans une enveloppe et de bénéficier des avantages comparatifs de chaque modèle sur différents paramètres du climat. Avec cette moyenne d'ensemble, une base de données sur la base des projections climatiques est préparée pour les études d'impacts.

Sur les projections, les scénarios RCP (pour Representative Concentration Pathway) du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC en Anglais) sont utilisés. Dans un scénario RCP on modélise les émissions globales de gaz à effet de serre sur la base des évolutions futures socio-économiques mondiales. Dans le cinquième et dernier rapport du GIEC (AR5, pour IPCC Fifth Assessment Report), quatre hypothèses différentes concernant la quantité de gaz à effet de serre à émettre à l'horizon 2100 ont été formulées sous forme de scénarios RCP. Il s'agit du RCP2.6, RCP4.5, RCP6 et RCP8.5, avec un RCPX correspondant à un forçage radiatif $+X \text{ W/m}^2$ à l'horizon 2100.

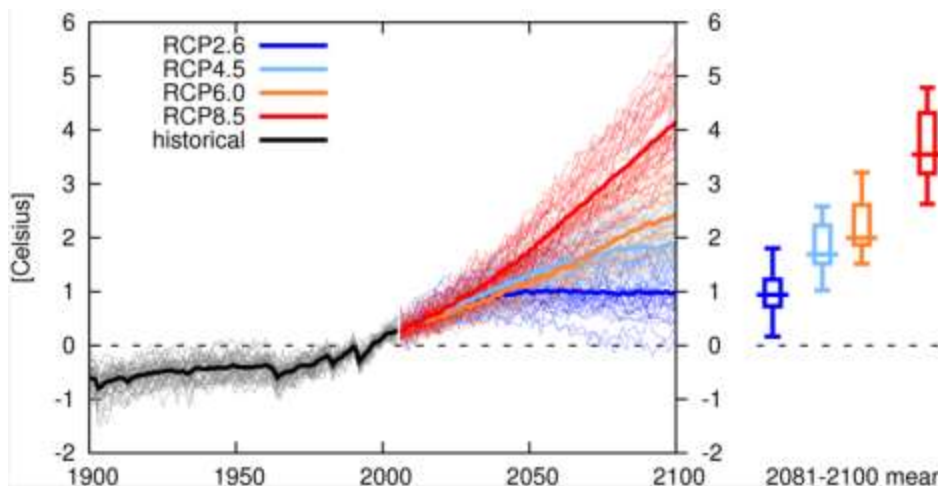


Figure 83. Élévation des températures globales en degrés Celsius en fonction du temps pour les quatre scénarios RCP (source : KNMI)

4.4.3. Exploitation des modèles globaux et régionaux – Tendances climatiques

Comme les modèles de prévision numérique du temps, les modèles climatiques sont entachés d'incertitudes liées aux processus chaotiques intrinsèques à l'atmosphère et aux interactions surface/atmosphère. Au lieu de se focaliser sur une seule simulation fournissant une unique vision de l'évolution de l'atmosphère, une moyenne d'ensemble comprenant plusieurs simulations (ou membres) fournit une vision probabiliste prenant en compte les incertitudes associées aux modèles. C'est pourquoi nous avons travaillé avec la moyenne d'ensemble de 29 simulations climatiques globales CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project, phase 5¹⁹). La première phase a consisté à préparer des données de simulations historiques et futures à l'échelle des 22 stations pour les modèles CMIP5. La période de référence utilisée est 1975-2004. Cette période est choisie parce qu'en climatologie, le cycle standard appelé normale climatologique est de 30 ans. Pour les projections futures, deux scénarios de concentration de gaz à effet de serre RCP du groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC ; <https://www.ipcc.ch/>) ont été utilisés comme représentant deux scénarios socio-économiques futurs: le RCP4.5 et le RCP8.5. Ils correspondent respectivement à des forçages radiatifs de $+4.5$ et $+8.5 \text{ W/m}^2$ à l'horizon 2100, soit une augmentation globale de température de l'ordre de plus de 2 et 4 °C.

¹⁹ http://cmippcmdi.llnl.gov/cmip5/data_description.html

4.4.3.1. Les projections de température

A l'échelle locale, la réalité peut être différente. Il est important de mener des études à ces échelles pour une bonne compréhension du climat local. La Figure 84 présente l'évolution historique et future des anomalies de températures à la station de Kiffa. Une anomalie correspond à l'écart de température par rapport à la moyenne climatologique sur la période historique, qui est de l'ordre de 30°C à Kiffa.

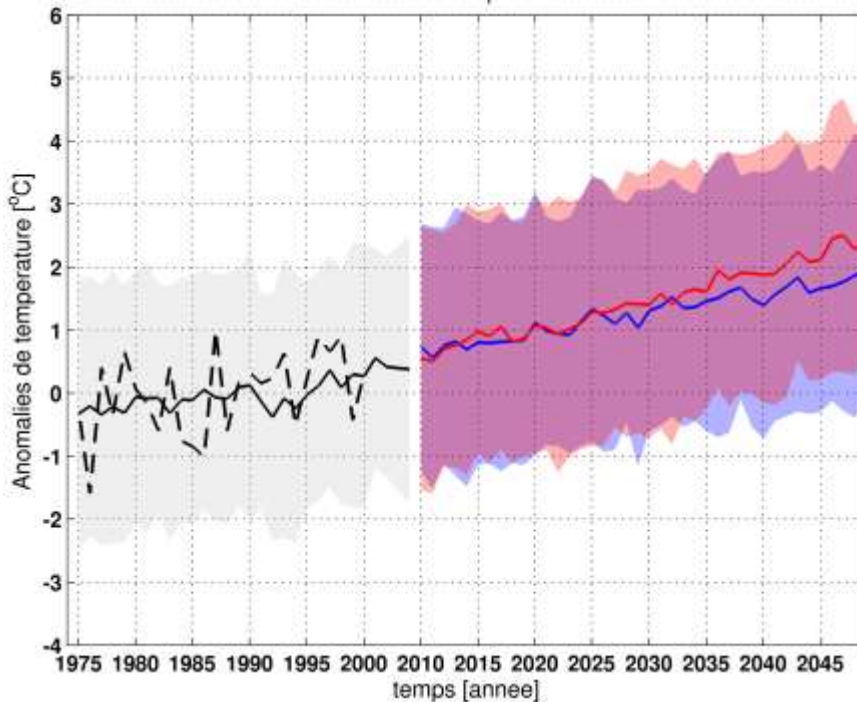


Figure 84. Prédiction d'évolution des anomalies de températures à la station de Kiffa
(source : ce rapport)

Dans la figure ci-dessus, la courbe noire pointillée et en trait plein correspondent respectivement aux données observées et la moyenne d'ensemble des simulations historiques CMIP5 et les courbes rouges et bleues respectivement aux projections futures sous les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Les bandes correspondent aux écart-types entre les simulations (historique en gris, RCP4.5 en bleu et RCP8.5 en rouge).

Les incertitudes entre les simulations climatiques sont de l'ordre de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, mais la moyenne d'ensemble capte bien la tendance historique, même si la variabilité haute fréquence (interannuelle et décennale), n'est pas bien représentée dans les modèles. Il est ainsi beaucoup plus robuste de travailler avec la moyenne d'ensemble plutôt que de considérer des modèles individuels. La moyenne d'ensemble nous a permis de capturer les incertitudes dans une enveloppe et de bénéficier des avantages comparatifs de chaque modèle sur différents paramètres du climat. Et comme elle reproduit bien la tendance historique, elle constitue un outil très pertinent pour analyser les projections futures. A Kiffa, la Figure 84 montre que jusqu'à l'horizon 2035, quel que soit le scénario, on a la même tendance, une augmentation de $+1^{\circ}\text{C}$. Par contre après 2035, le réchauffement devient plus rapide et plus sensible aux concentrations de gaz à effet de serre.

Par ailleurs, on note également que les évolutions des projections futures brutes sont très régulières. Ceci peut être due à une mauvaise représentation de la variabilité du climat aux échelles saisonnières à décennales dans les modèles climatiques globaux. Ainsi, même si les tendances sont bonnes, les projections brutes ne seront pas toujours très adaptées à des études d'impacts de la variabilité future du climat. Pour cela il faut donc les corriger. La méthode que nous avons utilisée pour cette étude est dite « Méthode Delta » qui consiste à utiliser la différence entre la moyenne mensuelle d'une variable simulée par un modèle climatique sur une période future et la moyenne mensuelle de la variable simulée par ce même modèle durant une période de référence

passée. Pour la température, le delta mensuel est additionné aux données climatiques quotidiennes. Pour chaque mois, la méthode de construction des séries climatiques s'exprime ainsi:

$$T_{\text{scenario_corrige}} = (TGCM_future - TGCM_reference) + T_{\text{obs_reference}} \quad (12)$$

Les projections d'anomalies de températures corrigées de la station de Kiffa sont représentées à titre d'exemple sur la Figure 85. Nous avons noté que la tendance à l'horizon 2050 (une augmentation de plus de +3°C) se rapproche plus des résultats d'une étude de l'USAID (U.S. Agency for International Development) focalisée sur la partie orientale du Sénégal (USAID, 2014). Cette étude sur la vulnérabilité du Sénégal face aux changements climatiques à l'horizon 2030 ou 2050, a été basée sur l'analyse à l'exposition, à la sensibilité et à la capacité d'adaptation, et a fait état d'une plus grande vulnérabilité des populations de la partie septentrionale, plus aride, et d'une capacité d'adaptation plus faible de celles-ci, au niveau de la partie méridionale, où les précipitations sont plus abondantes avec des projections en terme d'augmentation de la température se rapprochant de 4°C vers 2050. Par ailleurs, on remarque aussi qu'en plus de la tendance, les fluctuations hautes fréquences du climat local semblent être bien intégrées.

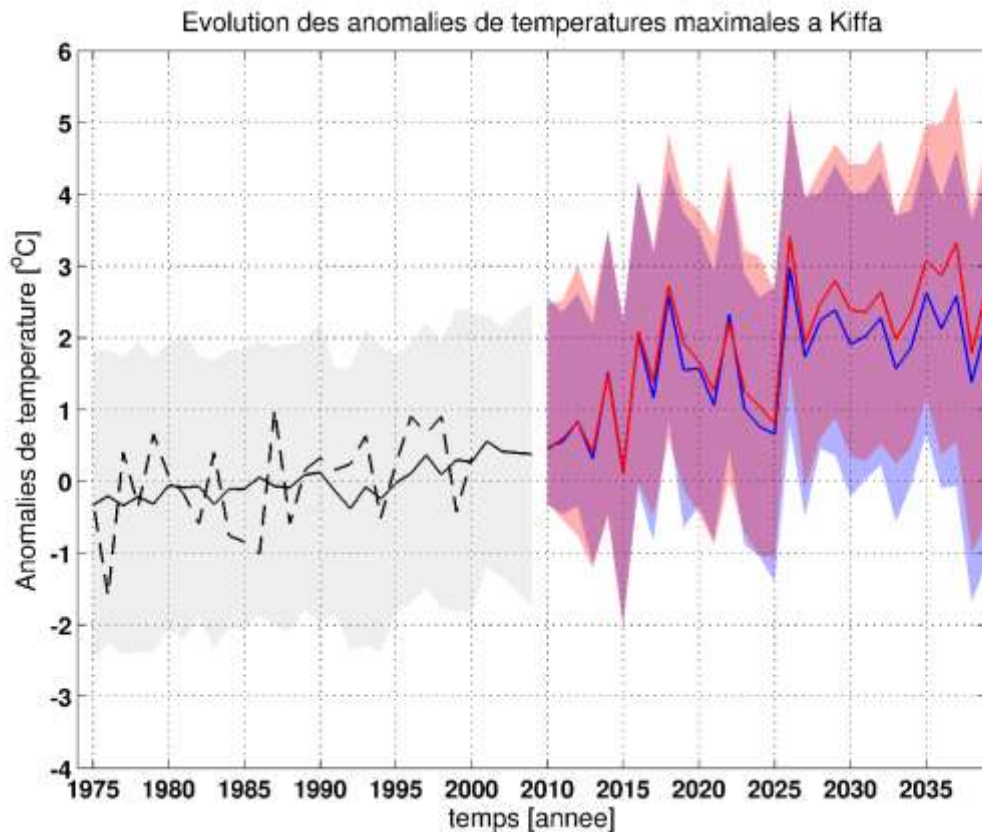


Figure 85. Prédiction d'évolution des anomalies de températures à la station de Kiffa après correction par la méthode delta (source : ce rapport)

4.4.3.2. Les projections de pluies

Comme avec la température, nous avons utilisé la moyenne d'ensemble des 29 simulations CMIP5 pour les précipitations afin de minimiser les incertitudes. Nous avons donc produit des moyennes d'ensemble des séries climatiques de pluies prévues par les 29 modèles climatiques sous les scénarii RCP4.5 et RCP8.5 d'émissions de gaz à effet de serre. Et compte tenu du problème de fiabilité associé aux précipitations simulées par les modèles climatiques couplés à l'échelle

régionale, il est recommandé avant de les utiliser pour des études d'impact d'appliquer une correction de biais (Casenave, 2004).

Dans cette étude, nous avons appliqué la même méthode de correction qu'Ardoin-Bartin et al. (2005). Les données simulées sur chaque station sont obtenues avec la méthode d'interpolation bilinéaire pondérée et la correction est appliquée sur chaque station et à chaque pas de temps (mois i , année j de la période de référence, année k de la période sur laquelle on corrige). Les séries chronologiques de précipitations corrigées sont construites en combinant les séries chronologiques observées sur la période de référence et celles simulées selon la formule suivante:

$$X_{Corrigee,i,k} = \bar{X}_{Observee,i} + (Ano_{Modele,i,k} * \sigma_{Observee,i}) \quad (13)$$

où $\bar{X}_{Observee}$ est la valeur moyenne de la série observée sur la période de référence, $\sigma_{Observee,i}$ est l'écart-type de la série observée sur la période de référence, et $Ano_{Modele,i,k}$ la différence entre les précipitations représentatives de la période de référence et du climat sur la période de correction.

Elle est calculée avec la formule suivante :

$$Ano_{Modele,i,k} = (X_{Modele,i,k} - \bar{X}_{Modele,i}) / \sigma_{Modele,i} \quad (14)$$

où $X_{Modele,i,k}$ est la valeur mensuelle simulée, $\bar{X}_{Modele,i}$ est la moyenne de la série simulée sur la période de référence, $\sigma_{Modele,i}$ est l'écart-type de la série simulée sur la période de référence.

Cette méthode de correction a d'abord été appliquée sur les simulations historiques (Figure 86). On remarque que, sans correction, les précipitations simulées apparaissent très sous-estimées comparées aux observations, avec des biais qui peuvent aller de 20 à 50 mm au mois d'août, alors qu'avec la correction, ce biais est fortement réduit sur tous les 7 sous-bassins.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
 R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

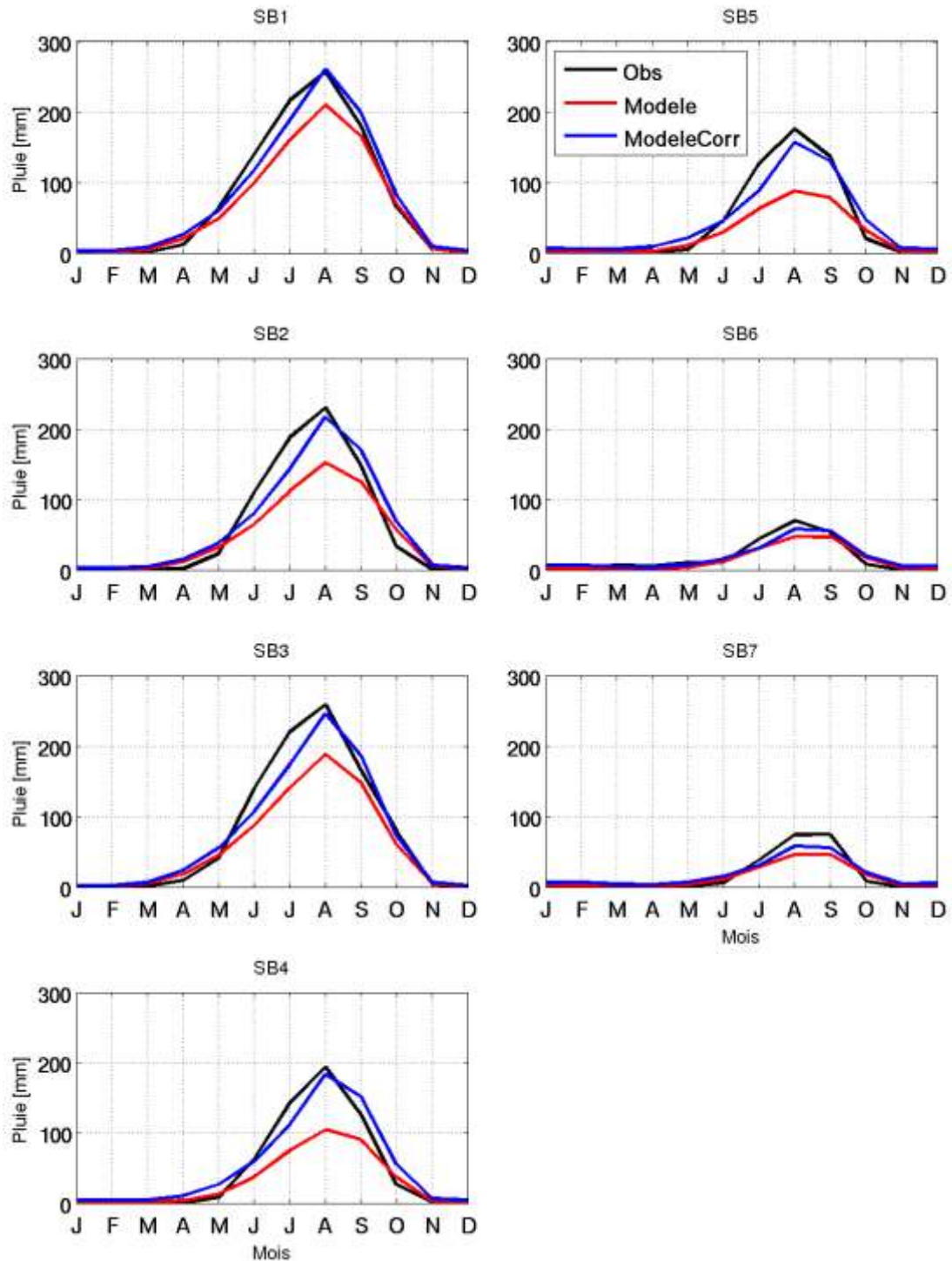


Figure 86. Variations de précipitations moyennes mensuelles climatologiques (1975-2004) des données observées (noir), des simulations historiques non corrigées (rouge) et corrigées (bleu) pour les 7 sous-bassins étudiés (source : ce rapport)

La comparaison des variations des précipitations moyennes climatologiques mensuelles des simulations corrigées et celles non corrigées avec les observations montre ainsi combien cette correction de biais est importante. Ainsi, nous avons appliqué par la suite la même correction sur les projections futures (2011-2100). Une base de données mensuelles de simulations d'ensemble de projections de précipitations corrigées (2011 à 2100) à l'échelle des 22 stations utilisées dans

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

cette étude a été mise en place et à la disposition de l'équipe hydrologique pour des études d'impacts. Ces projections corrigées de pluies sont obtenues sur la base de scénarii RCP4.5 et RCP8.5.

Pour un aperçu de l'impact des changements climatiques (CC) sur la pluviométrie dans le BFS, nous avons comparé au niveau de chaque sous bassin et avec les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, les variations moyennes mensuelles sur les périodes 2021-2050 et 2071-2100 à celles sur la période de référence 1975-2004 (Figure 87). Les résultats montrent que, contrairement aux températures où les effets du CC se font ressentir dès l'horizon 2050 (Figure 84 et Figure 85), avec les pluies, jusqu'à 2050 un changement significatif entre les scénarii 4.5 et 8.5 n'est pas observé. Les changements entre ces scénarii en terme de précipitations dans le BFS apparaissent au-delà de 2050.

Avec le scénario RCP4.5, le changement en d'amplitude n'apparaît pas très important. Le seul changement qu'on note est le déplacement du pic de la saison de mousson d'août vers septembre et ce changement est plus net dans les SB 6 et SB 7. Nous avons aussi remarqué que malgré ce décalage, aucun changement significatif n'est observé en terme de retrait de la mousson (septembre-octobre). Pour le scénario RCP8.5, le changement sur le décalage du pic de la saison de la mousson d'août en septembre est également bien marqué. En plus des SB 6 et 7, on le note aussi aux SB 4 et 5 à l'horizon 2100. Ce décalage noté dans les SB du Nord (zones soudano-sahéliennes) peut donc être considéré comme une conséquence des CC sur la pluviométrie dans le BFS.

Comme avec le RCP4.5, ce décalage n'est pas accompagné de changement net dans le retrait de la mousson. Il peut être plutôt interprété comme une conséquence d'une baisse de l'intensité des pluies dans les phases d'installation et de maturation de la mousson. En effet, les projections à l'horizon 2100 sous le RCP8.5 sont significativement inférieures de mai en août aux observations historiques et à celles de l'horizon 2050 sur tous les SB.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
 R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

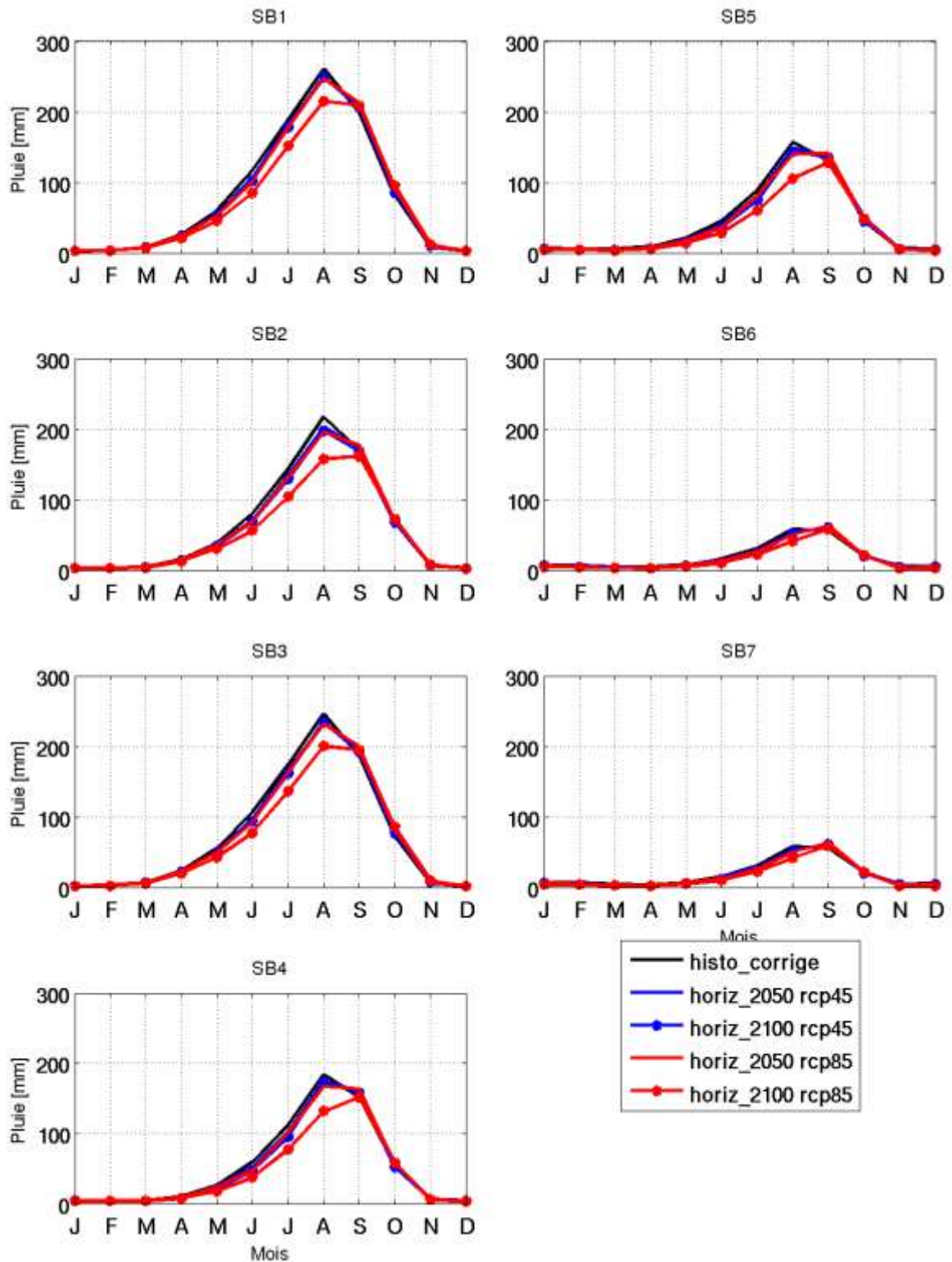


Figure 87. Variations de précipitations moyennes mensuelle climatologiques - Simulations historiques corrigées 1975-2004 (noir), projections futures avec RCP4.5 (bleu) et RCP8.5 (rouge) : 2021-2050 (courbes continues) et 2071-2100 (courbes étoilées) (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

4.4.3.3. Projections de la pluviométrie interannuelle

La Figure 88 montre les résultats des projections de pluviométrie interannuelle pour la période 2020-2050. Elle met en évidence une variabilité significative des pluies d’une année sur l’autre sur cette période.

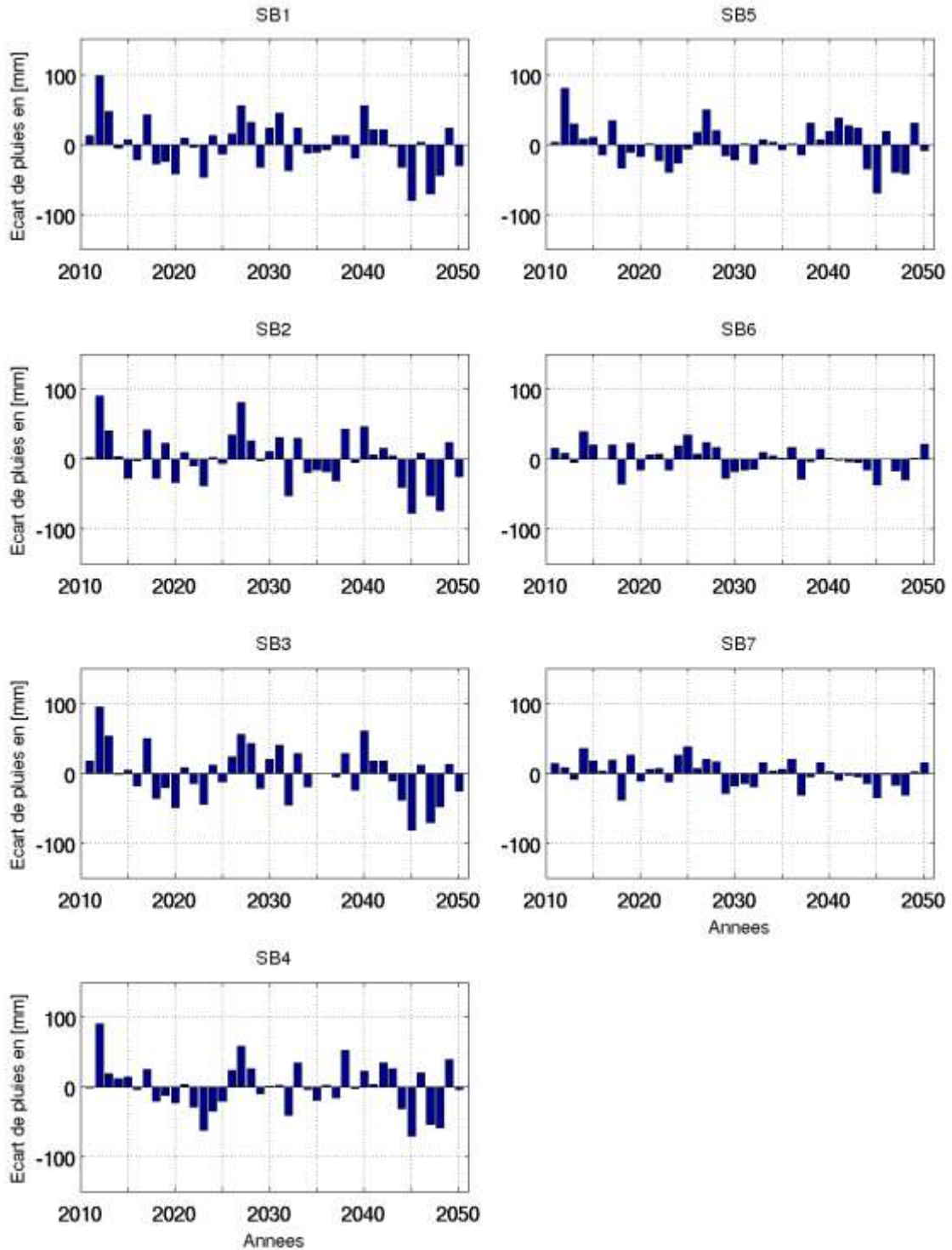


Figure 88. Projections de la pluviométrie interannuelle sur la période 2020-2050 (source : ce rapport)

La Figure 88 montre l'évolution future des anomalies normalisées corrigées de pluies dans les 7 sous-bassins (SB) du fleuve Sénégal. Ceux sont des anomalies de la moyenne d'ensemble des projections de 29 simulations CMIP5. Les années avec des anomalies positives correspondent aux années excédentaires et celles avec les anomalies négatives aux années déficitaires. A noter que ces projections sont basées sous le scénario RCP8.5. Ce scénario a été choisi d'une part parce que les analyses précédentes montrent que comparé à celui du RCP4.5, aucune différence significative n'a été observée en terme de distribution saisonnière de pluies dans ces sous bassins. Et d'autre part, parce qu'il est décrit par plusieurs experts comme étant le scénario le plus réaliste compte tenu de l'évolution actuelle du climat.

La figure montre qu'entre les SB, excepté les différence d'amplitude (plus élevée quand on avance vers le sud), la distribution des anomalies de pluies semble être très corrélée. On note par exemple que pour les années 2012 (année avec une pluviométrie très excédentaire) 2014 (année déficitaire), les projections sont plus ou moins bonnes dans la plupart des SB. Ce qui voudrait dire qu'on peut plus ou moins faire confiance à ces projections.

D'une manière générale, ces projections montrent que l'évolution future des anomalies de précipitations dans l'ensemble des SB est très irrégulière. La variabilité interannuelle est d'une part très marquée, avec des basculement d'année déficitaire (excédentaire) à excédentaire (déficitaire) sont très fréquents. On note également qu'à coté de cette forte variabilité interannuelle, la présence d'importantes variabilités pluriannuelles ou multi-décennales un peu plus basse fréquence. Celles-ci se traduisent respectivement par des successions de 3 à 5 ou jusqu'à plus de 10 années successives avec des anomalies annuelles de précipitations de même signe. Ainsi, on peut remarquer que pour la plupart des SB du fleuve Sénégal, nous serons jusqu'en 2035 dans une phase négative avec des projections de pluies inférieures à la normale. On peut aussi remarquer que dans le long terme, la pluviométrie aura tendance à basculer vers de longues périodes sèches à partir de 2040 dans les SB1 au SB5. Pour les SB6 et SB7, ce basculement est projeté même plus tôt, c'est à dire dès 2029.

4.4.3.4. Synthèse sur les projections climatiques

En résumé, les analyses montrent qu'en plus de la température, les CC vont significativement impacter la pluviométrie du BFS. Pour la température, même si elle augmente, aucune grande différence entre les scénarii RCP4.5 et RCP8.5 n'est observée jusqu'en 2035. Cela peut s'expliquer par le fait que l'effet de l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre sur la température est déjà assez marqué en réalité et ne pourra être influencé par aucune intervention (même une baisse) avant 2035. La différence entre ces deux projections de température (scénario haut et bas de gaz à effet de serre) ne sera détectable qu'au-delà de 2035. Ce qui par ailleurs pourrait signifier que le réchauffement dû aux CC sera plus accentué à l'échelle locale après 2035 dans le cas d'un scénario élevé de gaz à effet de serre. Une augmentation de +3°C est attendue à l'horizon 2050.

Par ailleurs pour la pluie, les effets du CC semblent avoir des impacts significatifs un peu plus tard comparés à ceux pour la température. Avec les scénarii RCP8.5, le changement significatif en terme de pluviométrie s'observe qu'après 2050 et se manifeste par une diminution de l'ordre de 20 % de l'intensité des pluies sur la première phase de la mousson (Mai-Août). Ceci entraînera un déplacement du pic de la mousson d'août vers septembre et les SB les moins humides (SB 3-7) seront les SB les plus affectés par ce changement.

4.4.4. Impact sur les écoulements

4.4.4.1. Impact sur les écoulements de surface

L'impact des changements climatiques sur les écoulements de surface est étroitement lié à l'impact sur les précipitations et la relation est non linéaire ; moins de pluie se traduit par beaucoup moins de débit. L'élévation du niveau de la mer conduit par ailleurs à relever les conditions aux limites de niveau de l'estuaire sur le littoral et entraîne des remontées salines pouvant avoir des conséquences environnementales et socioéconomiques importantes.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

La diminution des écoulements de surface est un facteur important à prendre en compte au niveau environnemental (maintien d'un débit minimum) et au niveau socioéconomique (satisfaction des prélèvements, notamment agricoles). Les prélèvements pour l'irrigation sur la partie aval du BFS accentuent l'impact des remontées salines en aval de Diama.

Dans cette étude, nous avons exploité les données observées, notamment de part et d'autre de la rupture de stationnarité hydrologique des années 70 et, pour les horizons futurs, avons spéculé qualitativement, sur la situation future des cours d'eau, suivant les scénarios de ressources en eau et de pressions de prélèvements.

A partir des prédictions de pluies, nous allons estimer les débits sur la période 2011-2050 afin de construire le modèle d'allocation avec ces données. Les tendances climatiques relatives aux précipitations sur la période 2011-2050 semblent confirmer une certaine stabilité de la pluviométrie proche de celle observée actuellement. La première hypothèse a donc conduit à considérer les débits observés sur la période 1990-2010 comme apports pour la période future. Toutefois, malgré la conservation des précipitations à l'échelle annuelle, on distingue une modification de la répartition mensuelle des précipitations dans les différents scénarios climatiques étudiés. En effet, les cumuls mensuels seront moins importants en juillet et en août mais plus importants en septembre et octobre pour l'ensemble des bassins étudiés traduisant ainsi un décalage de la saison des pluies. La modification du régime pluviométrique impactera également le régime hydrologique des rivières. Ainsi, on peut considérer que le module des cours d'eau sera inchangé entre la période actuelle (1990-2010) et la période future jusqu'à 2050, mais le pic de crue subira un étalement dans le temps. Il sera moins marqué au mois de septembre et à l'inverse, les débits devraient être plus importants aux mois d'octobre et novembre.

Sur la base des scénarii RCP8.5, à partir de 2050 et à l'horizon 2100, une diminution de la pluviométrie est attendue. Le modèle de prédictions représente bien la période 1975-2004 (Figure 86), qui correspond à une période d'alternance de sécheresse (1975-1990) et de reprise (1990-2004), on peut imaginer qu'une prédiction de pluies en-deçà des observations correspond à un épisode de sécheresse. Un second scénario a donc été étudié afin d'évaluer l'impact d'une pluviométrie moindre sur le BFS. Ce second scénario correspond à des précipitations du même ordre de grandeur que celles observées sur la période sèche de 1970-1990. Les apports annuels futurs sur la période 2050-2100 ont ainsi été considérés comme similaires aux apports annuels de la période 1970-1990.

Enfin, à partir des prédictions de pluie sans correction du biais et à titre de test de sensibilité, il est possible d'imaginer un scénario très pessimiste tel que mentionné dans le PANA (Programme d'Action National aux fins de l'Adaptation) du Sénégal pour lequel une diminution importante de la pluviométrie, de l'ordre de 20-30%, est considérée sur tout le BFS. Cette diminution concerne principalement les mois de la saison des pluies (juillet et septembre). La saison des pluies est plus courte, la période d'étiage du fleuve et de ses affluents est donc plus longue et plus marquée.

La relation probabiliste établie entre la pluie et les débits permet de calculer à partir de données pluviométriques annuelles de différentes périodes de retour, les valeurs des débits pour différentes périodes de retour. Nous avons appliqué cette relation aux pluies de ce scénario très pessimiste mais non réaliste car non prédit par les modèles. On établit avec la relation qu'une baisse de 25-30% de la pluviométrie entraîne une diminution moyenne de 53% des débits. Les débits sur le bassin du Bakoye (SB 3) seraient les plus impactés avec des diminutions pouvant aller jusqu'à plus de 80% entre la période actuelle (1990-2010) et les prédictions. La situation qui prévaudrait alors serait tout à fait catastrophique.

Le tableau suivant présente, par sous-bassin, la comparaison des modules de débits entre d'une part ces prédictions de débits catastrophiques (résultant de l'étude de sensibilité sur les pluies) et d'autre part les modules des débits observés sur les périodes 1970-1990 et 1990-2010.

Tableau 52 – Modules caractéristiques des apports aux sous-bassins en amont de Bakel sur les périodes 1970-1990, 1990-2010 et selon les prédictions sans correction du biais

Bassin	Station		Module de période de retour (m ³ /s)				
			-10	-5	2	5	10
SB 1	Daka Saidou	Période 1990-2010	149.4	161.9	187.4	214.8	229.8
		Période 1970-1990	130.4	140.9	165.4	192.8	201.8
		Prédiction	88.3	101.7	130.9	163.8	181.8
SB 2	Dibia	Période 1990-2010	131.5	155.7	207.5	266.7	300.6
		Période 1970-1990	112.9	132.1	184.2	239.8	276.1
		Prédiction	100.5	140.5	187.1	213.2	236.4
SB 3	Toukoto	Période 1990-2010	10.6	15.7	28.3	44.6	54.5
		Période 1970-1990	5.7	10.4	22.2	36.4	45.8
		Prédiction	0.4	1.2	3.9	13.6	20.7
	Siramakana	Période 1990-2010	5.9	9.9	20.3	34.4	43.2
		Période 1970-1990	3.5	7.4	15.6	29.4	38.2
		Prédiction	0.1	1.0	3.7	12.2	18.1
	Oualia	Période 1990-2010	43.1	56.5	87.2	124.6	146.8
		Période 1970-1990	21.3	32.2	59.4	94.8	116.6
		Prédiction	0.7	2.9	12.0	38.9	58.3
SB 4	Gourbassi	Période 1990-2010	44.4	54.8	77.7	104.6	120.2
		Période 1970-1990	29.0	39.1	62.8	91.9	109.4
		Prédiction	9.8	15.4	30.5	50.7	62.9
	Kidira	Période 1990-2010	56.5	73.9	113.6	161.8	190.4
		Période 1970-1990	33.5	45.7	74.3	109.8	131.1
		Prédiction	14.5	21.4	39.4	67.6	84.7
SB 5	Bakel	Période 1990-2010	325.0	382.8	506.5	647.6	728.2
		Période 1970-1990	231.9	280.7	386.8	510.1	581.3
		Prédiction	172.9	208.7	286.8	377.1	429.3
	Galougo	Période 1990-2010	232.7	271.8	361.5	458.9	523.2
		Période 1970-1990	166.2	201.4	278.1	367.1	418.6
		Prédiction	104.7	126.9	175.2	231.3	263.7

4.4.4.2. Impact sur les écoulements souterrains

L'impact des changements climatiques sur les écoulements souterrains est étroitement lié à la baisse des précipitations et des écoulements de surface. Moins de précipitations conduit à moins d'infiltration et donc à une baisse des nappes. En outre, l'abaissement du niveau des cours d'eau conduit à rabaisser les conditions aux limites des nappes d'eau souterraines et affecte les échanges nappe-cours d'eau. De même l'élévation du niveau de la mer conduit à relever les conditions aux limites des nappes sur le littoral et entraîne des intrusions salines. Il s'y ajoute l'évaporation directe de nappe phréatiques selon le modèle du flux net (Malou, 1992; Malou et al., 2010).

L'impact à la baisse des eaux superficielles conduit à rediriger les prélèvements vers les nappes, accentuant encore leur baisse.

Des modèles de nappe, spécifiques à chacune des nappes, doivent être construits et exploités en simulation pour faire la part, dans l'abaissement constatée des nappes, entre l'abaissement lié aux déficits d'apports et/ou évaporation et l'abaissement lié aux prélèvements. La construction de tels modèles dépasse le cadre de la présente étude.

L'étude régionale de la dynamique de la nappe menée par Abdoul A. GNING²⁰ a montré que les facteurs de recharge sont : (i) la gestion du fleuve à travers le relèvement du plan d'eau, (ii)

²⁰ GNING Abdoul Aziz (2015) : Etude et Modélisation Hydrogéologique des Interactions Eaux de Surface-Eaux Souterraines dans un Contexte d'Agriculture Irriguée dans le Delta du Fleuve Sénégal ; Thèse de doctorat

l'irrigation de manière générale et la riziculture en particulier qui mobilise des volumes d'eau très importants et (iii) la pluviométrie qui malgré son inégale répartition dans le temps permet de recharger la nappe. Au plan hydrochimique, l'étude a permis de confirmer l'origine marine des eaux souterraines avec, cependant, une minéralisation qui évolue, en fonction du contexte géographique, vers un adoucissement ou une surconcentration.

L'étude expérimentale réalisée sur les sites de Ndelle et de Ndiaye a permis de caractériser les processus de transferts hydriques et de flux de solutés dans les parcelles irriguées. L'apport d'eau par irrigation permet de recharger la nappe et de diluer la salinité du sol et de la nappe. Cependant, à l'arrêt de l'irrigation, la nappe reprend son niveau de départ et sa salinité du fait notamment de la reprise évaporatoire qui semble être le moteur de ces processus. Ainsi, les transferts de flux hydriques et de solutés fonctionnent dans le delta suivant un cycle de recharge-décharge et de dilution-concentration contrôlé par le bilan d'eau.

La propension à la baisse du niveau des nappes de la vallée du fleuve Sénégal en raison des changements climatiques responsables d'une diminution des précipitations et d'une augmentation de la température et donc de l'évaporation/évapotranspiration est toutefois contrecarrée par les aménagements hydrauliques réalisés dans le bassin. Selon Babacar DIENG^{21,22} l'analyse menée par l'OMVS à partir de l'instrumentation des nappes entre 1985 et 1990 a permis :

- d'obtenir des résultats relatifs à l'alimentation directe des nappes d'eaux souterraines par les pluies. Cette alimentation est nulle dans la vallée du Fleuve Sénégal au cours de la période 1986-92 du fait de la pluviométrie relativement faible ;
- d'étudier les fluctuations du niveau du Fleuve Sénégal suite à la mise en place des barrages de Diama et Manantali. En plus de l'arrêt de la remontée des eaux marines par le barrage de Diama, on assiste à une remontée du niveau de base dans le Fleuve due au barrage de Manantali. Ces deux effets occasionnent une présence d'une charge d'eau douce pendant un temps plus important et une recharge plus conséquente des nappes d'eau souterraine ;
- de quantifier le flux d'échange entre les cours d'eau et les nappes dans la situation hydrologique actuelle. Cette recharge à partir des cours d'eau a été estimée à 330 millions de m³ par an soit, près de 30% supérieure à ce qu'elle était dans les années 1971-72, qui étaient pourtant plus pluvieuses ;
- d'estimer la réalimentation des nappes à partir des excédents d'eau d'irrigation des périmètres hydroagricoles. Celle-ci serait au régime de croisière des aménagements prévu du même ordre de grandeur que l'alimentation par les cours d'eau ;
- une analyse partielle des données physico-chimiques qui révèle une amélioration de la qualité des eaux dans la partie étudiée de la vallée.

4.4.4.3. Impact sur l'évaporation et l'évapotranspiration

Evaporation : il s'agit de l'évaporation d'un plan d'eau. Il est à noter que de nombreux paramètres influent sur l'évaporation parmi lesquels la température et le vent. L'évaporation augmente avec la température. Le bassin du Sénégal s'équipant progressivement de barrages réservoirs, il est important d'en tenir compte dans les calculs de modélisation de l'allocation ressources-besoins.

Evapotranspiration : il s'agit de la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes. Elle augmente avec la température. Il ne faut pas confondre l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) qui lui est inférieure. La relation identifiée ci-avant entre les précipitations et les apports en tient compte.

²¹ OMVS (1997) – Babacar DIENG, EIER Ouagadougou : Synthèse et analyse de données hydrogéologiques de la moyenne vallée du fleuve Sénégal

²² Babacar DIENG, EIER Ouagadougou (1999) : Impact des barrages de Diama et Manantali sur les nappes de la vallée du fleuve Sénégal

4.4.4.4. Impact sur le fleuve à l’aval du barrage de Diama

La diminution des apports d’une part et l’augmentation du niveau marin d’autre part ont pour conséquence une propension à la remontée d’eau salée dans le bief à l’aval de Diama. Cette remontée sera d’autant plus accentuée que des prélèvements pour l’irrigation seront effectués dans ce bief. Des précautions sont donc nécessaires vis-à-vis des prélèvements, particulièrement lorsque les vannes du barrage de Diama sont fermées.

Il est suggéré de mettre en place un suivi régulier de la salinité de l’eau dans le bief afin de piloter les périodes où les prélèvements sont possibles. Il est en outre recommandé de piloter finement les autorisations de prélèvements. On notera que le tronçon compris entre le barrage de Diama et l’embouchure n’a pas été étudié dans l’étude PGIRE – Elaboration de la nomenclature des seuils d’autorisation et de déclaration des prélèvements du fleuve Sénégal (2013).

Concernant les niveaux d’eau en crue à Saint-Louis, il faudra compter dans l’avenir sur l’effet cumulé de l’élévation du niveau marin et des hautes eaux liées aux crues. Moussa Sall dans sa thèse a examiné la question pour la situation d’ici à 2100. Il considère 3 pronostics différents pour l’élévation du niveau marin : pronostic bas (+11 cm), pronostic moyen (+50 cm) et pronostic élevé (+ 77 cm). Le cumul des niveaux de crue dans l’état de référence et de l’élévation du marin conduit aux hauteurs d’eau suivantes :

Tableau 53 – Hauteurs d’eau actuelles et projetées dans l’estuaire du Sénégal (source : thèse de Moussa Sall)

Crue	Etat actuel (cm)	Etat actuel + élévation prévue du niveau de la mer d’ici à 2100		
		Pronostic bas (+ 11 cm)	Pronostic moyen (+ 50 cm)	Pronostic élevé (+ 77 cm)
Cote d’alerte	140	151	190	217
Décennale	187	198	237	264
Centennale	244	255	294	321

Les chiffres d’élévation du niveau marin peuvent être affinés avec les projections plus récentes du rapport de la 12^{ème} session du GIEC (2013)²³. D’ici 2100, les scientifiques estiment maintenant que le niveau marin peut augmenter en moyenne de +26 à +98 cm suivant les modèles contre +18 à +59 cm dans le précédent rapport paru en 2007. Cette réévaluation est notamment due à une meilleure prise en compte de l’écoulement dans les océans arctique et antarctique des glaciers côtiers du Groenland et de l’Antarctique.

Pour 2100, selon le RCP8.5, l’élévation du niveau des mers est comprise entre 0,52 et 0,98 m, avec un rythme moyen de 8 à 15 mm.an⁻¹ (degré de confiance moyen). Ces intervalles proviennent des projections climatiques CMIP5 combinées à des modèles basés sur les processus ainsi que de l’évaluation des publications scientifiques portant sur la contribution des glaciers et des calottes glaciaires.

²³ http://refmar.shom.fr/fr/sea_level_news_2013/t3/hausse-niveau-mer-rapport-groupe-experts-giec-ipcc-septembre-2013

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
 R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

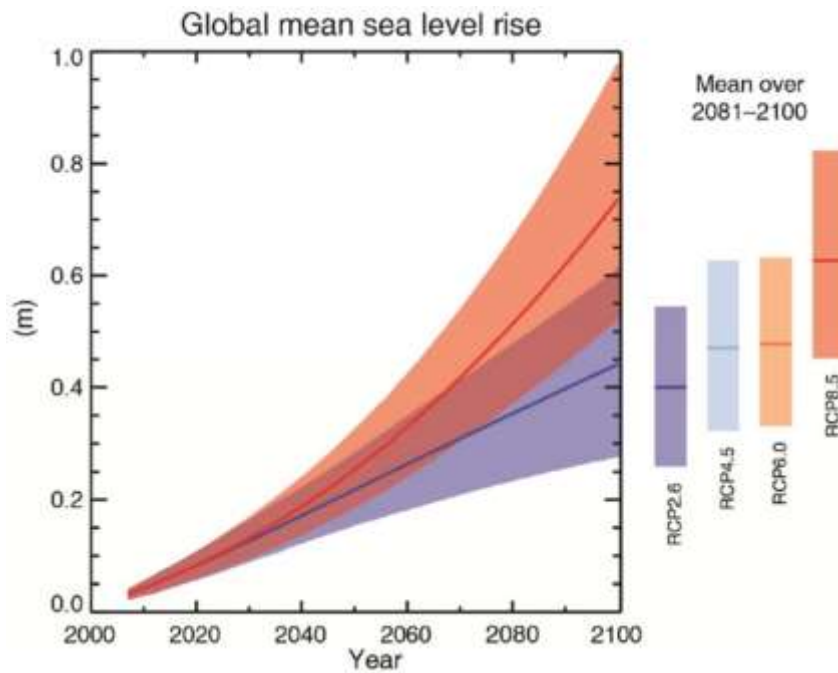


Figure 89. Projections de l'élévation globale du niveau marin (source : GIEC, 2013)

En conclusion, dans les conditions actuelles, l'eau du fleuve commence à déborder dans la ville de Saint-Louis à partir de 140 cm IGN. L'analyse statistique des données de hauteur d'eau au niveau de cette station montre que cette cote peut être dépassée annuellement dans 34% des cas avec une probabilité de retour de trois ans. Le risque d'inondation de la ville est donc réel d'autant plus que des niveaux d'eau plus élevés sont prévus avec les crues décennale et centennale qui vont être accentuées par l'élévation de la mer liée aux changements climatiques à l'échelle mondiale.

5. ANALYSE DIAGNOSTIQUE GLOBALE DE LA VULNERABILITE DU BASSIN AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

5.1. ETAT DES LIEUX DES SECTEURS ECONOMIQUES, SOCIAUX ET DES ECOSYSTEMES (T2.6)

5.1.1. Caractérisation sociale du bassin

5.1.1.1. La population

La population du bassin du fleuve Sénégal (BFS) est passée de 3,5 millions en 1990 à près de 7 millions de personnes aujourd'hui²⁴, soit 14% de la population cumulée des 4 Etats riverains (Guinée, Mali, Mauritanie et Sénégal) qui est de 46 millions d'habitants.

La densité moyenne du bassin est de l'ordre de 23-25 habitants au km². Le poids des pays riverains dans la démographie du bassin est fort variable. La moitié de la population du bassin est malienne, contre 15 à 20% pour chacun des autres pays.

La proportion de la population nationale des Etats riverains vivant dans le bassin est de 8% pour le Sénégal, 10% pour la Guinée et 21% et 23% pour le Mali et la Mauritanie, respectivement. Près de la moitié de la population du bassin est malienne.

Tableau 54 – Répartition de la démographie dans le Bassin versant entre les Etats riverains (source : Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière)

Pays	Population totale (est 2014)	Population dans le BFS (est. 2014)	% de la pop totale du BFS	% de la pop nationale vivant dans le BFS
Guinée	12 000 000	1 239 683	19%	10%
Mali	15 800 000	3 268 326	49%	21%
Mauritanie	4 000 000	926 424	14%	23%
Sénégal	14 500 000	1 192 255	18%	8%
Total	46 300 000	6 626 688	100%	14%

La plupart de la population habite relativement proches du fleuve. En effet, le SDAGE note que 85% des habitants du bassin, soit près de 6 millions de personnes, vivent à proximité du fleuve.

Si les tendances actuelles et notamment les taux de croissance (entre 2,46% au Sénégal et 3,08% en Guinée) se maintiennent la population du bassin devrait passer à un peu plus de 10 millions en 2030 puis à 13,5 millions en 2040. Elle serait donc le double de son poids actuel.

Cette forte croissance démographique soulève de nombreuses questions environnementales et sociales :

- Le défrichement des terres au profit de l'expansion des terres agricoles ;
- L'appauvrissement des sols dû à la surexploitation;

²⁴ Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière du Bassin du Fleuve Sénégal, février 2017

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

- Un exode rural important, principalement provoquées par la précarité du système agricole ;
- Une insécurité alimentaire.

Tableau 55 – Occupations des populations du bassin par activités principales et secondaires (en %) (source : MCG 2011)

Domaines d'activités	Répartition selon les activités principales					Activités secondaires
	Guinée	Mali	Mauritanie	Sénégal	Bassin	Bassin
Agriculture	80,94	90,04	38,27	46,69	75,95	30,81
Elevage	0,76	0,48	5,23	5,99	2,23	30,97
Pêche	0,00	0,19	1,30	2,89	0,86	3,20
Commerce/transport	9,97	2,55	8,52	8,21	5,58	17,37
Artisanat	5,69	1,93	2,00	5,17	3,34	7,81
Salarie public/privé	2,29	3,60	7,27	1,81	2,54	3,30
Autres/Sans-emploi	1,35	1,16	37,41	29,23	9,49	6,53
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99

5.1.1.2. La santé

A la suite de la modification du régime du fleuve par la construction des barrages de Manantali et de Diama, le niveau de prévalence de certaines maladies liées à l'eau avait augmenté de façon spectaculaire. La présence permanente de l'eau dans la vallée et dans les retenues a provoqué le développement des maladies hydriques, notamment du paludisme et de la bilharziose. En effet, les champs de cultures irriguées, les végétaux aquatiques envahissants et l'eau stagnante toute l'année offrent des conditions idéales pour le développement de ces maladies.

Dans le PGIRE I des mesures ont été prises pour combattre ces maladies. L'approche de la lutte contre les maladies est basée sur la prévention et la prise en charge précoce. L'OMVS distribue régulièrement des moustiquaires imprégnées d'insecticide (MILDA) et des comprimés dans les zones du BFS touchée par le Paludisme.

En ce qui concerne le paludisme, les mesures prises dans le cadre du PGIRE I ont contribué à faire reculer le paludisme partout dans les Etats de l'OMVS, y compris dans des zones comme Richard Toll où on enregistrerait les plus hauts niveaux de prévalence. En ce qui concerne la bilharziose, des enquêtes menées en 2010 et 2013 dans le bassin sous l'égide de l'OMVS montrent un taux de réduction 42% de la bilharziose urinaire et 90% de la bilharziose intestinale (OMVS, 2013).

Le nombre de malades a bien diminué, mais ces maladies restent présentes dans le bassin. Pour le PGIRE2 l'effort a été étendu aux MTN (maladies tropicales négligées) : onchocercose, filariose lymphatique et trachome. L'effort mené par l'OMVS vise à mitiger l'impact des barrages sur la santé des populations.

Malgré ces progrès, des maladies telles que le paludisme et la bilharziose sont loin d'être vaincues dans le bassin du fleuve Sénégal. Tout en continuant les efforts de traitement des maladies et de prévention (telles qu'avec la distribution de moustiquaires imprégnées), dorénavant l'accent doit être mis sur la lutte contre les vecteurs des maladies hydriques. L'enjeu pour le futur est la mise en place d'un système de veille sanitaire, pour rester en alerte en cas de résurgence du paludisme, d'inversion des tendances positives concernant la bilharziose et dans l'éventualité de l'apparition de nouvelles maladies.

L'OMVS ne s'est pas engagé sur les maladies diarrhéiques or celles si sont les premières causes de consultation médicale sur le BFS. Ce sont les Etats qui sont en charge de lutter contre ces maladies. L'importance de ces maladies diarrhéiques est liée à la qualité de l'eau à usage domestique donc principalement à la qualité des eaux du fleuve, des retenues et des mares. On

constate un manque notoire d’infrastructures d’assainissement et d’adduction à l’eau potable sur l’ensemble du bassin.

On peut également noter la présence de maladies affectant le bétail tel que la Fièvre de la Vallée du Rift dans la zone du barrage de Diama ou encore une maladie hépatique d’origine hydrique dans la région du lac de Guiers.

Les conséquences de ces maladies sur le BFS sont nombreuses avec notamment :

- Une dégradation de la capacité de travail de la population rurale ;
- Des dépenses de santé élevées pour des populations aux ressources limitées.

5.1.1.3. Des populations très vulnérables aux changements climatiques

Les changements climatiques rendent plus vulnérables les populations, surtout celles des zones rurales. L’agriculture qui a toujours été la principale activité et la première source de revenus des ménages connaît de réelles difficultés. En Guinée, expliquait un paysan de la commune de Tougué « *on entendait toujours parler de sécheresse ailleurs et ici on ne savait même pas de quoi il s’agissait, mais voilà que nous la vivons pratiquement de manière quotidienne* ». Les agriculteurs n’ont plus aucune maîtrise sur le calendrier saisonnier à cause d’une pluviométrie très perturbée. Une année, il pleut beaucoup, une autre année il pleut très peu; ce qui fait que les populations se sentent aujourd’hui déstabilisées car ne sachant pas à quel moment il faut semer et combien de temps il va pleuvoir. C’est un vrai jeu de hasard que jouent les populations dans les zones rurales. C’est ce qu’illustrent les propos d’un membre de la CRD Koyin lors de l’assemblée villageoise avec les populations de Parawol Marga : « *Cette année c’est l’abondance parce que tu récoltes beaucoup et tu remercies le bon Dieu (tu dis Al Hamndoullilah), l’année suivante, c’est la catastrophe et tu te désolés (tu dis Soubkhana Lah) parce que tu n’as rien gagné cette fois* ». Il poursuit pour expliquer que c’est exactement ce qui lui est arrivé pendant l’hivernage 2014 où il a eu à récolter beaucoup de riz et l’année suivante tout le village est allé semer, malheureusement c’était la catastrophe, en effet personne n’a rien récolté.

Ces différents éléments donnent une idée, sur le niveau des impacts locaux liés aux changements climatiques, en effet les populations se nourrissent d’agriculture et d’élevage alors que ces secteurs d’activités sont largement dépendants des aléas climatiques (déficits pluviométriques ou inondations récurrents) qui ont des impacts négatifs sur leurs systèmes de productions et de productivité.

L’analyse des données de sources diverses permet de constater que les établissements humains du BFS appartiennent très souvent à des zones où le taux de pauvreté est élevé par rapport au niveau national. Ce qui les rend d’autant plus vulnérables face aux effets des changements climatiques.

Les entretiens avec les différents acteurs montrent de réelles mutations sociologiques des populations. D’une vie communautaire où les populations cohabitaient en parfaite harmonie, on est passé aujourd’hui un individualisme qui rend difficile les relations sociales.

Les populations étaient généralement habituées à beaucoup de pluies et des forêts denses. L’agriculture, l’élevage, la chasse, la pêche, la cueillette et l’élevage sont autant d’activités qui permettaient aux populations de se nourrir. Donc l’exode rural et les déplacements vers les villes étaient pratiquement inexistantes. Les villages n’avaient pratiquement pas besoin de l’aide de l’Etat ou d’intervention de partenaires au développement.

L’analyse de ces communautés montre une parfaite ouverture des communautés au monde nouveau. Les changements climatiques ont beaucoup contribué à cette ouverture avec une faible productivité agricole, un élevage en régression, une disparition des ressources halieutiques (les cours d’eau tarissent et sont de plus en plus ensablés).

5.1.2. Les grands secteurs économiques

Le Bassin du Fleuve Sénégal est l'une des régions les plus pauvres du monde. Les ressources du fleuve Sénégal –et en particulier les ressources en eau—vont être de plus en plus sollicitées pour faire face aux énormes défis de développement de la région. L'enjeu est donc de répondre à ces besoins sans compromettre la disponibilité et la qualité de ces ressources.

La ressource en eau est exploitée pour l'agriculture, l'AEP, l'industrie, l'énergie, le tourisme, etc. Il faut distinguer les prélèvements d'eau des consommations. Ainsi l'énergie peut prélever beaucoup d'eau mais en consommer très peu, que ce soit avec l'hydroélectricité ou avec les centrales thermiques. L'irrigation à l'inverse consomme une grande partie de ce qu'elle prélève. L'AEP ne consomme qu'une part réduite de ce qu'elle prélève. En outre une partie des prélèvements se perd sous forme de fuites dans les réseaux.

La vallée et le delta concentrent plus de 90% des demandes en soutien d'étiage. La gestion des ressources sur cette partie du bassin constitue à cet effet un enjeu majeur pour le développement socioéconomique du bassin.

5.1.2.1. Agriculture

Les pays partageant le bassin du fleuve Sénégal sont fortement dépendants de l'agriculture qui contribue pour plus de 30% de leur produit intérieur brut moyen et occupe les 3/4 de la population active. Cette dépendance vis-à-vis de l'agriculture est encore plus nette pour les populations qui vivent dans le bassin même du fleuve Sénégal. Pour les pays membres de l'OMVS la lutte contre la pauvreté passe par le développement du secteur agricole.

Les principales spéculations céréalières sont le mil, le maïs, le sorgho, le fonio en zones exondées et le riz dans la vallée du fleuve. A ceux-ci s'ajoutent, selon les spécificités du bassin, les tubercules, les cultures maraîchères (oignons, pomme de terre, tomates, etc.) et les cultures de rente (arachide, coton, canne à sucre), le niébé.

L'agriculture constitue la première source de revenus du monde rural et est de loin l'activité économique la plus pratiquée dans le bassin du fleuve Sénégal. En effet, elle occupe près de 80% et 31% de la population respectivement comme activité principale et secondaire.

Des enquêtes ménages menées récemment dans la zone d'influence du PGIRE 1 confirment cette place de l'agriculture²⁵. Les revenus agricoles au sens large par ménage évalués à 861 904 F CFA représentent ainsi 59,5% du revenu total des ménages et la part des revenus des productions agricoles et prestations dans ces revenus agricoles est évaluée à 714 983 FCFA, soit 83% environ, le reste étant constitué des revenus tirés de la pêche (11,5%) et de l'élevage (5,5%).

Dans le bassin du fleuve Sénégal, la pratique de l'agriculture reste essentiellement une agriculture de subsistance. L'économie du BFS reste dominée par l'agriculture dont on distingue 3 types principaux : l'agriculture pluviale –Haut-bassin en raison de la bonne pluviométrie, l'agriculture de décrue (concentrée dans la vallée et le delta) et l'irrigation qui s'est développée avec une meilleure maîtrise de l'eau (barrages de Manantali et de Diama) dans le but de réduire la vulnérabilité aux déficits pluviométriques.

L'agriculture irriguée (riziculture, cultures de contre-saison...) a bénéficié d'investissements substantiels au cours des dernières décennies, en particulier dans les parties sénégalaise et mauritanienne du bassin. L'agriculture irriguée bénéficie de 70 à 80% des prélèvements d'eau du fleuve Sénégal.

L'agriculture de décrue dans les berges et bas-fonds de la vallée du fleuve occupe des superficies variables suivant les conditions de l'hydraulicité annuelle du BFS. Après la construction de Manantali, la culture de décrue a perdu de son importance et son avenir reste incertain même si elle fait désormais partie aujourd'hui des objectifs de développement de l'OMVS. Dans la pratique,

²⁵ Groupement AIDF/CSE/CRDES : Evaluation d'impact du PGIRE I et établissement de la situation de référence du PGIRE II- Version finale – Mai 2017)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

au cours des dernières années le sort de la crue annuelle et des cultures de décrue est plutôt lié au niveau des écoulements non contrôlés par le barrage de Manantali. En effet, le barrage n'a pas procédé à des lâchers de soutien de crue depuis 2003.

- En Guinée :

Dans la partie guinéenne du BFS (régions de Labé et Mamou), les statistiques de l'Agence Nationale des Statistiques Agricoles et Alimentaires de l'année 2014 évaluent à 1 324 225 l'effectif de la population agricole. Les femmes représentent 54%.

En amont du bassin, l'agriculture itinérante sur brûlis de céréales (riz, fonio, mil, sorgho) et la culture de l'arachide et de tubercules (manioc, patate douce, igname) prédominent aux abords des petits cours d'eau. La culture de tapade et la culture inondée et de décrue (patate et riz) sont aussi pratiquées dans les bas-fonds.

L'agriculture est marquée par l'alternance des deux saisons. Les cultures pluviales sont prédominantes dans la zone, avec la bonne pluviométrie qui y est enregistrée. La culture irriguée en est toujours à ses balbutiements, malgré l'énorme potentiel identifié, constitué de vastes zones irrigables et des ressources en eau de surface disponibles toute l'année mais menacées par l'ensablement et le dérèglement climatique. Les autorités guinéennes sont conscientes de l'importance de la culture irriguée dans la lutte contre la pauvreté et la malnutrition, d'où le grand nombre de sites identifiés dans la zone, pour abriter des mares, des retenues collinaires et des aménagements de bas-fonds, l'objectif étant de mettre à la disposition de la population des moyens de produire, avec une bonne maîtrise de l'eau.

En effet, en prenant le cas de la culture du riz, pratiquée en 2014 sur une superficie totale de 177 165 ha, la riziculture irriguée représentait à peine 1% tandis que la riziculture de plateau/coteau et montagne représentait 79%. En Moyenne Guinée, sur un potentiel de terres aménageables évalué à 29 759 ha en 2014, seuls 764 ha le sont en maîtrise totale.

- Au Mali

L'agriculture du Mali est basée sur les cultures vivrières (riz, maïs, mil, sorgho, fonio, niébé), les cultures maraîchères (oignon, gombo, pomme de terre) et les cultures de rente (coton, arachide, canne à sucre). Au Mali, aux alentours de Kayes, l'expansion de la culture cotonnière est très importante. Elle est passée de 0 ha en 1995 à plus de 42 000 ha en 2006.

L'agriculture constitue la première source de revenus du monde rural. L'agriculture est de loin l'activité économique la plus pratiquée dans le bassin du fleuve Sénégal. En effet, elle occupe près de 80% de la population. Les principales spéculations sont le mil et le sorgho en zones exondées et le riz dans la vallée du fleuve.

Les besoins actuels d'irrigation des périmètres en aval de Manantali sont de 11,147 millions de m³ par an pour une superficie de 710 ha. Dans le cadre de l'exécution des activités de l'OMVS, le Mali a créé, en Mai 2010, l'Agence de Développement Rural de la vallée du fleuve Sénégal (ADRS). Cette agence a pour mission de promouvoir la réalisation des aménagements hydro-agricoles et la mise en valeur des terres dans sa zone d'intervention. Les biens meubles et immeubles du Projet de Développement Rural Intégré en Aval du barrage de Manantali (PDIAM) et du Projet de Développement Rural Intégré de Kita (PDRIK) ont été transférés à l'ADRS. La zone d'intervention de l'ADRS couvre les cercles de Bafoulabé, Kayes, Kéniéba, Kita et Yélimané.

- En Mauritanie

En Mauritanie, la place de l'agriculture pluviale diminue (spécialement dans la frange septentrionale du bassin) du fait de l'aridité croissante et devient presque inexistante dans la basse vallée et le delta du fleuve. Les cultures pluviales (cultures du mil et de l'arachide) cèdent de plus

en plus le pas aux cultures de décrue dans la moyenne vallée et à la culture irriguée dans la basse vallée et le delta.

Les principaux systèmes de production agricole de la Mauritanie sur le bassin du fleuve Sénégal sont :

- Le maraîchage intensif autour des maisons pour la consommation familiale et le troc ;
- La culture extensive hors des zones d'habitation pour la production de céréales (riz, millet) ;
- La culture dans les fonds de vallées de produits commercialisés pendant la saison sèche.

- Au Sénégal

Dans les parties sénégalaises du bassin, de même qu'en Mauritanie, la place de l'agriculture pluviale diminue du fait de l'aridité croissante et devient presque inexistante dans la basse vallée et le delta du fleuve. Les cultures pluviales (cultures du mil et de l'arachide) cèdent de plus en plus le pas aux cultures de décrue dans la moyenne vallée et à la culture irriguée dans la basse vallée et le delta.

L'agriculture pratiquée dans la partie sénégalaise du bassin comprend deux volets :

- Une agriculture pluviale, essentiellement sur les terres éloignées des axes hydrauliques (terres de Diéri) ; c'est une agriculture de subsistance (céréales) avec une bonne activité de rente (arachide et coton). Cette activité est très tributaire des aléas climatiques ;
- Une agriculture irriguée le long des grands cours d'eau : cette agriculture se fait avec une meilleure maîtrise de l'eau, mais avec une très faible intensité culturale. Les spéculations concernées sont le riz, le sorgho et le maïs dans la haute et la moyenne vallée, auxquelles on ajoute des cultures maraîchères et industrielles au fur et à mesure qu'on se rapproche du delta.

Il faut noter que dans la zone du delta, l'intensité culturale est plus élevée, notamment dans la haute vallée, la précipitation annuelle permet d'assurer une bonne campagne hivernale et très souvent les cultures de contre-saison n'ont pas la priorité.

Le Sénégal et la Mauritanie se partagent plus de 90% des aménagements agricoles du bassin dont le potentiel irrigable était estimé à 420 000 ha (PNUE 2006). Ce potentiel irrigable et les aménagements disponibles restent toutefois sous-exploités.

L'agriculture est le principal secteur de prélèvement sur le BFS. Les prélèvements représentent un volume annuel de l'ordre de 1.4 milliards de m³. L'irrigation gravitaire prélève beaucoup d'eau mais une partie importante retourne au milieu, soit par drainage, soit par infiltration, soit sous forme de perte dans les canaux. Il existe donc un potentiel de réduction des prélèvements en passant à des techniques alternatives d'irrigation (aspersion, goutte à goutte, etc.), ce en quoi l'OMVS s'est déjà largement lancé au titre de l'adaptation à la diminution de la ressource. Sous cet aspect les besoins en eau de l'agriculture peuvent donc être orientés à la baisse, mais il est important d'intégrer ici l'information sur la planification de réhabilitation des périmètres irrigués dans le bassin du fleuve, ce qui peut modifier sensiblement la prévision de la demande.

Tableau 56 - Besoins actuels en eau d'irrigation (source : SDAGE du fleuve Sénégal, 2011)

Pays	Surface aménagée (ha)	Demande en eau (Mm ³)
Guinée	326	3
Mali	710	13
Mauritanie	29660	414
Sénégal	44744	1007
Total	75440	1437

De manière générale, les demandes en eau d'irrigation sont plus importantes durant la période humide c'est-à-dire de juillet à novembre. Celles-ci constitueraient entre 60% et 72% des besoins en eau actuelles de ce secteur (voir figure ci-dessous).

La figure ci-dessous représente l'estimation des volumes de prélèvements mensuels pour l'irrigation, d'après la Monographie du fleuve Sénégal.

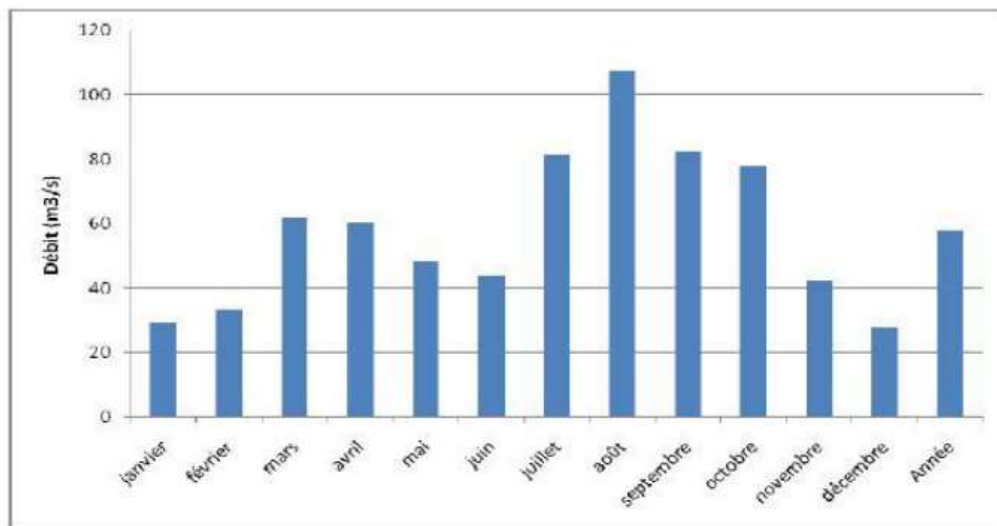


Figure 90. Prélèvements mensuels dans le fleuve pour l'irrigation (source : Monographie du fleuve Sénégal)

Néanmoins, les besoins en eau d'irrigation sont pour une bonne part liés à l'évapotranspiration des cultures, notamment quand on passe à des alternatives d'irrigation qui minimisent les pertes d'eau. L'évapotranspiration potentielle (ETP) augmente avec la température au même titre que les besoins en eau des cultures.

A l'horizon 2025, les prévisions de la FAO donnent une extension des superficies irriguées de 82 430 Ha dont la majeure partie au Sénégal (45 430 ha supplémentaires). Nous analyserons la situation de la satisfaction de la demande ces dernières années dans les 4 Etats membres de l'OMVS et nous chercherons à dégager des tendances. Nous chercherons à extrapoler les tendances observées pour la situation future en prenant à la fois en compte cette extension des superficies irriguées mais également l'inévitable augmentation des besoins qui accompagne l'augmentation des températures.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 57 - Prévisions d'extensions des superficies irriguées à l'horizon 2025 (source : Monographie du fleuve Sénégal, FAO 2009)

Superficie	Guinée (ha)	Mali (ha)	Mauritanie (ha)	Sénégal (ha)	Total (ha)
Existant	326	710	61986	110875	173897
Prévisions extensions	19600	11800	4600	45430	82430
Total	19926	12510	66586	156305	255327

Cette surface irriguée nécessiterait 5.2 milliards de m³ d'eau par an, soit une consommation supplémentaire de 3.8 milliard de m³ par an.

Tableau 58 - Prévisions d'extensions des superficies irriguées à l'horizon 2025 par sous bassin (source : Monographie du fleuve Sénégal, FAO 2009)

Sous Bassin	1	2	3	4	5	6	7	total
Existant (ha)	326	710	0	0	10 288	19 372	44 744	75 440
Prévision extension (ha)	19 600	852	0	0	1 522	47 711	110 202	179 887
Total (ha)	19 926	1 562	0	0	11 810	67 083	154 946	255 327
Besoin future en eau (Millions de m ³)	369,1	29,5	0,0	0,0	224,5	1 313,4	3 261,8	5 198,3

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 59 - Superficies irriguées et consommation d'eau par sous bassin²⁶

Bassin versant	Type de culture	Surface irriguée (en ha)	Consommation moyenne (m ³ /ha)	Consommation totale (en Mm ³)	Totale (en Mm ³)
1	polyculture	163	9500	1.5	3
	maïs	163	9500	1.5	
2	riz	53	18822	1.0	13
	riz	53	15060	0.8	
	polyculture	604	19037	11.5	
3	aucun	0	0	0.0	0
4	aucun	0	0	0.0	0
5	riz	390	15060	5.9	117
	maïs	9630	11139	107.3	
	maraichage	19	19037	0.4	
	maïs	117	9254	1.1	
	riz	28	15060	0.4	
	maraichage	104	19037	2.0	
6	riz	997	15060	15.0	300
	maïs	723	9254	6.7	
	maraichage	161	19037	3.1	
	maïs	10	11139	0.1	
	riz	173	18822	3.3	
	maïs	1877	9254	17.4	
	riz	9362	14941	139.9	
	maraichage	2968	19037	56.5	
7	riz	3101	18848	58.4	1007
	riz	2809	17242	48.4	
	maïs	297	9254	2.7	
	riz	2454	15990	39.2	
	maraichage	1688	19037	32.1	
	riz	901	21327	19.2	
	riz	4350	17242	75.0	
	cannes à sucre	7600	44702	339.7	
	maïs	24	9254	0.2	
	maraichage	673	19037	12.8	
	riz	175	23636	4.1	
	riz	16423	17242	283.2	
	maïs	534	9254	4.9	
	maraichage	1891	19037	36.0	
	riz	3820	23636	90.3	
	maïs	102	9254	0.9	
	riz	793	17242	13.7	
maraichage	140	19037	2.7		
riz	70	23636	1.7		

5.1.2.2. AEP, Elevage et Industries

Les besoins en eau des populations sont très variables suivant leur niveau de confort et le niveau d'équipement des collectivités. Une part importante de la population du bassin n'a toujours pas accès à l'eau potable. Divers programmes d'AEP ont été exécutés ou sont prévus de l'être, basés sur la potabilisation des eaux du fleuve Sénégal ou de ses affluents.

Les besoins actuels combinés de l'alimentation en eau potable, de l'élevage et des mines sont très faibles et comptent pour moins de 10% des besoins en eau du bassin. Les demandes restent constantes au cours de l'année.

L'alimentation en eau potable des populations, à partir des eaux du fleuve Sénégal, concerne essentiellement l'alimentation des villes de Dakar et de Nouakchott, ainsi que les réseaux de quelques villes riveraines. En Mauritanie et au Sénégal, l'alimentation en eau potable se fait pour une bonne part à partir des eaux souterraines. Alors qu'en Guinée et au Mali, l'AEP se fait majoritairement à partir des eaux de surfaces (proche de 87% de l'AEP). Le taux de couverture est faible et tourne autour de 60% sur l'ensemble du BFS.

²⁶ Source SDAGE volet modélisation. Ces données se basent sur le traitement de la campagne 2004-2005.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Les alimentations significatives à partir des eaux de surface concernent la station d'Aftout Es Saheli pour l'alimentation de Nouakchott (mise en service en 2010), les stations de Keur Momar Sarr (construite en 2003) et de Nguith (en service depuis 1970) alimentant en eau la ville de Dakar à partir du lac de Guiers et celle de Saint-Louis.

Le tableau ci-dessous donne une estimation, faite dans le cadre de l'actualisation de la Monographie du fleuve Sénégal, des prélèvements réalisés par les sociétés de distribution d'eau qui opèrent surtout en milieu urbain :

Tableau 60 - Quantités d'eau prélevées par les sociétés d'exploitation (source : Monographie du fleuve Sénégal)

Pays	Volume d'eau (m3)	(%) Eaux de surface	(%) Eaux souterraines
Guinée	5 449 450	85	15
Mauritanie	4 908 976	12	88
Mali	4 876 089	89	11
Sénégal	11 916 389	49	51
Bassin fleuve Sénégal	27 150 904		

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 61 - Estimation des besoins actuels et futurs en AEP, élevage et industrie minière (source : SDAGE du fleuve Sénégal, 2011)

Secteur	Pays / rivière	Prélèvements actuels (2008) (en Mm ³ /an)	Prélèvements futurs (2025) (Mm ³ /an)
AEP	Guinée	4.6	7.0
	Mali	4.3	6.5
	Mauritanie	15.9 ²⁷	62.9
	Sénégal	43.6	55.9
	Total	68.4	132.3
Elevage	Guinée	16.3	18.0
	Mali	11.5	16.9
	Mauritanie	18.8	27.9
	Sénégal	14.8	20.8
	Total	61.4	83.6
Industries /mines	Falémé	13.2	232.2
Total	Sénégal	143.0	448.1

Tableau 62 - Estimation des besoins actuels et futurs en AEP, élevage et industrie minière réparties par sous bassin (source : SDAGE du fleuve Sénégal, 2011)

Sous bassin	Besoins actuels (2008) (Mm ³ /an)				Besoins futurs (2025) (Mm ³ /an)			
	AEP ²⁷	Elevage	Industries /mines	Total	AEP	Elevage	Industries /mines	Total
1	4.6	16.3	0.0	20.9	7.0	18.0	0.0	25.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.8	0.0	0.0	0.8	1.3	0.0	0.0	1.3
4	0.0	0.0	13.2	13.2	0.0	0.0	232.2	232.2
5	3.5	11.5	0.0	15.0	5.2	16.9	0.0	22.2
6	0.2	33.6	0.0	33.8	0.3	48.7	0.0	49.0
7	59.3	0.0	0.0	59.3	118.5	0.0	0.0	118.5
Total	68.4	61.4	13.2	143.0	132.3	83.6	232.2	448.1

Les prélèvements futurs en AEP, à l'horizon 2025, ont été estimés lors de la mise en place du SDAGE (2011) sur une base de 3% de croissance par an. En 2025, une population de 9,7 millions d'habitant est attendue à l'intérieur du bassin. Cette population aura besoin d'environ 100 millions de m³ d'eau. En prenant en compte les transferts d'eau vers Dakar et Nouakchott, la population aura besoin de 210 millions de m³ dont un peu plus de 130 millions de m³ d'eau pompée directement dans les eaux de surface.

²⁷ La station d'alimentation de Nouakchott, Aftout Es Saheli, a été mise en service en 2010 (soit après les relevés réalisés pour le SDAGE). Dans la modélisation des allocations des ressources en eau cette station a été prise en compte. Cela peut expliquer des écarts possibles entre les besoins AEP présentés dans ce tableau et les besoins utilisés effectivement.

Ce tableau montre les estimations futures des besoins en eau de ces trois grands secteurs. On observe une augmentation importante des besoins en eau des industries et mines. Cette augmentation est principalement due à l’ouverture d’exploitations de fer sur le Koila-Kobé (un affluent du Falémé) et sur la Falémé. Les prélèvements sont estimés à 182.5 Mm³/an avec 85% de réinjection des eaux dans le processus de traitement du minéral sur le Koila-Kobé et à 36.5 Mm³/an sur la Falémé. Les mines peuvent constituer un impact très polluant si les traitements adaptés ne sont pas réalisés. La totalité des prélèvements miniers se font sur le sous bassin versant de la Falémé (SB4).

Les industries sont traditionnellement de grands consommateurs d’eau mais la tendance observée dans les pays industrialisés (Europe, Golfe, etc.) est orientée à la baisse. En effet les industries ont la capacité technique à modifier leurs process. Ces modifications conduisent généralement à la suppression des rejets polluants. La difficulté est financière (un investissement important est nécessaire) et un accompagnement de l’Etat (ou des agences de bassin) peut être déterminant.

L’élevage est une activité primordiale dans le BFS tant d’un point de vue économique que social. La pratique de l’élevage est essentiellement extensive, la majorité du cheptel est constituée de petits ruminants (moutons) et de bovins. La transhumance est beaucoup pratiquée sur l’ensemble du bassin notamment par les Peuhls. En termes de quantité, comme on peut le voir dans le tableau ci-dessus, l’abreuvement du bétail ne nécessite qu’un faible volume d’eau. Mais en termes de gestion hydraulique, l’élevage nécessite un approvisionnement constant tout au long de l’année et le maintien de petites crues permettant l’inondation des pâturages traditionnels situés dans les bas-fonds.

Il se rajoute également des grands comptes liés à l’activité tertiaire (administrations, universités, hôpitaux, etc.).

- La Guinée :

L’alimentation en eau potable de la zone reste basée sur des systèmes sommaires. En effet, pour la plupart des localités, le système d’alimentation est réduit à un puits moderne. Cependant dans les grands centres comme Labé et Mamou, il y a des systèmes de production modernes basés sur des barrages, des unités de potabilisation d’eau et des réseaux modernes de distribution. Dans tous les cas de figures, ce sont les eaux souterraines qui sont majoritairement utilisées (85%) pour la satisfaction des besoins en eau des humains.

L’élevage dans la partie guinéenne du bassin du Sénégal est un élevage sédentaire. Ceci s’explique par l’abondance des pâturages et le bon niveau de satisfaction des besoins en eau du cheptel. Dans cette partie du bassin, l’activité liée à l’élevage est très importante, car on est en milieu Peuhls elle concerne un effectif²⁸ de 113 276 sur une population de 1 725 646 (recensement démographique de 2014). Entre 1995 et 2000, le taux de croissance annuel était évalué à 4.68%, 6,56%, 6,43% et 9,63% respectivement pour les bovins, les ovins, les caprins et les porcins.

L’abreuvement du cheptel dans cette partie du bassin se fait de deux manières :

- Les points d’eau pastoraux : ce sont des forages et des puits de faible profondeur, captant des nappes superficielles ou des nappes de fracture ;
- Les grands axes hydrauliques que sont la Falémé, le Bafing et le Bakoye. Ils constituent une alternative aux puits et forages, tant par leur pérennité que par le volume d’eau disponible sans contrainte, et l’immensité des pâturages le long de ces axes.

Le niveau d’industrialisation de cette partie du bassin du fleuve Sénégal demeure très faible. Du fait du caractère très agricole de la zone, ce sont des industries de transformation des produits agricoles qui sont répertoriées, et plus précisément des industries de transformation des fruits, de l’arachide et des céréales, souvent de manière artisanale. L’industrie du bois est très présente dans la zone, du fait de la richesse de la forêt guinéenne, avec une forte présence d’essences très

²⁸ Moyenne Guinée (source : Bureau de Stratégie et Développement (BSD)/Ministère de l’Elevage et des productions animales)

prisées de même que quelques industries extractives (carrières) qui exploitent le riche sous-sol guinéen.

La production énergétique dans cette zone est de source thermique et hydroélectrique. Les localités électrifiées le sont du fait de la mise en service de petites centrales fonctionnant au fioul, produit importé et acheminé sur site à travers un réseau routier souvent peu praticable. Ceci constitue un frein majeur au développement de l'électrification et se répercute sur la qualité de la production énergétique.

Des barrages hydro-électriques dont Kinkon à Pita (3,4 MW) et datant de 1966, Kaléta (240 MW) inauguré en 2015, contribuent à l'alimentation en électricité de villes du Bassin comme Labé, Dalaba, Mamou même s'il persiste encore un déficit surtout noté en saison sèche de telle sorte qu'à Labé l'électricité n'est disponible qu'environ 7 à 8 h par 24 h.

Des investissements sont prévus pour améliorer la disponibilité de l'électricité (dragage de la retenue de Kinkon, réalisation du barrage de Souapiti, du barrage de Koukoutamba sur le Bafing en territoire guinéen, dans la préfecture de Tougué, entre autres).

- Le Mali

Le taux d'accroissement moyen de la population est estimé à 2,3% par an. Sur la base de ce taux, la population du bassin est estimée à 1 886 336 habitants en 2011. En utilisant une norme de 20 litres d'eau par jour par personne, les besoins en eau potable se chiffrent à environ 13 770 253 m³ par an.

L'élevage qui est essentiellement de type extensif, constitue la deuxième source de revenus du monde rural. En 2014, les régions du bassin du FS (Kayes et Koulikoro) comptaient 2 578 270 bovins, 2 874 360 ovins, 3 821 820 caprins, 260 600 équins et 192 950 camélins, représentant respectivement 25%, 20%, 19%, 49% et 20% du cheptel national.

La contribution du secteur industriel malien, malgré les atouts et les potentialités du pays, demeure encore faible dans la création de la richesse nationale. D'après les résultats du recensement industriel de 2003, le secteur industriel représente 11% du PIB et est peu présent sur le bassin versant du Sénégal. Les unités industrielles recensées dans le bassin malien du fleuve Sénégal sont l'usine d'égrenage de coton de la CMDT à Kita et l'usine de trituration de la graine de coton de HUICOMA à Kita. Actuellement, l'huilerie de Kita est arrêtée depuis plus de six ans.

- La Mauritanie

La majorité de l'alimentation en eau potable se faisait jusqu'à récemment à partir des eaux souterraines (88%) et notamment par pompage dans la nappe souterraine située à Idini, dans le Trarza. Cette nappe renferme la plus importante réserve d'eau du pays : 20 milliards de m³. Mais cette ressource n'est pas renouvelable et son exploitation actuelle (60 000 m³/j)²⁹ se situe déjà bien au-dessus de la normale (36 000 m³/j) pour faire face aux besoins urgents des habitants de la capitale. Aussi la Mauritanie a réalisé le projet d'Aftout Es Saheli, mis en service en 2010, qui permet désormais d'alimenter Nouakchott à partir des eaux de surface du fleuve Sénégal.

L'élevage dans cette région n'est pas sédentaire. Il se fait soit sous forme semi sédentaire, soit sous le régime de la transhumance saisonnière.

En 2013, les statistiques officielles indiquaient au niveau national : 1 773 563 bovins, 10 073 138 ovins, 6 714 042 caprins et 1 389 073 camélins.

- Le Sénégal

Les prélèvements à usage domestique se font de deux manières : directement, et à partir de systèmes d'Alimentation en Eau Potable (AEP). Les prélèvements directs deviennent de plus en plus rares, car les villageois sont de plus en plus conscients des risques qu'ils courent en buvant l'eau brute du fleuve. Cependant, ils continuent de s'approvisionner au fleuve pour certaines activités non consommatrices comme la lessive et la vaisselle.

²⁹ <http://www.jeuneafrique.com/110436/archives-thematique/aftout-es-saheli-un-r-ve-devenu-r-alit/>

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Les prélèvements pour les systèmes d'AEP commencent à être la règle dans la vallée. Ils sont réalisés dans des cas bien déterminés quand les aquifères identifiés dans les zones concernées sont soit salés, soit peu productifs. L'eau prélevée du fleuve est traitée avant d'être injectée dans le réseau à travers un ouvrage de stockage et de mise en charge.

En 2014, la partie sénégalaise du Bassin comptait 1 937 914 bovins et 5 757 196 petits ruminants, soit plus de la moitié du cheptel national. On recensait aussi près de 200 000 asins et 125 000 équins.

En dehors de ces animaux autochtones, il faut retenir que du bétail originaire d'autres contrées transhume vers le fleuve Sénégal, du fait du problème d'eau très aigüe auquel les troupeaux sont confrontés durant le 8 à 9 mois de saison sèche. Le nombre et la taille de ces troupeaux sont difficilement quantifiables car il n'y a pas de statistiques fiables sur la transhumance vers le fleuve à partir de l'hinterland.

5.1.2.3. Pêche

La pêche est l'une des activités économiques les plus importantes. Elle est pratiquée de manière industrielle, semi-industrielle et artisanale par les populations des villes et villages tout le long de la côte et à l'intérieur des terres (pêche continentale). D'une manière générale, la pêche apporte environ 3 % au PIB et constitue environ 85 % des protéines alimentaires de la population.

Cependant, le secteur est souvent très mal géré et entraîne d'énormes problèmes environnementaux et socio-économiques au niveau de la côte. Cela est un facteur limitant considérablement les apports réels du secteur à l'économie nationale.

Le panel des experts nationaux des différents pays a désigné le secteur de la pêche comme étant très sensible à l'évolution de certains paramètres climatiques tels que la température, le niveau marin, les précipitations, les courants maritimes, les vents.

Dans le bassin du fleuve Sénégal, la pêche est essentiellement artisanale. Au Sénégal, elle emploie environ 2 500 pêcheurs et 5 000 vendeuses de poisson plus connues sous le nom de "palaiês".

Comme le montre le tableau ci-dessous, le sous-secteur de la pêche artisanale a connu un essor entre 1985 et 1990, où sa production est passée de 2 137 tonnes à 3 572 tonnes. Puis elle a suivi une dynamique régressive avec une chute de 1 572 tonnes entre 1990 et 1992 passant ainsi de 3 572 tonnes à 2 000 tonnes.

Tableau 63 - Production intérieure de 1985 à 1992 (Tonnes) (source : Ministère de l'Economie et Finances - Sénégal (1993))

Désignation	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Artisanale	2 137	2 238	2 807	2 873	3 490	3 572	2 221	2 000

Cette dynamique à la baisse du secteur de la pêche est, par ailleurs, perceptible sur les infrastructures et le nombre d'exploitants.

Dans le delta du fleuve où la pêche est essentiellement continentale, l'assèchement des vallées continentales, au cours de la période de sécheresse, a quasiment réduit à néant ce type de pêche. Cette baisse des pêcheries sera analysée au cours de cette étude et son impact socio-économique identifié ainsi que les options d'adaptation dans les différents pays du BFS.

Il ressort du SDAGE 2011 qu'il y a quatre grandes zones de pêche sur le bassin :

- La retenue de Manantali ;
- La haute vallée de Bakel à Matam ;
- Le delta de Rosso à Diama ;

- Le lac de Guiers.

Tableau 64 - Principales zones de pêches (source : SDAGE)

Secteur	Sous bassin	Nombre de pêcheurs	Débarque annuel (Tonnes)	Débarques annuel moyen par pêcheur (Tonnes)
Retenue de Manantali	1	540	NC	10
Tête de bassin Bafing Falémé	1 et 4	12 292	32 500	2,6
Haut Sénégal	5	429	2 247	5
Haute vallée (Matam à Bakel)	6	4 199	12 917	3
Moyenne Vallée (Podor à Matam)		1 189	5 155	4
Basse vallée (Richard Toll à Podor)	7	493	3 379	7
Lac de Guiers et Taouey		847	18 472	22
Delta (Diama à Richard Toll)		1 094	25 576	23

La pêche n'est pas en soi une activité consommatrice d'eau. Elle impose toutefois des contraintes de gestion, qui sont de deux ordres :

- D'une part, en saison des pluies, le maintien d'un niveau de crue suffisant pour inonder les frayères et pour favoriser la reproduction des poissons ;
- D'autre part, en saison sèche, le maintien de niveaux d'étiage minimaux et d'une qualité d'eau suffisante pour garantir un environnement conforme au développement de la faune piscicole.

5.1.2.4. Energie

L'énergie mobilise de l'eau douce pour les usines hydroélectriques. L'énergie a également besoin d'eau pour le refroidissement des centrales thermiques, mais ce peut-être aussi bien l'eau de mer.

Nous avons fait le point sur l'utilisation de l'eau douce pour l'énergie dans les quatre Etats membres de l'OMVS et sur son utilisation prévisible, en termes de prélèvements et de consommation.

Les barrages hydroélectriques actuellement présents sur le BFS sont Manantali et Félou. Manantali permet de retenir un volume maximal de 11.3 milliards de m³. Celui de Félou est construit au fil de l'eau, il n'a pas de retenue d'eau significative. Ces deux barrages ne consomment pas d'eau, sauf l'évaporation dans le réservoir de Manantali.

Il existe un très fort potentiel hydro-électrique sur le BFS, principalement sur la partie amont du Bafing. Le potentiel total du fleuve Sénégal est de 7 435.6 GWh/an et actuellement seulement 15% du potentiel est exploité.

Tableau 65 – Potentiel de puissance et d'énergie sur le bassin du fleuve Sénégal (source OMVS)

Cours d'eau	Puissance hydroélectrique	Energie hydroélectrique annuelle
Bafing	1 020, 5 MW soit 57,27 %	3 715,7 GWh soit 49,97 %
Bakoye	100 MW soit 5,61 %	585 GWh soit 7,86 %
Baoulé		140 GWh soit 1,88 %
Fleuve Sénégal	495 MW soit 27,78 %	2 400 GWh soit 32,27 %
Falémé	50 – 60 MW soit 3,36 %	279 GWh soit 3,75 %
Téné	106,4 MW soit 5,97 %	315,9 GWh soit 4,25 %

Les contraintes de l'hydroélectricité sont liées à des problèmes de disponibilité de l'eau au moment voulu, avec des variations journalières en fonction de la demande d'électricité.

Bien qu'il s'agisse d'utilisations non consommatrices de l'eau, les secteurs de l'hydroélectricité imposent parfois des contraintes à la disponibilité de l'eau pour les autres usages. Afin d'atteindre leurs objectifs de production d'électricité, les barrages turbinent en permanence des quantités importantes d'eau. Ils ont besoin d'un débit minimum garanti toute l'année :

- 200 m³/s (nécessitant un volume d'eau de 6,3 milliards de m³ par an) pour le barrage de Manantali sur le Bafing ;
- 80 m³/s (2,5 milliards de m³/an) pour le barrage Gourbassi prévu sur la Falémé.³⁰

5.1.2.5. Navigation

La prise en compte de la navigation dans les objectifs d'aménagement de la vallée est indispensable. La navigation est un usage essentiel sur le BFS ; elle constitue l'un des trois grands volets du programme de l'OMVS.

Ce volet est destiné à rendre le fleuve Sénégal navigable de Diama à Ambidédi au Mali ; il est soutenu par le maintien d'un débit minimum turbiné, devant assurer un tirant d'eau permettant la navigation pour certains types d'embarcations, et ce, toute l'année.³¹

Le niveau d'avancement dans la mise en œuvre des autres programmes que sont l'hydroélectricité et l'irrigation fait que la navigation se trouve désormais à la première place dans la hiérarchie des priorités de l'OMVS. A cet effet a été créée, en 2011, la Société de Gestion et d'Exploitation de la Navigation sur le Fleuve Sénégal (SOGENAV) dont le rôle est de coordonner toutes les actions en vue d'une mise en œuvre efficace du volet navigation.

Une série d'études techniques et économiques ont été réalisées sur le volet navigation, concernant la bathymétrie du fleuve, les escales portuaires le long du fleuve Sénégal, le déroctage en aval d'Ambidédi, de même que l'étude de faisabilité globale de la navigation.

La navigation n'est pas, à proprement parler, une activité qui consomme de l'eau. Ses besoins se traduisent en termes de tirant d'eau et donc de hauteur d'eau et de débit, et ne peuvent pas être dissociés des autres usages.

Le fleuve Sénégal est potentiellement navigable sur 905 km entre l'embouchure et Ambidédi. Les mises en service, d'une part du barrage de Manantali et d'autre part du barrage de Diama, ont permis de sécuriser et de pérenniser tout au long de l'année l'activité. Il est couramment admis que dans les conditions actuelles, un débit d'étiage de 350 m³/s à Bakel permet la navigation sur toute la zone navigable du fleuve. Le programme de navigation de l'OMVS nécessite 630 Millions de m³ d'eau par an pour satisfaire l'objectif d'un débit minimal de 300 m³/s à Bakel. A noter que les débits lâchés par Manantali, en soutien d'étiage, et qui permettent la navigation dans la partie navigable amont, peuvent être affectés à l'irrigation dans la partie navigable aval sous influence de Diama.

³⁰ Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière du Bassin du Fleuve Sénégal, février 2017

³¹ Elaboration de la Nomenclature des seuils d'autorisation et de déclaration des prélèvements d'eau du Fleuve Sénégal, ARTELIA, février 2013

Le barrage de Diama permet par effet de seuil, d'assurer la navigation sans soutien d'étiage entre Boghé et Diama. Le barrage de Manantali peut permettre par son soutien d'étiage une navigation jusqu'à Ambidédi. Actuellement les règles de gestion des ouvrages hydrauliques du fleuve ne sont pas axées sur les contraintes de la navigation dans la mesure où les critères minimaux sont déjà sensiblement atteints par les autres contraintes (irrigation, AEP, turbinage).

5.1.2.6. Autres secteurs d'activités (tourisme, exploitation forestière...)

D'autres besoins en eau sont à prendre en compte, par exemple :

- Le tourisme : il se concentre sur certains mois de l'année, de préférence lors des beaux jours, générant des pics de consommation. Le tourisme est un grand consommateur d'eau par personne de par le niveau de confort élevé qu'offrent les grandes chaînes hôtelières aux touristes. Les golfs et les piscines particulièrement recherchés par les touristes rajoutent à la consommation d'eau ;
- L'embellissement des villes (parcs urbains, plates-bandes le long des avenues) nécessite un arrosage régulier ;
- Les milieux aquatiques et la biodiversité attachée (zones humides, fonds de cours d'eau, etc.) ont également besoin d'eau pour survivre ;
- L'exploitation forestière : Le bassin du fleuve Sénégal dispose d'immenses potentialités en ressources forestières inégalement réparties. La production annuelle de bois est de 2,96 millions de m³.

Il importe que ces besoins soient également satisfaits pour des raisons environnementales (des villes agréables à vivre) et écologiques.

5.1.2.7. Situation par sous bassin versant

5.1.2.7.1. Le Bafing amont jusqu'au barrage de Manantali

A. Agriculture

La faible maîtrise de l'eau, la baisse tendancielle de la fertilité des sols et la forte dépendance aux aléas climatiques constituent des caractéristiques-clés de l'agriculture dans cette partie du bassin.

L'agriculture est essentiellement pluviale bien que, dans la partie guinéenne du sous-bassin, on recense un potentiel important de plaines aménageables telles que celle de Kolum (7 000 ha), Malipan (275 ha), Moukidjigué (180 ha), Ndouka (600 ha).

En moyenne Guinée, on cultive le fonio, le riz (faiblement), le maïs, le mil par endroits, l'arachide, la pomme de terre, les cultures potagères (tomates, choux, oignons, aubergines, tomates, exploitées essentiellement par les femmes) irriguées à partir de puits peu profonds (2-7m) le long des cours d'eau avec des arrosoirs et motopompes. On relève également des pratiques de cultures dans le lit même des cours d'eau à cause du manque d'aménagements et d'infrastructures hydrauliques (puits). A ces cultures, s'ajoutent la banane, les oranges, le café, le petit piment.

En dehors de l'arachide, la pomme de terre constitue une culture de rente exportée vers le Mali, le Sénégal, la Côte-d'Ivoire, la Guinée-Bissau et la Gambie. La zone produit de grandes quantités de tubercules comme les patates douces et les tarots.

Le fonio et le riz sont des cultures pratiquées essentiellement par les hommes tandis que la culture du maïs est mixte.

L'activité agricole est menacée par la hausse de la température, la sécheresse et le tarissement des cours d'eau, l'ensablement de ces derniers, le déboisement abusif.

Dans la zone de Tougué, la pratique de la culture du riz flottant, riz à long cycle de 6 mois devient risquée. Pour ce type de culture, le semis se fait normalement en Mai et la crue arrive normalement en août/septembre. Or, de plus en plus, il est noté des crues précoces dès fin juin de telle sorte que les jeunes pousses qui ne sont pas encore assez robustes sont submergées par les eaux, entraînant une baisse des rendements et parfois la crue se produit au moment où des superficies attendent toujours d’être semées. Paradoxalement, la plaine de la Kolum est considérée par les producteurs comme une zone à risques élevés en raison (i) de la perturbation des crues : tantôt c’est la sécheresse, tantôt il y a excès d’eau qui entraîne le pourrissement des cultures. Tel fut le cas en 2012 où les exploitants ont fait des pertes à cause des inondations des champs de riz. A ceci s’ajoute la divagation des animaux dans les parcelles, en quête de pâturages.

Les vagues anormales de froid se manifestent par de la gelée souvent mortelle pour les cultures maraîchères.

B. Elevage

En ce qui concerne l’élevage, les effectifs se sont accrus mais, en saison sèche, les animaux souffrent du manque d’eau (assèchement des cours d’eau) et de fourrage.

Toutefois, la pratique de la transhumance est faible comparée à d’autres zones.

Certaines populations rencontrées dans la partie guinéenne signalent une réduction de la taille de leur cheptel due à l’augmentation de la mortalité du cheptel (bovins, ovins, caprins), aux vols et à la sécheresse. Cependant, les statistiques officielles régionales n’attestent pas cette tendance.

Les cas de conflits agriculteurs-éleveurs sont récurrents.

C. AEP

Les sources d’approvisionnement en eau de boisson sont les puits, les forages, les adductions d’eau et les eaux de surface.

D. Energie hydro-électrique

En saison sèche, l’assèchement des barrages hydro-électriques entraîne un déficit de production d’énergie.

Les barrages alimentant la zone ou projetés sont : le barrage de Kaléta d’une capacité de 250 MW inauguré en 2016, le barrage de Souapiti (d’une capacité de 450 MW, en construction) et auxquels viendra s’ajouter le barrage à vocation mixte de Fomi avec lequel 4 000 ha pourront être irrigués dans le bassin du fleuve Niger.

Les communes rurales de Tougué et de Mali sont alimentées par des groupes électrogènes pour le moment.

Il est prévu la construction du barrage de Koukoutamba (production moyenne de 858 GWh/an), sur le Bafing en territoire guinéen à 150 km en amont de la frontière séparant la Guinée et le Mali.

E. Pêche :

Cette activité est pratiquée par les hommes et les femmes au moyen de filets dans les mares et les cours d’eau dont la plupart s’assèchent en saison sèche.

On note une baisse des captures à cause de la sécheresse et du tarissement du lit des cours d’eau.

L’étude de caractérisation de la pêche continentale dans la zone du BFS (Ministère de la pêche et de l’aquaculture de Guinée) identifie 41 sites de pêche dont 11 dans la préfecture de Tougué et 5 dans celle de Mamou, 12 dans la préfecture de Dinguiraye et 14 dans celle de Dalaba. Le nombre total de pêcheurs concerné était estimé à 12 239 dont une forte proportion de femmes. Les

captures totales étaient évaluées à 32 500T en 2008. Cette pêche se pratique dans les mares dont certaines s'étendent sur plusieurs milliers d'ha, les rivières (dont Kolum) et les fleuves (dont le Bafing).

L'évolution de ces indicateurs n'a pas pu être documentée faute de données. Toutefois, de nombreux indices laissent penser que l'activité ressent négativement la baisse de la pluviométrie et qu'elle pourrait être compromise à terme dans certaines zones à cause du risque élevé d'assèchement et de comblement de certains cours d'eau.

5.1.2.7.2. Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé

A. Agriculture

L'agriculture qui est la principale source de revenus est essentiellement pluviale et les principales cultures sont : le maïs, le sorgho, le riz, le mil, le fonio (en régression), la patate douce, le haricot, les cultures de rente tels que l'arachide, le coton, et les cultures maraîchères (oignon, tomate, aubergine, ...)

La contrainte principale de l'agriculture demeure le manque d'eau à cause de la baisse de la pluviométrie et de la baisse des nappes.

Il est constaté, de plus en plus, l'arrivée tardive des pluies (juillet au lieu du 25 mai au plus tard) et la fin précoce de l'hivernage (septembre au lieu de novembre).

Le maraîchage est pratiqué le long des berges par les hommes et par les femmes (majoritaires). Les principales spéculations sont : pomme de terre, laitue, oignons, betterave, gombos, manioc, choux, carottes, tomates. En plus des contraintes climatiques (baisse des nappes, manque d'eau, forte insolation), cette activité est soumise à plusieurs contraintes d'ordre socio-économique (divagation des animaux, manque d'équipement de pompage et temps d'exhaure et d'arrosage élevé, entre autres).

Il est globalement admis une baisse des rendements des cultures maraîchères due à la forte insolation dès 8 h du matin : « c'est la fin du monde », dixit un membre du Groupement « Laïdu » ou « promesse » mais aussi à la divagation des animaux du fait de l'insuffisance des pâturages.

B. Elevage

Il est pratiqué par tous mais quelques ménages possèdent des troupeaux importants. Cependant, il y a une tendance à l'abandon de l'activité du fait des difficultés.

C. Pêche continentale

Cette activité est pratiquée par les Bozos, les Somonos et les populations locales. Peu développée, elle est pratiquée le long du fleuve Sénégal et ses affluents, le Bakoye et le Bafing, en toute saison.

Il est observé un manque de poissons (baisse des captures). Le barrage de Manantali est devenu un site important de pêche continentale et les productions ravitaillent des villes comme Kayes et Bamako.

L'étude de caractérisation de la pêche continentale dans les cercles de Kayes et Bafoulabé a répertorié 54 villages et campements dans le cercle de Bafoulabé où plus de 97% des pêcheurs s'adonnent à l'activité de manière permanente. Entre 2006 et 2008, en moyenne 783 T de poissons ont été enregistrés au débarcadère du Lac de Manantali. Les débarquements de 2008 représentaient plus du double de ceux de 2006. Ces pêcheurs en tirent des revenus substantiels compris entre 1 et 10 Millions FCFA, mais à l'intérieur de cette tranche environ 28% ont un revenu annuel compris entre 5 et 10 Millions FCFA.

Les résultats des différents suivis environnementaux du lac de Manantali montrent que l'eau de cette retenue reste de bonne qualité (SSSE, 2008) tandis que des recherches avaient conclu que

la pression actuellement exercée sur la ressource est en deçà du potentiel exploitable estimée entre 2000 et 3000 T/an (Vanden Bossche et Bernacsek, 1991). (Laë et al, 2004 ; Kantoussan, 2007).

La documentation consultée n'a pas encore permis de caractériser la situation actuelle mais on s'accorde sur le fait que la principale menace de cette retenue réside dans l'apparition des plantes envahissantes sur certaines de ses parties et dans la sécheresse.

La très forte variabilité interannuelle de la pluviométrie et des régimes hydrologiques constatée (OMVS, 2006) pourrait entraîner l'assèchement de certains plans d'eau notamment les mares ainsi que la réduction des surfaces inondées des milieux adjacents des plans d'eau comme les fleuves et les lacs. Or, ces milieux jouent un rôle important dans le renouvellement des peuplements parce que servant souvent de lieux de reproduction aux poissons et de lieux de croissance pour les juvéniles. Tous ces éléments impacteraient négativement sur la productivité de la pêche continentale, sur l'approvisionnement des populations en poissons (disponibilité sur les marchés et prix acceptable), sur l'équilibre nutritionnel des ménages, sur la sécurité alimentaire et sur l'emploi dans le secteur.

D. Industrie

Le sous-bassin est très peu industrialisé et on ne recense que des industries extractives.

On identifie les unités suivantes:

- Stone : engrais et carreaux ;
- Astro : ciment ;
- CCM : chaux éteinte, chaux vive.

Ces usines offrent de l'emploi à quelques jeunes de Bafoulabé et des villages riverains mais les emplois offerts aux femmes sont très peu nombreux et ne sont pas qualifiés.

E. Exploitation forestière

Il est observé une baisse de la cueillette parce que plusieurs essences fruitières ont disparu ou sont très négativement agressées, engendrant une diminution des rendements. Parmi les essences dans cette situation sont citées : le karité, le néré (parkia biglobosa), le baobab, le « dougouto » (cordina pinata), le « kourounifing », le « tamba ». Ils constituent des sources supplémentaires de revenus pour ceux qui en font une activité. Si rien n'est fait, cette tendance à la dégradation se poursuivra.

Avant, la cueillette était plus importante et était destinée à l'autoconsommation et à la vente ; le chemin de fer Dakar-Bamako permettait alors d'accéder plus facilement aux marchés sénégalais où ces produits sont prisés. Aujourd'hui le sac de 50 kg de pain de singe s'échange à 3000 F CFA pendant la cueillette contre 6000 F en hivernage où le produit se raréfie.

De nos jours, la rareté de l'arbre du karité a conduit à l'abandon par les femmes de la transformation de la noix en beurre pour des usages médicaux. Seul le pain de singe continue d'être produit en faible quantité (transformation en jus et utilisation des feuilles comme condiments).

La pauvreté est un facteur aggravant de la déforestation car elle incite certains acteurs, initialement agriculteurs, à se reconvertir dans l'exploitation des ressources forestières (coupe de bois et carbonisation) pour en faire une source principale de revenus. En effet, le sac de charbon se vend à 1 500 FCFA et la charrette de bois à 3 000 FCFA. Cette activité est pratiquée par des hommes, des jeunes et même des femmes, qui se livrent à la carbonisation (dans les villages de Tallaré, à 15 km de Bafoulabé, et de Duparé, 25 km de Bafoulabé).

Le principal combustible pour la cuisson est effectivement le bois ; le gaz n'est pas utilisé dans la zone du fait de diverses contraintes

F. Energie

Le sous-bassin abrite la retenue de Manantali qui a une vocation primaire hydro-électrique.

5.1.2.7.3. Le Bakoye jusqu’à Bafoulabé

A. Agriculture

Les principales spéculations de l’agriculture sous pluies sont le mil, l’arachide, le haricot, le maïs et le fonio.

Le maraîchage (choux, aubergine, oignons, céleri, tomates) est pratiqué par les femmes mais fait face à d’énormes problèmes d’eau parce que l’eau des bas-fonds s’assèche dès le mois d’avril.

Les femmes pratiquent également le petit commerce, l’élevage de petits ruminants et de volaille ainsi que des prestations culturelles dans les champs contre rémunération.

On souligne globalement:

- Une baisse des pluies et une forte variabilité pluviométrique ;
- Des pauses pluviométriques fréquentes ;
- La sécheresse ;
- Une augmentation des insectes nuisibles et des oiseaux ;
- Une baisse des rendements et des revenus agricoles ordinaires, compensée en partie par les revenus tirés du commerce, du maraîchage et de la commercialisation de petits ruminants et volaille ;
- Une baisse de la fertilité des sols ;
- Une hausse de la température et une hausse de l’insolation ;
- L’avancée du désert.

B. Elevage

La zone accueille les transhumants du Nord du Mali et de la Mauritanie. Le secteur rencontre des difficultés pour l’abreuvement du cheptel et pour son alimentation, conséquences de la sécheresse et des changements climatiques observés.

L’élevage extensif est de type sédentaire et transhumant, et porte sur les bovins, ovins, caprins, équins, asins et les volailles. Il est caractérisé par un regroupement nord-sud de décembre à juin et sud-nord de juin à novembre.

C. Pêche

Il existe un potentiel de mares, de marigots et de bas-fonds importants dont le régime est lié à celui de la pluviométrie. Cependant, il faut noter l’existence du fleuve Baoulé à la lisière des cercles de Diéma et de Kita et du fleuve Bafing. La pêche n’est pas une activité régulière dans la plupart des cercles du sous-bassin. Elle est purement artisanale et ne comprend que les espèces d’eau douce: silures et carpes

D. Approvisionnement en combustibles

On continue à utiliser le bois et le charbon de bois pour la cuisson des aliments. La charrette de bois coûte 2000 et 3000 FCFA et il faut parcourir 7-8 km pour en disposer. Le gaz n’est pas disponible dans la commune et serait inutile s’il l’était, car les coûts d’acquisition et de chargement sont jugés trop onéreux par les ménages. Vu la taille élevée des ménages, l’usage du gaz ne semble pas compétitif face au bois dont le chargement peut être utilisé pendant 2 jours pour les usages culinaires.

5.1.2.7.4. La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal

L'agriculture, l'élevage, le commerce et l'artisanat constituent des activités principales auxquelles s'ajoute l'orpaillage qui se développe de plus en plus.

A. Agriculture

Agriculture sous pluies : on cultive le maïs, le fonio, le riz pluvial (vers Balaki), l'arachide, le sorgho, la pomme de terre, le riz de montagne à l'ouest de Mali.

Maraîchage : malgré l'existence de domaines aménagés, des producteurs préfèrent les berges des cours d'eau où l'accès à l'eau est plus facile et non réglementé, contrairement aux premiers où l'accès à l'eau d'irrigation peut ne pas être permanent. Ces pratiques contribuent à ensabler les cours d'eau.

L'agriculture est soumise aux perturbations du calendrier cultural et aux épisodes d'inondations.

On constate que les gens continuent à semer même en juillet (Lebékéré, Touba Bagadadji, Medina Ouora, Gaya, Dougoutouni, Ouest préfecture de Mali).

L'agriculture reste contrainte par l'assèchement et l'ensablement des cours d'eau, la hausse de la chaleur et l'augmentation de la température ambiante ainsi que la baisse de la pluviométrie.

On peut penser que tous ces phénomènes qui sont constatés et considérés comme des manifestations des CC devraient persister en s'accroissant dans les années à venir, au vu des prévisions concernant certains paramètres climatiques et leurs répercussions sur les ressources en eau. La place qu'occupe actuellement l'agriculture dans l'économie locale permet de déduire une chute des revenus issus de cette activité si des mesures d'adaptation ne sont pas mises en œuvre. Les conséquences d'un tel scénario sont la pression accrue sur les ressources forestières, l'insécurité alimentaire, l'exode et la ruée vers les sites miniers (orpaillage), au détriment d'autres activités dépendant des milieux. Tel est le cas, dans la région de Tambacounda dont une partie est concernée par ce sous-bassin, et où il est observé une baisse de 16% du nombre de pêcheurs entre 2013 et 2014.

B. Elevage

Les populations sont généralement à la fois agriculteurs et éleveurs.

Le cheptel est constitué majoritairement de bovins. Il est remarqué une baisse de la taille du cheptel au fil des ans, sauf dans les zones où l'environnement et le potentiel semblent intacts.

La baisse de la taille du cheptel est liée à une mortalité du cheptel due aux épidémies et à la rareté du fourrage.

La transhumance est pratiquée dans la zone et est source de conflits récurrents agriculteurs-éleveurs.

C. Industries et orpaillage

Cette partie du BFS recèle d'importantes ressources minières (or, fer, uranium, marbre...) et abrite tant du côté du Mali que de celui du Sénégal, des sociétés minières. L'orpaillage, exploitation traditionnelle de l'or, est bien développé et attire un flux de jeunes à la recherche d'emploi.

Ces activités vont de pair avec l'utilisation de produits chimiques considérés comme très polluants.

Au Sénégal, selon la Division Régionale de l'Environnement et des Etablissements Classés (DREEC) de Kédougou, plusieurs sites pollués sont localisés au niveau des fleuves de la Falémé et de la Gambie.

Les différents polluants répertoriés au niveau de la région sont : le mercure, le cyanure, les acides sulfuriques, les acides nitriques, le borax, l'arsenic, le peroxyde d'hydrogène, la chaux, le nitrate d'ammonium.

La pêche n'est pas connue comme une activité courante très importante dans ce sous-bassin.

5.1.2.7.5. Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel

Les activités économiques par ordre d'importance sont : l'agriculture, l'élevage, la cueillette, la pêche, le commerce, l'artisanat. Ces activités constituent les principales sources de revenus des populations.

A. Agriculture

Prépondérance de l'agriculture pluviale et faible mise en valeur du potentiel aménagé et aménageable.

L'agriculture sous pluies domine à côté de l'agriculture irriguée et des cultures de décrue. Les principales spéculations sont les céréales (maïs, le sorgho, le riz, le mi), le haricot, la patate douce, l'arachide et le coton (en baisse). A ceux-ci s'ajoutent les cultures maraîchères (oignons, tomates, gombos, ...)

Dans la partie sénégalaise du sous-bassin (Bakel) se pratiquent les cultures du maïs de décrue par les hommes chefs de ménage et celles des patates sur les terres de décrue (jeunes) d'octobre à avril. Les femmes n'ont pas de parcelles propres sur ce type de terres mais peuvent utiliser une portion des terres de leur mari pour y cultiver des légumes.

Le potentiel rizicole en termes de surfaces aménagées reste sous-exploité au niveau de la Délégation de Bakel (SAED). En effet, sur les 75 000 ha annuellement mis en valeur, la délégation n'exploite que 3%. Les statistiques régionales sur la culture de cette spéculations estiment à seulement 2 472T la production en riz du département de Bakel pour la campagne 2014-2015. La politique actuelle de l'Etat du Sénégal qui vise l'atteinte de l'autosuffisance en riz dans une brève échéance devrait pouvoir entraîner l'augmentation des superficies exploitées.

Dans la partie malienne du sous-bassin, l'intervention actuelle de l'ADRS qui couvre certains sous-bassins dans les cercles de Bafoulabé, Kayes, Kéniéba, Kita et Yélimané, conjugué aux efforts des divers projets déjà mis en œuvre ou en cours d'exécution dans la zone, devrait permettre de relever le niveau des aménagements hydro-agricoles. Il s'agit des projets suivants :

- Le Projet de Développement rural intégré en aval du barrage de Manantali (PDIAM) : aménagement de 880 ha sur les périmètres B et G/H dont 172 ha rizicultivables et 708 ha de polyculture, aménagement de petits périmètres Maraîchers (PPM) dans une dizaine de villages au profit des femmes ;
- Le projet d'appui au développement durable du cercle de Yélimané (PADDY) qui envisage l'aménagement de la plaine de Gololokou pour une superficie de 200 ha, la réalisation de 10 périmètres maraichers pour une superficie totale de 20,3 ha et la réalisation de 33 puits à grand diamètre ;
- Le Projet de développement rural intégré du cercle de Kita et de ses environs (phase 2) prévoyait la réalisation de 1 100 ha de bas-fonds aménagés dans le cercle de Kita, 680 ha de périmètres en maîtrise totale aménagés à Manantali (cercle de Bafoulabé) et 30 forages dont 10 équipés de pompes solaires et 20 manuelles.

B. Elevage

C'est une activité qui vient au second rang après l'agriculture. Dans la partie malienne du sous-bassin, d'octobre à janvier, les éleveurs séjournent en transhumance: Tinkoma, Bambéra, Moussoumé, Sankoulou, Trandékotodji, Kouroto, Tominikoro (par les éleveurs de la commune de Bafoulabé), Goungou, Bonkati, Rominé, Galoukone (par les éleveurs locaux et ceux en

provenance des communes de Diamou, Sidibéla et Tomora). Cette transhumance concerne essentiellement les bovins.

Selon les membres du Comité de surveillance de Gandé (CLC de Bakel), la zone accueille chaque année, pendant au moins 1 mois, les éleveurs de Matam et de la Mauritanie. D'où une pression supplémentaire sur les ressources.

Les pâturages ont quasi-disparu alors que la zone continue d'être envahie par les transhumants en provenance de la Mauritanie et du Nord de la région de Kayes. Cette concentration favorise la multiplication des épidémies.

A cela s'ajoute le vol du bétail, phénomène qui a obligé certains propriétaires à vendre leurs bœufs de labour et à les remplacer par des ânes dans la culture attelée. Ce qui est de nature à générer des rendements moins importants.

C. Exploitation forestière

Elle est en pleine expansion dans certaines parties du sous-bassin. Au Mali, le bitumage de la RN 22 a favorisé l'exploitation forestière en rendant l'écoulement et le transport des produits plus faciles.

La fermeture de l'usine de ciment de Tematessou a mis au chômage bon nombre de jeunes qui, faute de mieux, se sont reconvertis dans l'exploitation du bois.

Plusieurs villages sont concernés par le phénomène : Diamou, Tematessou, Makagnia, Bouroukoun, Babouko, Lougouba, Tinkin, Mansona, Balandougou, Makadindé.

Il est noté des difficultés de recherche de bois mort dans le village de Tematessou puisqu'il faut parcourir au moins 6 km pour y accéder, alors qu'auparavant, on pouvait en trouver juste aux alentours des cases. Le chargement de bois est vendu à 1500 FCFA.

D. Cueillette

Les principaux produits de cueillette sont: le pain de singe, le jujube, le karité, destinés à la vente et à la consommation. Dans l'ensemble du sous-bassin, leur disponibilité est de plus en plus limitée.

Ainsi, des espèces comme le karité et le néré n'existent pas ou plus dans le terroir de Tematessou. On ne trouve plus que le jujubier.

E. Pêche

Peu développée et artisanale, elle est pratiquée le long du fleuve Sénégal et de ses affluents le Bakoye et le Bafing en toute saison.

L'activité est pratiquée par des autochtones et par des étrangers parmi lesquels les Bozos et les Thiouballos qui sont des pêcheurs professionnels et les Somonos (pêcheurs ordinaires).

Dans le cercle de Kayes, la majorité des pêcheurs exerce en permanence l'activité de pêche (74,6 %). Un peu plus du quart des pêcheurs du cercle pratique la pêche de manière saisonnière

La production moyenne annuelle par pêcheur est estimée à 1,7 tonne dans le cercle de Kayes et 6,05 tonnes dans le cercle de Bafoulabé.

Dans le cercle de Bafoulabé, une unité de pêche embarque en moyenne entre 2,3 et 2,6 pêcheurs lors d'une sortie de pêche. Le nombre moyen de jours de pêche par pêcheur dans le mois est de 28 pour une capture moyenne journalière de 21 kg. Les pêcheurs permanents ont une production annuelle de 6 à 7 tonnes. Les saisonniers qui pêchent durant 9 mois débarquent annuellement 4 et 5 tonnes, contre 2,2 à 2,9 tonnes pour 4 à 5 mois d'exercice de la pêche.

Afin de développer cette activité qui est soumise à des contraintes dues aux CC, certains projets mis en œuvre dans la zone prévoient la réalisation de mares piscicoles comme c'est le cas du PADDY avec les mares piscicoles de Kémala et Bougoudéré.

5.1.2.7.6. Le Sénégal moyen de Bakel à Podor

A. Agriculture

L'agriculture constitue la principale activité économique, suivie de l'élevage et de la pêche.

Elle est dominée par les cultures irriguées (riz essentiellement). L'agriculture de décrue et celle sous pluies sont en régression du point de vue des superficies et des productions.

Les activités de productions maraîchères déroulées par les femmes sont exercées aux abords des cours d'eau et constitue leur activité principale en saison sèche. L'utilisation des motopompes n'est pas systématisée et, quand c'est le cas, les pannes fréquentes relevées gênent le déroulement normal des campagnes. A cela s'ajoutent les dégâts que peuvent causer les animaux en divagation à cause de l'absence de clôture adéquate.

Le manque de pluies constaté et les phénomènes décrits tels que l'augmentation de la température et des vents entraînent souvent des semis tardifs des cultures maraîchères et de celle du riz qui peuvent en plus subir les conséquences du non accès au tracteur à temps pour le labour. Viennent s'y ajouter les conséquences des mauvais aménagements (mauvais planage des parcelles) dans le cadre du Programme Intégré de Développement Agricole de Matam (PIDAM), selon les populations rencontrées.

B. Elevage

Le sous-bassin regroupe un cheptel important du point de vue des effectifs. Le secteur de l'élevage représente la 2^{ème} source de revenus après l'agriculture en rive gauche alors qu'en rive droite, selon les sous-zones, c'est l'élevage qui arrive en tête.

De manière globale, l'activité fait face au manque de pâturages en raison de la sécheresse consécutive à la baisse des pluies puis de la présence des périmètres rizicoles.

Le phénomène de transhumance est développé comme partout ailleurs dans le BFS.

C. Exploitation des ressources forestières

A cause de la dégradation du couvert végétal qu'expliquent en partie les actions anthropiques dont le déboisement dû aux aménagements, cette activité n'occupe plus une place importante dans les revenus des ménages de plusieurs terroirs du sous-bassin. Des produits forestiers non ligneux deviennent rares. Il est constaté par ailleurs que la corvée de recherche de bois de chauffe est de plus en plus dure.

D. Pêche

L'activité est pratiquée au niveau du fleuve Sénégal, de ses nombreux affluents (Dioulol, Diamel, Pattowel, Gatawel, etc.) et des nombreuses mares tant en rive droite qu'en rive gauche. Il est noté moins de poissons qu'avant (en termes de captures) et cela depuis 1973.

En 2014, la région de Matam comptait 2 709 pêcheurs répartis entre les 99 sites d'habitation de pêcheurs. Le volume des captures accuse une baisse de 8,15% entre 2013 et 2014, s'expliquant par le déficit pluviométrique de 2013 qui a fortement impacté sur la productivité des points d'eau.

« Présentement, il n'y a pas de poissons dans le fleuve, ce qui n'était pas le cas avant. A cette époque, les excédents étaient transformés et consommés », soutiennent les habitants de Thially Maka.

E. Autres activités

Sur le plan des industries, outre les petites unités de collecte de lait destiné à la transformation, on observe la présence d'industries extractives telles que la SERPM (Société d'Etude et de Recherche des Phosphates de Matam), la SOMIVA (Société Minière de la Vallée de Matam), et d'une unité de fabrique d'aliments de bétail (Medy Industrie Moderne) basée à Danthialy.

Elles jouent un rôle important par le nombre d'emplois offerts et par les investissements de compensation imposés par les PGES dans le cadre des Responsabilités Sociétales de l'Entreprise (RSE).

5.1.2.7.7. Le Sénégal aval de Podor à l'océan**A. Agriculture**

L'agriculture est la principale source de revenus des ménages de ce sous-bassin. Les spéculations concernées par l'agriculture sous pluies sont le mil, le niébé, le beref et un peu de sorgho, cultivés essentiellement maintenant dans le haut Diéri en raison de la faible pluviométrie. Ce sont des espèces à cycle court qui sont utilisées.

L'agriculture irriguée occupe maintenant la première place dans le classement en termes de superficies cultivées. Les principales spéculations concernées sont le riz, les oignons et la tomate.

La culture du riz se pratique en saison normale (août à novembre) et en contre-saison chaude (entre février-mars et juillet où s'effectue la récolte).

Depuis les travaux de la SAED et du MCA sur le canal en 2013, la double culture se pratique. Auparavant, c'est le maraîchage qui se pratiquait en saison sèche sur les parcelles rizicoles.

Les rendements et les productions sont plus importants si les engrais sont disponibles. A peul Dioss, hommes et femmes pratiquent la riziculture.

L'agriculture de décrue (le sorgho, le mil, le niébé, le maïs), jadis prépondérante, tend à être abandonnée au profit des cultures irriguées.

De nombreuses contraintes entravant l'activité ont été relevées dont principalement pour l'agriculture irriguée:

- Les difficultés d'exhaure consécutives à la rareté des stations de pompage qui ne sont qu'au nombre de 5 dans le département de Podor: Fanaye, MCA (Ngallenka), Diawar, Ndioum et Aéré-Lao. Tout le reste des périmètres en est dépourvu ;
- La fragilité des aménagements sommaires des périmètres.
Sont dans ce cas, les PIV (Périmètre irrigué villageois) ou PIP (Périmètre irrigué privé) de l'Ile à Morphil où sont installés des motopompes permettant l'irrigation dans des conditions pas toujours efficaces,
En effet, le risque est élevé que les parcelles de cultures soient détruites avec la crue ;
- L'accès au crédit de campagne du fait de l'importance des impayés ;
- Les inondations.

Les cultures maraîchères composées essentiellement d'oignons, de gombos, de maïs irrigué, de tomates et d'aubergine sont handicapées par les difficultés d'exhaure, la divagation des animaux et parfois de commercialisation.

B. Elevage

L'élevage rencontre des difficultés d'abreuvement, particulièrement le présent hivernage 2017 où il manque des mares. Cette situation oblige à faire fonctionner les forages en hivernage, cas non prévu.

Cette année (2017), Il n’y a pas d’herbes à appéter car, à cause de la pause pluviométrique longue, les jeunes pousses se sont asséchées.

C. Pêche

Au Sénégal, la pêche continentale se pratique essentiellement au niveau du fleuve Sénégal, dans le lac de Guiers, la Taouey, et dans les canaux d’irrigation de la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS). En Mauritanie, outre dans le fleuve Sénégal, cette activité se déroule dans les chenaux d’irrigation, les bras de fleuve, le marigot Guedeya, le lac R’Kiz, les rivières (Ndiawane, Koundy).

L’activité de pêche est pratiquée par des autochtones et par des étrangers (maliens). La communauté de pêcheurs était estimée à 7 500 acteurs dans la région de Saint-Louis en 2014.

L’activité qui procurait de substantiels revenus aux acteurs connaît des difficultés liées à la baisse des captures, imputables aux changements climatiques.

Dans la région de Saint-Louis, les statistiques indiquent une baisse de 25% des captures en 2014 par rapport à 2013. Cette baisse serait consécutive à la mauvaise pluviométrie enregistrée.

En rive droite, du côté de la Mauritanie, avant les années de sécheresse (1970), la production représentait 30% des 30 000 T débarquées annuellement dans la VFS (Lazard, 1984) avec cependant de fortes variations d’année en année, en fonction des surfaces inondées. Ces productions oscillaient entre 38 000 T (année humide) et 22 000 T (année sèche). Ces niveaux auraient baissé jusqu’à moins de 10 000T depuis lors (Lazard, 1984) et ont été encore affectés par les aménagements du fleuve qui ont réduit davantage les surfaces inondées et ont bloqué la remontée des poissons estuariens. Les travaux de Reizer (1984) ont montré que chaque hectare inondable soustrait à l’inondation entraîne une perte de 60 kg de production.

D. Exploitation de produits forestiers

En dégradation constante, cette année (2017) il n’y a pas encore eu de reboisement dans la zone, faute de pluies. La situation est plus critique dans le Diéri soumis à une forte déforestation de telle sorte qu’il n’y a plus d’arbres, ni d’herbes.

Aussi, les PFNL exploités jadis par les populations ont cédé la place à des sols dénudés.

5.1.3. Le secteur environnemental

Pour les aspects environnementaux le bassin du fleuve Sénégal est généralement découpé en 3 parties distinctes :

- Le haut bassin : partant des sources du fleuve (Djalou, Bafing...) à la confluence entre le fleuve Sénégal et la Falémé.
- La vallée : partant de la confluence Sénégal-Falémé jusqu’à la remontée de la langue salée (au niveau de Rosso en Mauritanie). La vallée peut se diviser en trois parties également : la haute vallée jusqu’à Maghama (confluence Sénégal- Oued), la moyenne vallée jusqu’à Podor et la basse vallée (de Podor à Rosso).
- Le delta : de Rosso à l’embouchure du fleuve.

A. Problèmes spécifiques du delta

Le delta rencontre beaucoup de problèmes spécifiques que sont :

- Problématique du typha dans le delta du Sénégal

Le développement de la végétation aquatique dans le Delta du Sénégal est particulièrement spectaculaire après la mise en service des grands barrages du fleuve Sénégal. Elle serait ainsi passée de 12 000 hectares en octobre 1984 à près de 120 000 hectares en 2010. Il est cependant à préciser que ces superficies concernent l’ensemble des végétaux aquatiques envahissants et non pas seulement le Typha. Les espèces concernées sont principalement

la fougère d’eau (*Salvinia molesta*), la salade d’eau douce (*Pistia stratiotes*) et les roseaux que sont *Typha domingensis* et *Phragmites australis*. Avec le développement des aménagements hydro-agricoles, le *Typha* surtout trouve ses conditions optimales de prolifération liées à l’adoucissement des eaux et à la disponibilité en quantité suffisante de nutriments (azote et phosphore) provenant des rejets d’eaux de drainage dans les axes hydrauliques.

Aujourd’hui, les principaux plans d’eau du Delta, la retenue de Diama ainsi que les grandes dépressions peu profondes de même que les parcs et réserves naturelles, sont totalement envahies par la végétation aquatique, principalement le *Typha*, entraînant du même coup des modifications profondes des hydro-systèmes. Ces végétaux aquatiques perturbent le fonctionnement des écosystèmes et gênent le développement de certaines activités socio-économiques telles que l’agriculture irriguée, la pêche et l’élevage.

- Impacts et effets négatifs du *Typha* dans le Delta :
 - Les activités de la pêche sont entravées à cause d’une part de l’accès difficile des pirogues au fleuve parce que les rives sont infestées et, d’autre part, il y a la rareté du poisson qui est une conséquence de la pollution des eaux suite à l’envahissement par le *Typha*;
 - Il en est de même pour l’abreuvement du bétail ;
 - Le *Typha* a envahi les parcelles cultivées causant des baisses drastiques de rendement ;
 - Ces rendements diminuent à cause aussi des maladies pour lesquelles le *Typha* est vecteur, et des oiseaux granivores et autres déprédateurs qui trouvent refuge au milieu de ces plantes ;
 - Même les coûts d’irrigation ont augmenté suite à la diminution de l’hydraulicité freinée par les plantes de *Typha* ;
 - Certaines populations, bien qu’entourées d’eau, n’ont pas accès à l’eau potable à cause de la pollution des plans d’eau ;
 - L’infestation par le *Typha* cause des maladies (paludisme, bilharzioses, dysenteries, maladies dermatiques, etc.) diminuant ainsi la productivité des populations ;
 - Les villages situés en amont sont souvent inondés suite aux stagnations d’eau causées par le *Typha* qui diminue l’hydraulicité en aval;
 - La productivité socio-économique globale de toute la vallée est diminuée.

B. Qualité des ressources en eau de surface

Le Plan d’Action Stratégique (PAS) du BFS distingue cinq problématiques environnementales majeures, dont 3 directement impactées par les débits d’étéage du fleuve.

- La dégradation des terres et la désertification ;
- Prévalence de maladies liées à l’eau ;
- Prolifération des espèces envahissantes ;
- La menace sur la biodiversité ;
- La baisse de la disponibilité et de la qualité des eaux. Cette dernière problématique peut être analysée en termes de : modification et dégradation de la qualité des eaux de surface.

La dégradation de la qualité des ressources en eau de surface et des axes hydraulique est due principalement à :

- une modification de la salinité du fleuve ;
- une contamination chimique et biologique liée aux rejets d’eaux usées et de pesticides ;
- l’eutrophisation provenant d’une réduction de la vitesse d’écoulement et de l’oxygénation de l’eau du fait des aménagements (barrages et digues) ;

- la prolifération de végétaux aquatiques envahissants.

La première modification notable de la qualité de l'eau dans le Delta date de la mise en service du barrage de Diama en 1986 et dont l'effet immédiat a été la disparition de la langue salée et l'adoucissement des eaux (GAC et al, 1995). Les conditions d'une mise en valeur agricole sont ainsi mises en place, renforçant la politique de développement intégré du bassin instaurée par l'OMVS. Beaucoup d'effets potentiellement néfastes de cette politique de mise en valeur agricole ont été observés, liée par exemple à l'usage massif et incontrôlé de pesticides et d'intrants agricoles. Peu de mesures de cette pollution ont été réalisées.

Les aménagements hydro agricoles avec les systèmes d'irrigation adoptés perturbent sérieusement certains équilibres socio-écologiques. Parmi les impacts négatifs enregistrés, on peut citer :

- Les eaux de drainage chargées de produits chimiques (engrais, pesticides) polluent la nappe souterraine et les eaux de surface (Lac de Guiers) ;
- L'absence d'un réseau de drainage adéquat, surtout chez les petits exploitants privés du Delta, a fortement augmenté la salinisation de milliers d'hectares de terres (par remontée capillaire) dont la mise en valeur nécessite l'utilisation de gros moyens pour la correction de leur structure ;
- L'acidification des sols par l'utilisation non maîtrisée des engrais chimiques ;
- L'alcalinisation des sols induite par le carbonate de calcium contenu dans l'eau d'irrigation et qui détruit la structure du sol. Si la tendance n'est pas inversée, ce phénomène peut rendre ces sols dégradés et difficilement récupérables ;
- La réduction des aires de circulation de la faune aquatique avec les travaux d'endiguement ;
- Des points d'accès à l'eau du cheptel et de la faune sauvage ;
- La concentration des populations autour des zones aménagées ;
- La prolifération de maladies hydriques.

Il faut noter cependant autour des aménagements hydro agricoles une forte activité de reboisement pour constituer des brise-vents.

L'ouverture de la brèche dans l'estuaire en 2003 représente également un évènement majeur qui a contribué à l'aggravation des bouleversements que connaissait déjà le Delta du Sénégal. Aujourd'hui, l'ouverture quasi permanente des vannes du barrage de Diama est source de perturbations, en particulier en période de basses eaux du fleuve Sénégal. Les effets de ce mode de gestion du barrage sur la qualité de l'eau devront clairement être établis.

C. La gestion du cadre de vie

a) Les déchets solides

L'insalubrité constitue le décor commun de toutes les localités le long de la vallée du fleuve Sénégal. En milieu urbain, la pression démographique, combinée à une situation économique difficile, a engendré une dégradation de l'environnement dont la manifestation la plus visible est l'insalubrité du cadre de vie. Cette situation, préjudiciable à la santé de la population, s'explique par le fait que le dépôt sauvage est le principal mode d'évacuation des ordures ménagères. Le plus souvent, le fleuve et les berges sont utilisés comme des dépôts sauvages. Ces dépôts engendrent pour les populations toutes sortes de nuisances dont les plus graves concernent la dégradation du cadre de vie des habitants, le développement de germes favorisant la prolifération des maladies diarrhéiques, du paludisme et de la gale, la pollution du fleuve et de l'atmosphère par les incinérations.

Les systèmes de gestion mis en place dans la plupart des communes ont montré leur inefficacité.

Dans la plupart des communes, on note l'existence des projets de gestion des ordures ménagères axés sur des dispositifs de collecte allant des GIE CETOM (Groupements d'intérêt économique

pour la collecte, l'évacuation et le traitement des ordures ménagères) aux services de nettoyage public ou privé. Ces dispositifs sont dans l'ensemble peu performants dans la collecte et inopérants dans le traitement des ordures. Quelques villages ont bénéficié aussi de projets de collecte et de dépôt des ordures ménagères.

Le traitement et la valorisation des ordures ménagères sont peu maîtrisés dans la zone. L'expérience de la commune de Guédé dans le tri des ordures et la valorisation des sachets plastiques à Bobo-Dioulasso au Burkina méritent d'être vulgarisée.

Les collectivités locales de la région s'orientent de plus en plus vers une organisation départementale pour la collecte et la valorisation des ordures ménagères. Cette stratégie est en bonne voie dans les départements de Podor avec l'appui du Conseil Général des Yvelines (France), et de Saint-Louis où il est envisagé la requalification du centre d'enfouissement technique Gandon qui a de sérieux problèmes de mise en œuvre.

b) Les eaux pluviales

Beaucoup de localités se trouvent dans des cuvettes avec des sols de nature argileuse, ce qui rend difficile la gestion des eaux pluviales. On note l'existence de zones inondables et il n'existe aucun système d'évacuation des eaux pluviales. Ce qui fait que certaines zones deviennent inaccessibles pendant l'hivernage et la stagnation des eaux favorise la prolifération des moustiques et par conséquent le développement de certaines maladies comme le paludisme.

Cependant, les communes avec l'appui des sapeurs-pompiers, interviennent pour l'évacuation des eaux de pluie.

En effet, pour lutter contre les inondations, des digues de protection ont été construites et elles ceinturent la ville (Rosso Sénégal).

c) Les eaux usées

La plupart des habitations de la vallée du fleuve Sénégal disposent de latrines modernes. Par conséquent, l'affleurement de la nappe constitue un problème pour la construction des fosses septiques qui se remplissent très vite.

Généralement, les latrines ont un impact négatif sur l'environnement d'autant plus que les fosses, pour la plupart, n'ont pas de dalle et se trouvent dans les rues ; ce qui pose un problème de cadre de vie.

A défaut d'un système d'évacuation des eaux usées, les populations déversent dans le fleuve et même dans les rues.

d) Problématique de l'émissaire du delta du fleuve Sénégal

Les rejets via l'émissaire de drainage de résidus d'intrants, de pesticides, dans le fleuve Sénégal juste en amont de Dakar-Bango risquent d'affecter la qualité des eaux du fleuve Sénégal au droit de Saint Louis. Des analyses de pesticides réalisés par Cissé en 2008, révèlent la présence de produits organochlorés dans les eaux de drainage de l'émissaire du delta (endosulfan 1,349 µg, lindane 0,747 µg) et de faibles teneurs en métaux lourds. Même si les teneurs sont jugées relativement faibles pour des eaux de drainage, ces concentrations peuvent demeurer longtemps dans l'environnement et, par effet de bioamplification à travers la chaîne alimentaire, devenir très nocives pour les écosystèmes, la santé humaine et animale.

Cependant, même en petites quantités résiduelles, les pesticides organochlorés sont redoutés. La plupart des composés organochlorés sont des polluants organiques persistants (POP). Les POP présentent une persistance élevée et peuvent s'accumuler très longtemps dans les sols, les tissus végétaux et dans les graisses des micro-organismes aquatiques.

Les résidus d'engrais chimiques, de pesticides et d'herbicides contenus dans les eaux de drainage peuvent se retrouver dans la chaîne trophique et occasionner des problèmes de santé graves qui ne se manifestent généralement qu'à moyen et long terme chez l'homme.

Une étude faite en 1989 par une équipe hollandaise et citée par Cissé (2008) dans la zone, a révélé la présence de dieldrine dans le foie d'oiseaux piscivores (1,7 mg) et dans la chair de poisson (0,12 mg/kg de poids sec de Tilapia). Cet insecticide détecté dans la chair alimentaire, peut persister entre 10 et 15 ans dans les sols et est d'autant plus dangereux qu'il peut alors contaminer la nappe phréatique et se retrouver dans l'eau destinée à l'alimentation des populations.

Même si certains experts pensent que les pollutions seront plus diluées par les mouvements de la marée, il n'en demeure pas moins que depuis l'ouverture de la brèche en 2003, le marnage est nettement marqué à Saint-Louis, entraînant parfois le retrait partiel des eaux du fleuve à hauteur de la ville.

Ceci nous amène à penser aux différents risques qui peuvent survenir au niveau de l'estuaire du fait du rejet de ces eaux :

- Risques de contamination de l'écosystème aquatique de l'estuaire du Sénégal et surtout de l'Aire Marine Protégée de Saint-Louis ;
- Risques d'intrusion d'eau polluée dans la réserve de Bango par percolation ;
- Menaces sur la réserve de Guembeul qui est alimentée en période de crue à partir du fleuve Sénégal ;
- Menace sur les activités de production de sels dans les marais salants du Gandiolais.

5.1.3.2. Présentation des écosystèmes sur le bassin

Les paysages du bassin du fleuve Sénégal sont très contrastés, ce qui est le reflet des contrastes climatiques du bassin. C'est ainsi qu'il existe des différences importantes dans l'état de la faune et de la flore entre les hautes terres en amont de Bakel et la vallée du fleuve en aval.

En ce qui concerne la flore, des différences notables sont constatées entre le haut bassin supérieur et le bassin inférieur. Au niveau du bassin supérieur, qui correspond aux hautes terres du Fouta-Djalon, le type de végétation qui y est rencontré est fonction du type d'écosystème en place, soit :

- Les écosystèmes de forêts sèches, marqués par des espèces caduques et persistantes (*Mitragina stipulosa*, *Alcornea cordifolia*...). Aujourd'hui, le manteau forestier du massif du Fouta Djalon couvre 13% de la région, soit 800 000 ha de forêt dense sèche et 50 000 ha de lambeaux de forêts, reliques de l'ancienne forêt dense d'altitude.
- Les écosystèmes de savanes soudano-guinéennes avec la présence d'espèces de la savane herbeuse (*Andropogon ascinodis*...), de la savane arbustive (*Hymenocardia acida*...) et de la savane arborée (*Parinari excelsa*, *Erythrophleum guineensis* ...).
- Les écosystèmes de montagne, spécifiques aux zones d'altitude, se rencontrent dans le plateau central du Fouta Djalon. Ils abritent de nombreuses têtes de source.
- Les écosystèmes d'eau douce, comprenant les écosystèmes lenticules et les écosystèmes lotiques, renferment aussi une intéressante diversité floristique avec des plantes inférieures (bactéries, champignons, algues et lichens) et des cormophytes (Bryophytes, Ptéridophytes, Angiospermes et Gymnospermes).

Ce potentiel floristique est en nette régression suite à l'augmentation de la population et du cheptel, qui entraîne la surexploitation et le recours à des pratiques pastorales et cynégétiques inappropriées, près de 140 000 ha de forêts sont détruites annuellement à des fins agricoles. Sur les 88 espèces végétales considérées comme endémiques, 36 sont considérées comme menacées de disparition (FAO, 2004).

En aval de Bakel, on entre dans le bassin inférieur. Le couvert végétal y est fonction du type de sol, de l'eau disponible et du relief. Les formations rencontrées sont :

- Les formations sahélo-soudaniennes caractérisées par les espèces tels *Sterculia setigera*, *Combretum glutinosum* ... ;

- Les formations sahéliennes, qui sont en général un paysage ouvert où l’on retrouve *Acacia senegal* et d’autres espèces ; les herbacées représentées par des espèces tels que *Cenchrus biflorus*, et *Indigofera* ... ;
- Les formations alluviales localisées sur les berges du fleuve et sur les plaines alluviales d’inondation comprennent des forêts inondables de Gonakiers (*Acacia nilotica*) ;
- Les sols salés du Delta et de la Basse vallée sont le domaine de prédilection de *Tamarix senegalensis*. Mais des formations de mangroves y représentent quelques hectares de peuplements de palétuviers au niveau du Delta.

La savane arbustive et les steppes arbustives sont devenues plus clairsemées sur toute la partie inférieure du bassin notamment à cause de l’expansion urbaine et agricole.

En ce qui concerne la faune, le même contraste entre haut bassin et bassin inférieur reste valable. Dans le bassin supérieur, des mammifères comme les grands ongulés, les rongeurs et, les primates sont rencontrés dans les écosystèmes de savanes de même que les petites antilopes.

Cependant, cette riche diversité faunique et floristique subit des menaces diverses dont :

- L’expansion des sites de peuplement humain, des terres cultivées, et des exploitations minières réduit les habitats de la faune et de la flore ;
- Les feux de brousse et le braconnage décimant les espèces sauvages.

La faune et la flore du bassin du fleuve Sénégal ont fortement régressé. Dans le haut bassin, la faune bien qu’encore riche et diversifiée est en nette régression. De par sa richesse de sa faune aviaire, le delta du fleuve Sénégal reste l’une des plus importantes zones humides en bordure immédiate du désert du Sahara. La faune ichthyologique est très affectée par les modifications du régime par les barrages et par le développement des activités humaines.

5.1.3.3. Situation par sous bassin versant

5.1.3.3.1. SB1 - Le Bafing amont jusqu’au barrage de Manantali

Le Bafing amont est une partie intégrante du massif du Fouta Djallon, il est constitué d’un ensemble de hauts plateaux situés à une altitude comprise entre 500 et 1500 m. Il couvre la partie Nord-Ouest de la République de Guinée et se prolonge au Mali.

Sur le plan agro-écologique, le Massif du Fouta Djallon est subdivisé en 4 grands écosystèmes :

- une savane soudano-guinéenne au Nord-Est ;
- une zone de forêt sèche au Nord-Ouest ;
- une zone de hauts plateaux au Centre ; et
- une zone de plaines humides au Sud.

Cette diversité écologique se double d’une importante biodiversité ; la région abrite de nombreuses espèces végétales et animales, dont certaines sont considérées comme endémiques et devant faire l’objet d’une protection particulière.

Le Massif est caractérisé par son immense réseau hydrographique. On estime qu’il existe environ 8000 sources d’eau dans le Massif du Fouta Djallon considéré comme le Château d’eau de l’Afrique de l’Ouest. Les principaux fleuves et rivières de l’Afrique de l’Ouest prennent naissance dans le Massif et se jettent dans l’Océan Atlantique, depuis Saint Louis au Sénégal jusqu’à Port Harcourt au Nigeria.

Les principaux fleuves issus du Massif du Fouta Djallon sont : Niger (4.183 Km) Sénégal (1.609 Km), Gambie (1.126 Km), Koliba/Corubal et le Konkouré

En raison des caractéristiques morphologiques du Massif, son réseau hydrologique offre de grandes possibilités d'aménagement hydrauliques de toutes tailles à buts simples ou multiples pouvant couvrir les besoins locaux, nationaux et sous-régionaux, dans les domaines :

- de l'approvisionnement en eau potable et industrielle des établissements humains et celui du bétail ;
- de la production d'énergie hydro-électrique;
- de l'irrigation des terres pour une agriculture fixe intensive, préservatrice de l'environnement ;
- de la régularisation de cours d'eau pour tous les usages d'eau dans les pays situés à l'aval.

Outre ces ressources humaines, animales et en eau, ce sous bassin recèle d'importantes ressources minières dont la mise en valeur peut profiter à l'ensemble de la Sous-région.

Cependant, l'équilibre écologique est fortement bouleversé par les actions combinées des populations et du bétail, tous en croissance rapide.

La problématique environnementale est dominée par la dégradation accélérée des ressources naturelles suites aux situations suivantes :

- les pratiques traditionnelles d'une agriculture itinérante sur brûlis avec des temps de jachère de plus en plus courts et qui n'épargnent pas les versants à pente abrupte ;
- les coupes abusives de forêts pour satisfaire les besoins sans cesse croissants en bois de chauffe et en bois de service ;
- les feux de brousse incontrôlés ; et
- les surpâturages qui réduisent fortement le couvert végétal exposant les sols à l'assèchement.

5.1.3.3.2. SB2 - Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé

Le relief est très accidenté, composé de plaines, de vallées, de plateaux, de collines rocheuses et de glacis.

Le climat est de type soudanien, avec une pluviométrie variant entre 1000 à 1200 mm par an ; on y distingue trois saisons : une saison sèche, une saison pluvieuse et une saison froide.

L'hydrographie : le sous-bassin est arrosé par des cours d'eau saisonniers, dont les plus importants sont le Tinko, le Satandala, et des mares.

La végétation est constituée de formations forestières très variées allant de la savane arbustive, la savane arborée, la savane boisée à la forêt claire. Les principales espèces et/ou essences que l'on rencontre sont *Khaya senegalensis*, *Pterocarpus erinaceus*, *Parkia biglobosa*, *Adansonia digitata*, *Vetellaria paradoxa*, *Ceiba pentadra*, *Daniella oliverii*, *Bombax costatum*, *Azelia africana*, *Borassus aethiopicum*, *Cordyia pinnata*, *Combretum sp*, *Terminalia sp*, *Detarium microcarpum* et les différentes espèces de Bambou, etc. Ces différentes essences sont utilisées à des fins multiples : bois d'énergie, bois d'œuvre, bois de service, alimentation, pharmacopée, etc. Parmi les espèces herbacées on peut citer : *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon gayanus*, *Cymbopogon giganteus*, *Andropogon pseudapricus*, *Loudebia togoensis*, *Diheteropogon hagerupii*, etc.

La faune: les espèces les plus fréquentes sont : les biches, les phacochères, les singes, les cynocéphales, etc. parmi les oiseaux, on note les perdrix, les pintades, les tourterelles, ...

Les sols sont assez variés et propices à l'agriculture : gravillonnaires, limoneux, sablonneux, limono-sablonneux et argileux.

Les problématiques environnementales rencontrées dans ce sous-bassin sont entre autres :

- Dégradation et déforestation constatées partout mais plus dans la partie sud du cercle de Bafoulabé. Les principaux responsables étant les exploitants forestiers, les nomades et les pratiques agricoles néfastes (cultures itinérantes).
- Appauvrissement des sols ;
- Divagation des animaux ;
- Les aménagements d'espaces agricoles.

5.1.3.3.3. SB3 - Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé

Le relief est constitué d'un immense plateau gréseux d'une altitude moyenne de 200 m situé au Nord de Bamako à la jonction des zones soudanienne et sahélienne 14° de latitude Nord. Il est peu accidenté mais avec de larges plaines ou dépressions entourées de collines dont l'altitude maximale est comprise entre 300-500mm. Cet aspect apparemment accidenté est plus net dans la partie Nord-Est du cercle.

Les sols sont tropicaux, ferrugineux lessivés. Ce sont des sols d'érosion sur cuirasse et des sols hydromorphes riches dans les dépressions.

Tous ces éléments caractéristiques du milieu pédologique du sous bassin connaissent actuellement une dégradation inquiétante, due à l'effet conjugué des phénomènes de l'érosion, et de la surexploitation des terres dans un contexte de péjoration climatique.

Du point de vue hydrographique, le sous-bassin est arrosé par le Bakoye et ses affluents notamment le Baoulé et les cours d'eau temporaires comme les mares, les barrages, les marigots, rivières et les eaux de ruissellement.

Concernant les ressources floristiques et fauniques, depuis des décennies, les conditions climatiques particulièrement hostiles se sont conjuguées à l'action anthropique, pour fragiliser voire anéantir l'écosystème et réduire la diversité biologique du sous bassin.

La végétation est composée de savanes arborées et arbustives avec des hautes herbes. On y rencontre des essences dites de valeur clairsemées comme le *Vitellaria paradoxa* (Karité), *Parkia biglobosa* (nééré), *Tamarindus indica* (tamarinier), *Adansonia digitata* (baobab) et *Khaya senegalensis* (caïllécdrat) auxquelles s'ajoutent les *Ficus* sp, *Lanea* sp au sud, les Combretacés, *Bombax costatum* et *Sterculia setigera*.

Les espèces ligneuses qui semblent avoir disparu sont l'*Oxytherantera abyssinica* (Bô) et l'*Entada africana* (samanère). Les espèces ligneuses en voie de disparition sont : *Cordyla pinnata* (Dougoura), *Pterocarpus erinaceus* (Guenou) et *Parkia biglobosa* (Nèrè).

Encore présente dans le sous bassin au niveau des parcs et des réserves, la faune tend à disparaître dans le reste du cercle, conséquence de l'intense braconnage, des années de sécheresse prolongée et de l'action néfaste des feux de brousse. Les observations de faune portent essentiellement sur les petits mammifères : les singes, les lièvres, les ourebis, les céphalophes degrim, les porcs épics et les écureuils, mais aussi les varans, les pintades et perdrix. Des grands mammifères aquatiques et reptiles comme l'hippopotame et le crocodile existeraient çà et là dans le fleuve.

Les principales contraintes environnementales de ce sous-bassin sont :

- Erosion hydrique ;
- Surexploitation des terres ;
- Coupe abusive de bois ;
- Feux de brousse ;
- Dégradation de ses berges du fleuve et des cours d'eau ;

- Dégradation du couvert végétal avec l’exploitation anarchique du bois, la coupe et la carbonisation ;
- Intense braconnage qui tend à faire disparaître la faune.

5.1.3.3.4. SB4 - La Falémé jusqu’à la confluence avec le Sénégal

La Falémé est constituée, notamment sa partie guinéenne (préfecture de Mali), par deux grandes unités géomorphologiques: la zone du plateau, accidenté avec présence de «bowé» et la zone des montagnes avec des altitudes supérieures à 1 000 m. Elle est une suite de chaînes de montagnes et de vallées ayant un écosystème particulier dont l’existence est en relation avec le climat.

Dans les zones à haute altitude de Mali, il existe des forêts secondaires de montagne qui sont formées de gros arbres sans strate herbacée. Les espèces d’arbres rencontrées dans cette zone sont le Téli (*Erytrepleum guineensis*), le Koura (*Parinari excelsa*), le Lingué (*Azeliaafricana*), le bani (*Pterocarpus ericinaeus*), etc. Ces zones constituent le lieu de refuge des grands mammifères.

Géologiquement, le substratum des montagnes est constitué en grande partie de grès, de dolérite et de calcaire. Le sous-sol des plateaux est alors dominé par du sable, de la bauxite et de la latérite. Les plaines sont constituées de sols argileux-sableux avec quelques fois des graviers (sols rouges), des sols jaunes et beiges. Quant aux bas-fonds, ils sont classifiés par les agriculteurs en fonction de l’intensité et du processus d’engorgement en eau: engorgement permanent, temporaire de surface (Wendou) et de profondeur (Hollandè).

Dans sa partie malienne (Kéniéba), le relief est caractérisé par deux grands ensembles :

- Les chaînes de montagnes de Tambaoura. Elles sont le prolongement des massifs du Fouta Djallon. Elles sont caractérisées par des blocs géants de grès fins et grossiers et de roches métamorphiques éjectées à la surface du globe terrestre par des mouvements tectoniques. Le sommet de la falaise est occupé par des glacis aux sols pauvres et lessivés ;
- Le bassin versant du Tambaoura: Intercalé entre le massif et le fleuve Falémé, il est le domaine des terres fertiles (plaines, bas-fonds, les vallées etc.), ce bassin est également le domaine de l’orpaillage et sa dégradation se fait de façon exponentielle.

Le réseau hydrographique du sous-bassin est alimenté par deux grands affluents du fleuve Sénégal (prenant leurs sources dans les massifs du Fouta Djallon), à savoir :

- Le Bafing: il sert de frontière naturelle entre la Guinée (commune de Sagalo) d’une part et entre le Cercle de Kéniéba (Mali) et celui de Kita d’autre part. Ses principaux affluents sont des rivières permanentes : Niariya, Fari wole, Galama wouroudji, et nombreux marigots ;
- La Falémé: il est issu de la fusion de deux rivières, l’une venant du territoire de la Guinée et l’autre servant de frontière naturelle entre la Guinée et le territoire de Faléa au Sud-Est. Ses principaux affluents sont : le Djollo, le Taya, le Bamba et le Gombo. Une multitude de marigots y déversent leurs eaux.

A la différence du Bafing, la Falémé tarit par endroit en saison sèche. Il sert de frontière entre le Cercle de Kéniéba et la république du Sénégal.

Les contraintes environnementales sont :

- Feux de brousse incontrôlés ;
- Dégradation des forêts suite aux coupes de bois et carbonisation ;
- Dégradation des terres et du lit des cours d’eau, pollution des eaux avec les activités d’orpaillage ;
- Disparition de la faune avec le braconnage ;
- Ensablement des cours d’eau ;
- Tarsissement des cours d’eau.

5.1.3.3.5. SB5 - Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel

Le sous bassin Sénégal amont est constitué par le département de Bakel du Sénégal et une grande partie de la région de Kayes.

Sur le plan physique, le relief de ce sous bassin est en apparence peu accidenté, avec une succession de plateaux inclinés vers le nord et découpés en une série de compartiments par les cours d'eau. Son altitude moyenne est de 200 à 400 m, mais elle dépasse 400 m au sud de Kayes.

La végétation comporte des formations ouvertes (savanes, steppes, forêts galeries, mosaïques de forêts claires) et des formations plus ou moins fermées (savanes boisées, forêts claires et forêts galeries).

Ces formations se répartissent entre deux types :

- les steppes : ce sont des formations épineuses à prédominance d'Acacia, de Balanites et de Zizyphus. Le tapis herbacé est constitué en majorité de graminées ;
- les savanes boisées dominées par les grands arbres tels que : Parkia biglobosa, Vitellaria paradoxa, Khaya senegalensis, Cola cordifolia, Seiba pentadra, Bombax costatum, cordila Pinata, Pterocarpus erinaceus et beaucoup d'autres légumineuses.

Les espèces animales rencontrées sont :

- les mammifères : les hippotragues, buffles, cob Défassa, l'élan de Derby, rarement les lions, les antilopes, les Cynocéphales, Chimpanzé, l'Oryctérope, le léopard ;
- les reptiles : crocodile, varan et python ;
- l'avifaune est très riche et variée à travers toute la région : les francolins, pintades, perroquets, canepetières, oie de Gambie et autres.

Parmi ces espèces, beaucoup sont menacées de disparition. Ce sont : l'Elan de Derby, le léopard, le chimpanzé, le crocodile et l'hippotrague.

Les ressources en eaux de surface sont représentées par le fleuve Sénégal, formé à Bafoulabé par le Bafing et le Bakoye. Il représente un élément majeur de l'organisation de l'espace de par ses ressources en eau et son oro-hydrographie qui oriente tous les systèmes de communication terrestre. Les volumes d'eau qui coulent annuellement sont estimés à un volume d'eau de 11,6 Md m³ au niveau de la station hydrométrique de Kayes ville.

Les ensembles pédologiques sont formés principalement par les sols limoneux d'origine alluvionnaire, situés en bordure du fleuve Sénégal, dans les grandes plaines et autour des marigots. Ces sols, fertiles, profonds sont exploités en partie pour les besoins de l'agriculture et du maraîchage. On y rencontre également les vertisols, les sols ferrugineux et les sols sableux.

Les principales contraintes environnementales rencontrées au niveau de ce sous bassin sont :

- Déboisement généralisé des bas-fonds ;
- Pauvreté ou dégradation des sols ;
- Risque d'ensablement des zones de bas-fonds ;
- Maladies et parasites des animaux et plantes ;
- Dégradation des berges des cours d'eau ;
- Surexploitation des terres (agriculture et élevage) ;
- Faible rendement et baisse de la productivité ;
- Utilisation anarchique des pesticides et autres intrants agricoles ;
- Faible utilisation des fumures organiques ;
- Exploitation abusive des ressources forestière (charbon et bois de chauffe) ;

- Feux de brousse incontrôlés.

5.1.3.3.6. SB6 - Le Sénégal moyen de Bakel à Podor

Le sous bassin Sénégal moyen est caractérisé par des écosystèmes dunaires notamment dans sa partie Mauritanienne. Différents types de dunes et de situations d'ensablement ont été notés : des dunes vives, mobiles présentes tout le long de la vallée, des dunes semi-stables (ou semi-fixées), des dunes stables, relativement fixes.

La végétation de ce sous-bassin était relativement arborée et riche en espèces. Les formations végétales ligneuses constituaient non seulement un biotope pour le développement de la faune sauvage mais aussi une protection des berges et des sols contre l'érosion hydrique ainsi qu'un rideau de brise-vent pour les cultures. Elles fournissaient également des fruits, médicaments, bois de chauffe et autres produits de cueillette aux populations locales riveraines. Actuellement, la zone ne recèle plus qu'une végétation relique de certaines espèces qui ont résisté à la sécheresse, aux défrichements incontrôlés, à la coupe pour les besoins de la carbonisation et au broutage excessif du bétail.

Dans la zone, résistent surtout quelques vieilles formations d'*Acacia radiana* et de *Balanites aegyptiaca*, mais plus rarement d'*Acacia senegal*.

La végétation herbacée est composée essentiellement de *Cenchrus biflorus* et *Panicum turgidum*, graminées caractéristiques de sols dunaires dégradés.

De manière générale, les contraintes environnementales de ce sous-bassin sont :

- des peuplements massifs forestiers fortement dégradés à dominante de gonakiens subissant de multiples pressions de la part des charbonniers et des grands cultivateurs modernes ; les forestiers et les populations locales ont des difficultés pour assurer leur protection ;
- une situation foncière particulièrement délicate suite au développement d'aménagements hydro-agricoles dans la vallée ;
- le surpâturage ;
- les coupes abusives, notamment pour les bois de service, l'aliment du bétail, etc. ;
- l'exploitation frauduleuse (charbon de bois) ;
- les défrichements agricoles ;
- les feux de brousse ;
- la prolifération d'espèces envahissantes (typha) ;
- l'ensablement des cours d'eau ;
- les pollutions ponctuelles des cours d'eau par les rejets d'intrants et de pesticides agricoles.

5.1.3.3.7. SB7 - Le Sénégal aval de Podor à l'océan

Dans ce sous Bassin, le zonage des différents types de sols répertoriés se présente comme suit :

- les sols de type hydromorphes peu humifères (falos) ;
- les sols de transition entre les fondés et les hollaldés appelés «faux Hollaldés». Ce sont d'anciens bourrelets de berge constitués de vertisols et contenant 30 à 50 % d'argile. Certains sols sont sans structure mais sont favorables à la riziculture et aux autres cultures ;
- les sols lourds formés par l'accumulation de dépôts fluviaux lors de la décantation des eaux de crue plus connus sous le nom local de «Hollaldés» et contenant 50 à 75 % d'argile ; leur structure supporte la submersion et est favorable à la riziculture ;
- les sols peu évolués d'apport sablo-argileux (11 à 30% d'argile) plus connus sous le nom de «fondés». Ils représentent 33% du potentiel irrigable et sont favorables à toutes les cultures autres que le riz.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

La problématique de l'érosion des sols constitue une préoccupation majeure au niveau du sous bassin. En saison sèche, les vents violents du Nord constituent le facteur d'érosion le plus important ; ce qui entraîne une baisse de la fertilité des sols.

Concernant les ressources en eaux, globalement, au niveau du sous bassin du fleuve Sénégal, elles se présentent comme suit : la nappe profonde dite du Maastrichtien, et la nappe alluviale superficielle dont le faciès est formé principalement par les sables Nouakchottiens. Les caractéristiques hydrogéologiques du faciès hydrogéologique du bassin au niveau du Delta limitent la recharge de la nappe alluviale. En effet, la couche supérieure ou toit de couche est semi-perméable. En d'autres termes, il est composé de couches d'argile ou de silt. L'hydrologie de la vallée du fleuve Sénégal est décrite comme étant largement tributaire de la pluviométrie au niveau du haut bassin, de l'importance de l'onde de crue, des conditions édaphiques, mais aussi de la gestion des grands axes hydrauliques. L'eau du fleuve constitue la source principale pour l'alimentation en eau des populations pour les besoins domestiques et les usages agricoles au niveau du Delta.

La végétation est caractérisée par une strate arbustive, représentée par du *Tamarix senegalensis*, *Acacia tortilis*, *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*. En ce qui concerne la strate herbacée, des espèces adaptées telles que : *Sesuvium portulacastrum*, *Sueda frusticosa*, *Artrocnenium glaucum*, *Philoscerus vermicularis*, *Cressa cretica* sont rencontrées. Par contre, dans les zones inondées et marécageuses, on note les peuplements de *Thypha australis*, *Sporobolus* sp, *Phragmites* sp, de *Nymphaea lotus*, *Typha domingensis*, *Jussiaea repens*, *Oryza bartii*, *Eragrostis* sp.

La Problématique des espèces envahissantes est préoccupante dans ce sous bassin. En effet, les spécialistes rattachent ce problème avec d'une part la mise en place du barrage de Diama, et d'autre part les aménagements hydro-agricoles. Elle se pose en termes d'enjeu à l'infestation des eaux douces par les plantes aquatiques, principalement le *Typha* et le *Salvinia molesta*, classés parmi les impacts environnementaux majeurs du Delta (au moins 121 000 ha de superficies d'eau envahies).

Les richesses fauniques au niveau de la zone du reste du Delta découle de la présence du parc national du Djoudj, considéré comme le paradis des oiseaux (voir localisation dans la figure ci-dessous). Les diverses espèces animales rencontrées appartiennent à divers groupes systématiques : faune reptilienne, faune mammalienne, faune aviaire, ichtyofaune, etc. De nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs paléarctiques (notamment les Anatidés, les Ardéidés et les Limicoles comme les tourterelles, les pigeons, les cailles et gangas, les canards (souchet, à dos blanc et pilet), les bécassines, les oies de Gambie et d'Egypte...) viennent y nicher, comme des oiseaux tels que le Pélican Blanc, les Cormorans, le Héron bihoreau, le Dendrocygne veuf, le Dendrocygne fauve, l'Ibis falcinelle, le Flamant rose et le Flamant nain. L'impressionnant effectif des oiseaux (1 500 000) dans le Djoudj pose la problématique de l'invasion des oiseaux granivores. Parmi les espèces d'oiseaux granivores envahisseurs rencontrés dans le Djoudj, *Quelea quelea* est la plus vue. L'impact de *Quelea quelea* sur les cultures peut atteindre 40% des rendements.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE



Figure 91. Localisation du parc national du Djoudj (source : Google)

La faune terrestre (mammifère et reptile) est assez rare en raison de la destruction du milieu naturel et de la chasse. Le phacochère, et le chacal, qui bénéficient d'une protection socioreligieuse, présentent en revanche des effectifs importants. On note également une forte colonie de singes qui sont de grands prédateurs. Certaines plantes aquatiques (*Typha australis*) constituent des niochirs pour l'avifaune. Elles constituent des points de refuges de certaines espèces animales telles que le varan et le boa.

Les préoccupations environnementales au niveau du sous bassin sont :

- problématique de l'émissaire du delta du fleuve ;
- les défrichements agricoles ;
- prolifération des espèces envahissantes (typha) ;
- ensablement des cours d'eau ;
- les pollutions des cours d'eau par les rejets d'intrants et de pesticides agricoles ;
- salinisation des terres ;
- les oiseaux et insectes ravageurs.

5.2. ZONES VULNERABLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.4)

5.2.1. Analyse à partir d'images satellites

L'analyse diachronique à partir d'images satellites n'est pas probante pour identifier les effets de la période de sécheresse qui a débuté en 1970. Il aurait été intéressant de comparer la situation prévalant avant 1970 à celle observée à la fin de l'épisode de grande sécheresse, à la fin des années 90. Malheureusement il n'existe pas d'images satellite anciennes datant d'avant 1970.

En revanche il est possible de réaliser une analyse diachronique sur des images plus récentes ; cette analyse vient compléter et confirmer les informations collectées sur le terrain concernant essentiellement le résultat d'activités humaines : développement de périmètres d'irrigation, déforestation, etc. Il est également intéressant de visualiser sur une image satellite des situations particulières, comme les activités d'orpaillage dans les cours d'eau.

Nous avons exploité les images satellites sur quelques zones clés du bassin en appui aux informations rassemblées sur le terrain. Ces images permettent de recouper et d'illustrer les points suivants qui ont été abordés lors des entretiens:

- **La tête de bassin (Guinée)** : soumise à une importante déforestation, provoquant d'importants phénomènes d'érosion et de pertes de terres. Cette déforestation massive en Guinée aggrave les phénomènes de sécheresses et d'inondations ;
- **La Falémé** : avec le développement incontrôlé d'orpaillage, créant des conflits liés à l'usage de l'eau et dégradant la qualité des eaux ;
- **L'aval** : avec (i) le développement de périmètres irrigués et l'urbanisation croissante dans le lit majeur du fleuve, dégradant la qualité de l'eau et accentuant la vulnérabilité des populations aux risques d'inondations et aux maladies liées à l'eau et (ii) le développement de plantes aquatiques, notamment le Typha ;
- **La langue de barbarie** : Elargissement constant de la brèche entraînant des coûts environnementaux et socioéconomiques importants dus aux remontées salines, à la disparition d'habitats, à la perturbation des itinéraires de migrations des poissons et au recul des terres agricoles.

A. Identification de changements au niveau de l'occupation des sols

Deux images LANDSAT ont été utilisées pour illustrer ces changements :

L'image de référence est une image LANDSAT 3 prise le 30/09/1979 sur la région du lac de Guiers dans la région de Richard Toll au Sénégal.

Afin d'effectuer une analyse diachronique pertinente, il est nécessaire dans la mesure du possible de trouver des images satellites prises à la même époque de l'année. L'image récente permettant d'effectuer l'analyse diachronique est une image LANDSAT 8 prise le 05/09/2015.

L'analyse de ces deux images permet de détecter et de mettre en évidence des changements ayant des causes essentiellement anthropiques.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

a) *Identification du développement de périmètres irrigués*

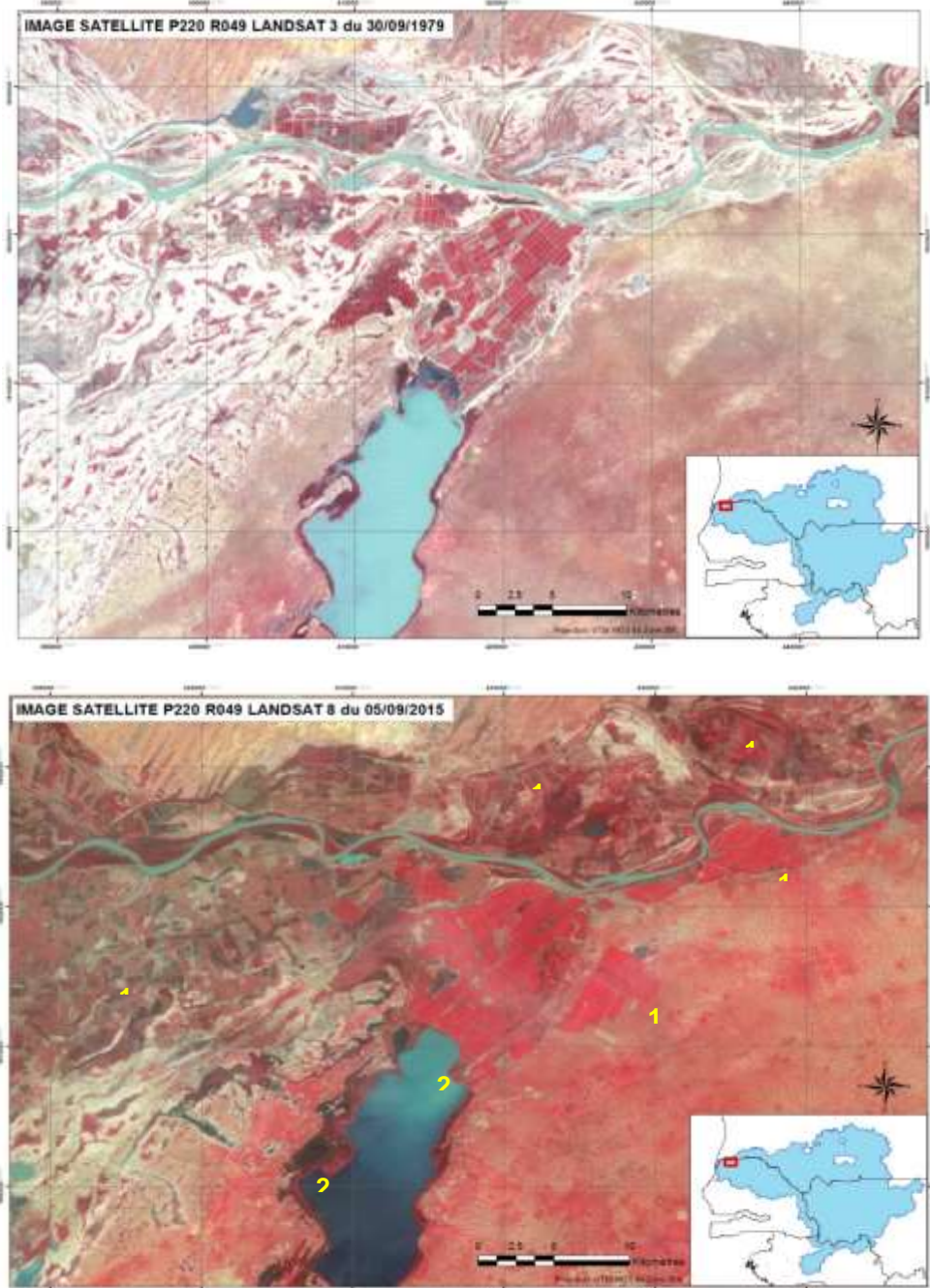


Figure 92. *Analyse diachronique de l'évolution des périmètres hydroagricoles dans la région du lac de Guiers (source : ce rapport)*

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

b) *Identification du développement des zones de plantes aquatiques (Typha)*

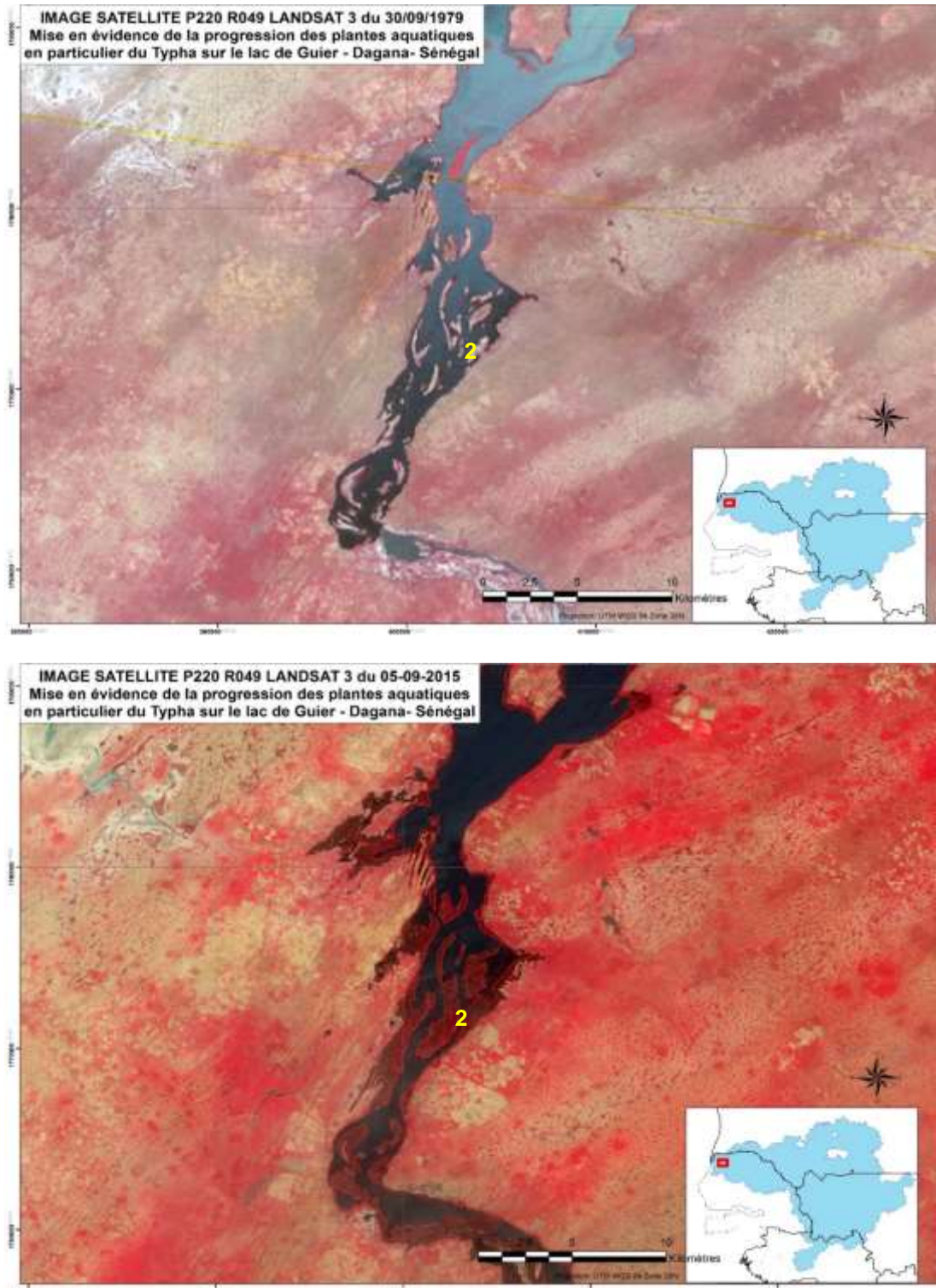


Figure 93. Analyse diachronique de l'évolution des plantes aquatiques sur le lac de Guiers (source : ce rapport)

La prolifération des plantes aquatiques est mise en évidence en utilisant notamment le canal proche infra-rouge ; la végétation apparaît en rouge.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
 R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

c) Identification de la modification du trait de côte – Ouverture de la langue de Barbarie

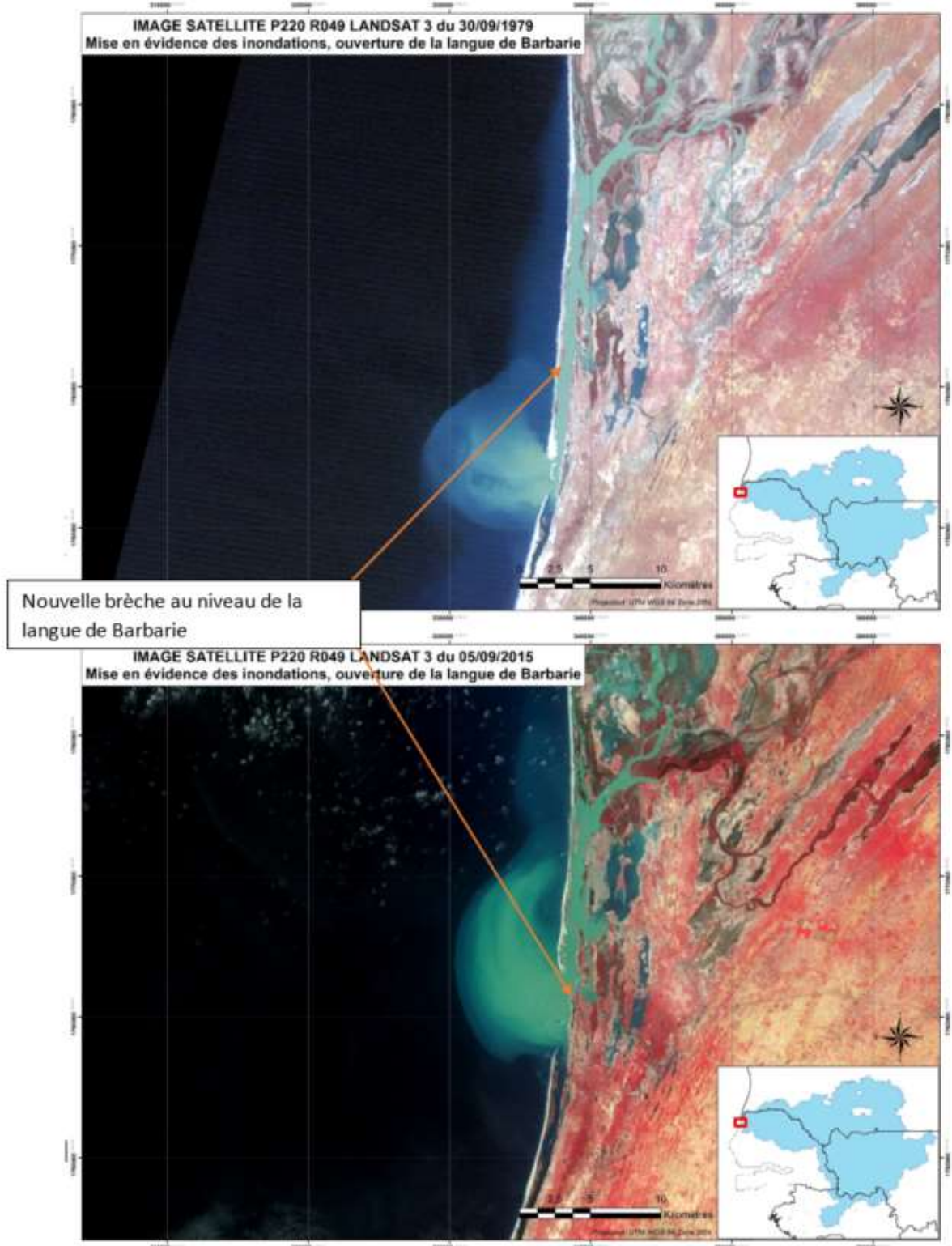


Figure 94. Analyse diachronique de l'évolution de la langue de Barbarie (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

d) *Déforestation de la forêt en Guinée*

Deux images LANDSAT ont été utilisées pour illustrer ces changements :

L'image de référence est une image LANDSAT 5 prise le 07/11/1990 sur la région de Labé en Guinée. L'image récente permettant d'effectuer l'analyse diachronique est une image LANDSAT 8 prise le 13/10/2016.



Figure 95. Analyse diachronique de l'évolution du couvert forestier en Guinée (source : ce rapport)

B. Identification d'activités minières sur la Falémé

La détection des sites d'orpaillage ne peut se faire qu'à partir d'images satellites THR (Très Haute Résolution) ces images grâce à leur résolution sub-métriques (0.5 m) permettent d'identifier ces sites qui sont généralement de peu d'ampleur surfacique.

La particularité de ces sites d'orpaillage est qu'ils se situent en bordure de cours d'eau, tant pour les besoins en matériaux d'extraction que pour les besoins en eau pour le lavage.



Figure 96. Photo d'un site d'orpaillage sur un cours d'eau

Le repérage de ces sites se fait en grande partie par l'identification des rejets d'eau de lavage dans les cours d'eau ; en effet cette eau chargée en éléments fins (argile et limons) se différencie très nettement de l'eau des cours d'eau (sauf en période de crues).

Sur l'image satellite ci-dessous on distingue parfaitement ces rejets de couleur ocre. Cette image prise le 23/05/2016 dans la région de Koundama au Mali met particulièrement bien en évidence l'implantations de ces sites d'orpaillage, on distingue sur la berge quelques infrastructures (A) et les sols remaniés en bordure de cours d'eau (B). Les eaux de lavages rejetées dans la rivière sont de couleur ocre (C).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE



Figure 97. Site d’orpaillage sur la Falémé dans la région de Koundama au Mali (source : ce rapport)

5.2.2. Analyse de la vulnérabilité aux changements climatiques par pays

Nous avons repris les résultats d'analyses menées dans les pays membres du BFS, issues de la Communication nationale initiale d'une part, et des études complémentaires réalisées dans le cadre du Programme d'Action National d'Adaptation (PANA) d'autre part.

5.2.2.1. Guinée**A. Risques climatiques**

Les risques climatiques actuels qui menacent les modes d'existence peuvent être décrits en fonction de l'éventail de leurs conséquences, de leur durée, de leur étendue géographique et de leur fréquence d'apparition. Il conviendrait de noter les tendances observées dans la fréquence et la gravité des risques.

En Guinée, les principaux risques identifiés lors des ateliers régionaux de consultation publique organisés par le projet PANA dans les quatre régions naturelles du pays figurent dans le tableau suivant :

Tableau 66 – Vulnérabilité de la Guinée aux changements climatiques (source : PANA)

N°	Risques	Guinée Maritime	Moyenne Guinée	Haute Guinée	Guinée Forestière
1	Élévation de la température de surface et du niveau de la mer	La bande du littoral (préfectures de Boké, Boffa, Coyah, Dubréka, Conakry et Forécariah)	-	-	-
2	Sécheresse	Le Nord des préfectures de Téliélé et Boké	Toute la région	Toute la région	Beyla, Lola, et Kissidougou
3	Forte insolation	Préfecture de Boké	Koundara et Gaoual	Dinguiraye et Siguiri	-
4	Inondations	Préfecture de Boké	Préfecture de Gaoual	Toute la zone	Kissidougou et Gueckédou,
5	Perturbation du régime pluviométrique	Toute la zone	Toute la zone	Toute la zone	Toute la zone
6	Pluies orageuses	Toute la zone	Toute la zone	Toute la zone	Toute la zone

Comme indiqué dans le tableau ci-dessus, les risques climatiques identifiés touchent toutes les régions naturelles du pays à l'exception de l'élévation du niveau de la mer. Les conséquences de ces risques sur les écosystèmes et leurs ressources ainsi que leur tendance sont indiquées dans le tableau suivant.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 67 – Conséquences et tendances des changements climatiques en Guinée (source : PANA)

risques	Conséquences	Tendance
Elévation de la température de surface et du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> • submersion des terres basses • modification de la structure taxonomique • destruction des infrastructures • disparition/migration d'espèces animales ou végétales • destruction d'une partie de la mangrove • intrusion saline • pénurie d'eau potable • perte de terres agricoles et des récoltes • conflits sociaux • prolifération de maladies • déplacement des populations 	Elevée dans les estuaires et plaines en front de mer ; Moyenne dans les autres zones de la côte
Sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> • assèchement des terres, des cours d'eau et des mares • dégradation des têtes de sources • étiage prononcé des grands cours d'eau ; • ensablement des lits des cours d'eau • Perte de la biodiversité • conflits sociaux • baisse de rendement des sols • perte de récolte • proliférations des maladies et des ennemis des plantes • baisse de la production et de productivité animales • perte du cheptel • pénurie d'eau • migration de la faune sauvage • recrudescence des feux de brousse 	Importante en Moyenne et Haute Guinée Moyenne en Guinée Maritime et Forestière
Forte insolation	<ul style="list-style-type: none"> • recrudescence des feux de brousse • déshydratation des espèces animales et végétales • assèchement des sols • mortalité de la microfaune et microflore • élévation de l'évapotranspiration • perte de la production et de la productivité 	Elevée à Boké, Gaoual, Koundara, Dinguiraye et Siguiri ; moyenne ou faible dans les autres préfectures.
Inondation	<ul style="list-style-type: none"> • destruction des infrastructures socio-économiques • perte de vies humaines et de biens • perte d'espèces animales et végétales • prolifération des maladies hydriques, • destruction des cultures de bas-fonds et de plaines • inaccessibilité des zones de production agricole 	Importante en Haute Guinée, Moyenne en Basse et Moyenne Guinée ainsi qu'au nord de la Guinée Forestière; Faible au sud de la Guinée Forestière
Perturbation pluviométrique	<ul style="list-style-type: none"> • perturbation du calendrier agricole • perte de récolte et de revenu • perturbation du régime des cours d'eau 	Importante en HG et M G, Faible en BG et en GF
Pluie orageuse	<ul style="list-style-type: none"> • pertes en vies humaines et en biens • destructions des infrastructures • déracinement d'arbres (chablis) • éboulements de terre • Destruction des cultures et récoltes • Accélération du processus d'érosion des terres 	Moyenne pour toutes les régions naturelles

B. Vulnérabilité des ressources et des groupes socio-économiques aux risques climatiques

Les études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques réalisées en Guinée indiquent que la tendance à la baisse des précipitations et à l'augmentation de la température observée depuis 1961, la croissance démographique et l'extrême pauvreté rendent très vulnérables les différentes ressources et groupes socio-économiques aux changements climatiques.

a) Vulnérabilité des ressources

Les études de vulnérabilité montrent que les épisodes de sécheresses observées au cours de la période 1961-1990 ont fortement influencé le régime hydrologique des cours d'eau. Les courbes de variation de l'hydraulicité empruntent les mêmes allures que celles des indices pluviométriques : une tendance à la baisse de façon générale et en particulier au cours de la dernière décennie.

D'après le tableau 4, les cours d'eau subiront une réduction de débit dépassant les 50 % de la moyenne actuelle par endroit. Ce phénomène de réduction sera commun à toutes les régions du pays mais très marqué pour celles situées au Nord du 10^e parallèle. De 2050 à 2100, le débit du Niger diminuera de 16 à 28% à la sensibilité 2,5°C et de 23 à 54 % à la sensibilité 4.5°C.

Les principaux cours d'eau du bassin du Niger subissent de nos jours des phénomènes liés d'une part à la perte du couvert végétal et de l'humidité du sol et d'autre part à l'accroissement de l'érosion hydrique par les eaux pluviales et la destruction des forêts galeries.

b) Vulnérabilité de la zone côtière [hors du BFS]

La zone côtière guinéenne regroupe des plaines de front de mer et d'estuaires d'altitude très faible (4 à 5m) qui sont inondables soit par la marée, soit par les débordements fluviaux. De par son climat, sa végétation, ses ressources naturelles et sa position géographique stratégique, cette zone est devenue un pôle d'attraction pour une population de plus en plus nombreuse.

Les principales activités socio-économiques sont l'agriculture, la pêche, le fumage de poisson, la saliculture, l'exploitation forestière et l'élevage. Ces activités sont pratiquées dans toute la zone mais la prédominance des unes par rapport aux autres varie d'un secteur à l'autre en fonction de la disponibilité des ressources.

Divers problèmes prédisposent la zone côtière à une vulnérabilité aux changements climatiques.

Plusieurs sites côtiers sont déjà dans un état de vulnérabilité suite aux actions anthropiques néfastes. Il est établi que le site de Koba est celui dont l'activité d'érosion est la plus prononcée. Le scénario projeté pour l'année 2050 indique une amplification de la marée favorisant des actions abrasives des courants résiduels. Le niveau d'inondation attendue dans les plaines de Koba (5,50 m), provoquera une submersion de 80% des ouvrages et des basses terres le long du littoral.

c) Vulnérabilité du secteur de l'agriculture et de l'élevage

En Guinée, la durée des jachères se raccourcit de plus en plus (de 8-10 ans dans les années 70 à 3-5 ans de nos jours). Ceci est dû à la croissance démographique galopante (3,1% par an) et à la monétarisation de l'économie rurale occasionnant une extension de l'agriculture itinérante. Ce système d'agriculture entraîne un épuisement des sols, une chute des productions et une augmentation des surfaces cultivées aux dépens des forêts. En 2005, le service national des statistiques agricoles (SNSA) a estimé à 1 370 145 ha la superficie occupée par les cultures annuelles que sont le riz, le fonio, le sorgho, le mil, le maïs, l'arachide, le manioc, l'igname, la patate, le taro et la pomme de terre sur l'ensemble du pays dont 990 045 ha sur côtes.

Les surfaces «rizicultivables» passeraient de 460 000 ha en 1996 à 714 000 ha en 2005, pour atteindre, en 2007, 780 000 ha.

On observe une dégradation accélérée et continue du potentiel de production avec pour conséquence la chute des rendements.

Les sécheresses et les inondations manifestes en Haute Guinée au cours de ces dernières années ont entraîné une baisse des disponibilités alimentaires en céréales.

Les variations de la production et de la productivité agricoles imputables à l'évolution du climat vont être extrêmement marquées selon les régions et les endroits.

Le système d'élevage pratiqué en Guinée est de type extensif. Le surpâturage fréquent en Moyenne et Haute Guinée, occasionne la destruction du couvert végétal et du sol.

d) Vulnérabilité du secteur de la foresterie

La vulnérabilité des formations forestières est fonction du déficit hydrique des différentes zones climatiques. Le déficit pluviométrique et l'augmentation de la température projetés contribueront à une modification de la répartition des formations végétales à l'horizon 2025. Ainsi, les zones Nord-Est et Nord-Ouest verront la savane arborée se transformer en une savane sèche suite à une réduction de 200 mm des pluies ; la végétation dense disparaîtra dans la région du Foutah et dans les préfectures de Kérouané, Beyla, Lola et N'Zérékoré. Elle cédera progressivement la place à la savane arborée qui avancera du Nord vers le Sud. Ainsi, les zones arides progresseront avec une réduction de certaines espèces forestières moins résistantes à la sécheresse. Cela réduira considérablement les potentialités forestières du pays. Aussi, la mangrove subira une réduction notoire dans les préfectures de Forécariah, Boffa et Boké.

e) Analyse générale de la vulnérabilité

Il ressort de l'analyse de la vulnérabilité des ressources, les observations ci-après :

- En Basse Guinée, les ressources les plus vulnérables aux risques climatiques sont les sols et les forêts de mangrove et de front de mer suivis du riz et des sols agricoles ; les moins vulnérables sont les petits ruminants et les palmiers suivis des forêts galeries, des forêts de montagnes, de l'ananas, de la volaille et des cultures maraîchères.
- En moyenne Guinée le riz est la ressource la plus vulnérable suivie respectivement des sols agricoles, des cours d'eau, du maïs, des mares, de la savane, des bovins, de la faune terrestre, du fonio et des forêts sèches. Les ressources les moins vulnérables aux risques climatiques sont les forêts de montagne suivies des forêts galerie, de la volaille, des nappes phréatiques, de la banane et des asins.
- En Haute Guinée, la ressource la plus vulnérable est de loin le riz, après viennent le maïs, les cours d'eau, les bovins, les forêts sèches, les sols agricoles, les mares et le fonio. Parmi les ressources les moins vulnérables figurent, les forêts galeries, la volaille, les nappes phréatiques, l'arachide, les agrumes, les tubercules, les petits ruminants, la mangue, l'anacarde, le sésame, le sorgho et les cultures maraîchères.
- En Guinée Forestière, les sols agricoles constituent la ressource la plus vulnérable alors que les ressources les moins vulnérables sont nombreuses et diversifiées. Parmi elles on peut citer le palmier à huile, l'hévéa, la volaille, les tubercules, les petits ruminants, la banane et les cultures maraîchères.

Dans les quatre régions naturelles, les sols agricoles ont été identifiés parmi les ressources les plus vulnérables suivis du riz.

La présente classification ne tient compte que des facteurs climatiques, cependant les activités anthropiques néfastes telles que les feux de brousse, le défrichement des têtes de source et des forêts galeries, les défrichements agricoles sur les flancs de montagnes, la fabrication de briques cuites sur les rives des cours d'eau, l'exploitation des mines et carrières à ciel ouvert, etc., peuvent accentuer les degrés de vulnérabilité des différentes ressources.

Bien que le classement soit régional, il importe de noter l'existence de grande variabilité intra régionale. Par exemple la préfecture de Boké et les grands estuaires en Basse Guinée, celles de Gaoual et Koundara en Moyenne Guinée, Siguiri, Dinguiraye et Mandiana en Haute Guinée, Beyla, Lola et Kissidougou en Guinée Forestière ont un degré de sensibilité très élevé aux variabilités/changements climatiques.

D'une manière générale, de par le nombre et l'importance des ressources vulnérables, la Haute et Moyenne Guinée sont les régions les plus exposées aux risques climatiques.

f) Groupes socio-économiques vulnérables

Les groupes socio-économiques vulnérables sont identifiés en tenant compte des impacts de leurs activités sur les ressources naturelles.

En Guinée, plus de 80% de la population vit et travaille dans des zones rurales. Leurs moyens d'existence sont de plus en plus dégradés. La dégradation et la disparition du couvert végétal des bassins versants, la destruction des têtes de sources et des forêts galeries, l'ensablement des lits et des plaines, la disparition d'espèces animales et végétales, la baisse de la fertilité des sols sont non seulement consécutifs à l'impact des changements climatiques mais aussi aux activités anthropiques.

Ainsi, tous les groupes socio-économiques, qui dépendent des écosystèmes et de leurs ressources pour la satisfaction de leurs besoins de subsistance, sont vulnérables. Ceci conduit au dysfonctionnement des modes traditionnels d'exploitation des terres et des systèmes agricoles.

Les risques climatiques identifiés en Guinée auront des impacts négatifs sur les activités des différents groupes socio-économiques. Ainsi pourrait-on noter :

- **Agriculteurs** : Les agriculteurs constituent la couche socioprofessionnelle la plus nombreuse et la plus pauvre. En zone côtière, l'élévation du niveau de la mer provoquera l'inondation des terres « rizicultivables » et l'acidification des sols. Dans l'arrière-pays, la baisse de la pluviométrie, la sécheresse, l'inondation et la forte insolation occasionneront, selon les cas, la baisse de la fertilité des sols et celle des rendements des récoltes, la prolifération des maladies et ennemis des plantes et des animaux, la pénurie d'eau et l'augmentation des risques de feux de brousse.
- **Éleveurs** : Les variabilité/changements climatiques réduiront la production et la productivité du cheptel, la raréfaction des espèces fourragères, la disparition des zones de pâturage, l'augmentation de la transhumance et la prolifération des maladies épisodiques et l'exacerbation des conflits entre agriculteurs et éleveurs.
- **Pêcheurs et fumeurs de poissons** : La baisse quantitative et qualitative de la production halieutique suivra l'allure des changements climatiques suite à la baisse de la base alimentaire, au tarissement des cours d'eau, etc.
- **Planteurs** : La recrudescence des feux de brousse, la prolifération des maladies et ennemis des plantes, la baisse de la fertilité des sols, la pénurie d'eau, consécutives aux changements climatiques, seront néfastes pour les planteurs.
- **Saliculteurs** : La baisse de la production et de la productivité suite à la submersion des casiers salicoles sera la conséquence majeure des risques climatiques dans le domaine de la saliculture.
- **Transporteurs et Commerçants**: L'inaccessibilité des zones de production suite à la dégradation des infrastructures de communication et la rareté des produits commercialisables seront préjudiciables aux activités des commerçants et des transporteurs. En zone côtière, le transport maritime sera perturbé par l'intensification des tempêtes suite à l'élévation de la température de la surface de l'eau
- **Exploitants de produits forestiers ligneux et non ligneux** : Les conséquences de la variabilité et les changements climatiques et les activités anthropiques sont la dégradation de la diversité biologique des écosystèmes forestiers ainsi que la réduction des espaces boisés qui affecteront les exploitants forestiers dans leurs activités.
- **Aviculteurs** : La baisse de la production agricole qui entraînera une crise alimentaire, la recrudescence des maladies aviaires et la forte insolation affecteront sérieusement la filière avicole.
- **Chasseurs** : La raréfaction de la faune sauvage suite à la destruction de son habitat affectera l'activité de chasse.

- **Fabricants de briques cuites** : Les fabricants de briques cuites verront leurs activités perturbées par les inondations, les pluies orageuses, la perturbation du régime pluviométrique et le manque de ressources ligneuses.
- **Maraîchers** : La baisse de la fertilité des sols, la pénurie d'eau et la recrudescence des maladies et ennemies des plantes seront à l'origine d'une contre-performance du maraîchage.
- **Exploitants de mines et carrières** : L'exploitation des mines et carrières à ciel ouvert telle que pratiquée en Guinée, sera sérieusement entravée par la perturbation du régime pluviométrique, les pluies orageuses et les inondations.

g) *Degré de sensibilité des groupes socio-économiques aux risques climatiques*

Il ressort de l'analyse que dans les quatre régions naturelles tous les groupes socio-économiques sont exposés à des degrés divers aux risques climatiques identifiés.

En Guinée Maritime les agriculteurs constituent le groupe socio-économique le plus vulnérable suivis des saliculteurs, des planteurs, pêcheurs et éleveurs de gros bétails. Par contre, les éleveurs de petits ruminants, les exploitants de mines et carrières et les maraîchers sont les moins vulnérables. Les autres groupes se retrouvent dans les classes intermédiaires.

Dans cette région on note que l'élévation du niveau de la mer et la sécheresse sont les risques climatiques qui affecteront le plus les groupes socio-économiques, suivies de la perturbation du régime pluviométrique et des inondations.

En Moyenne Guinée les agriculteurs représentent le groupe socio-économique le plus vulnérable après viennent les planteurs, tandis que les exploitants de carrières, les commerçants/transporteurs, les éleveurs de petits ruminants et les aviculteurs sont classés parmi les moins vulnérables.

La sécheresse affectera plus les groupes socio-économiques en Moyenne Guinée. Ensuite suivent la forte insolation, la perturbation du régime pluviométrique, les pluies orageuses et les inondations.

Tout comme en Moyenne Guinée, les agriculteurs et les planteurs sont les groupes socio-économiques les plus vulnérables en Haute Guinée. Les aviculteurs, les éleveurs de petits ruminants et les exploitants de mines et carrières figurent parmi les moins vulnérables.

Le risque le plus marqué en Haute Guinée est la sécheresse suivie par ordre d'importance, de la perturbation du régime pluviométrique, des pluies orageuses, de la forte insolation et des inondations.

De même que dans les autres régions naturelles, en Guinée Forestière les agriculteurs sont les plus vulnérables. Les éleveurs de petits ruminants, les chasseurs et les aviculteurs sont les moins vulnérables. Dans cette région, la sécheresse et les pluies orageuses sont les risques les plus marqués.

D'une manière générale, la sécheresse est le principal risque climatique dans toutes les régions naturelles.

5.2.2.2. Mali

Au Mali, il a été privilégié la définition du terme de la « vulnérabilité » recommandée par le GIEC qui est la suivante :

La « vulnérabilité » d'un système aux changements climatiques est le degré auquel ce système est susceptible, ou se révèle incapable, de faire face aux effets néfastes des changements climatiques, notamment à la variabilité du climat et aux conditions climatiques extrêmes.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Le degré de vulnérabilité des systèmes est aussi lié aux activités socio-économiques qui engendrent leur exploitation.

L'analyse de la vulnérabilité comprend trois questions qui sont : qui est vulnérable ? à quoi ? et dans quelle mesure ? La réponse à ces trois questions peut être obtenue par l'analyse des moyens d'existence par rapport aux risques climatiques et aux modes d'existence.

Dans le cadre d'un processus participatif, un atelier d'identification des secteurs prioritaires du PANA regroupant des représentants de l'Administration, des différents secteurs socioprofessionnels, des ONG, de la société civile et des universitaires s'est déroulé les 09 et 10 mars 2005 au Mémorial Modibo KEITA à Bamako.

Au cours de l'atelier il a été identifié, à partir d'un brainstorming, les risques climatiques les plus importants pour le Mali. Les risques suivants ont été retenus :

- la sécheresse ;
- l'inondation ;
- le vent fort ;
- la forte variation de température.

Pour évaluer l'ampleur de ces risques sur les secteurs potentiels à risques climatiques, un barème de notation a été adopté au tableau suivant.

Tableau 68 – Barème de l'ampleur des risques (source : PANA du Mali)

Echelle	Ampleur du risque climatique sur le secteur
1	Faible
2	Assez faible
3	Moyen
4	Assez fort
5	Fort

L'identification des secteurs a aussi été faite à partir d'un brainstorming. A la suite de ce processus, les secteurs suivants ont été retenus comme secteurs à risques climatiques au Mali. Ce sont : l'agriculture, l'élevage, la pêche, l'énergie, la santé, les ressources en eau, la faune, la forêt, le transport, l'éducation, l'industrie, l'habitat.

Dans le cas présent, la sécurité alimentaire n'a pas été retenue comme secteur parce qu'elle est la contribution d'autres secteurs déjà cités comme l'agriculture, l'élevage et la pêche.

En utilisant le barème défini plus haut, il a été procédé à l'évaluation du poids des différents risques climatiques sur les différents secteurs. L'analyse des résultats permet d'identifier les secteurs prioritaires :

Tableau 69 – Evaluation des secteurs les plus vulnérables (source : PANA du Mali)

Rang	Secteurs
1	Agriculture, Santé
3	Pêche, Energie
5	Ressources en eau
6	Elevage, Forêt- faune, Habitat, Transport
11	Industrie
12	Education

Ce tableau permet, à l'aide d'indicateurs d'impact de changements climatiques, d'établir une priorité entre les risques climatiques :

1. Sécheresse

2. Vents forts
3. Inondations
4. Fortes variations de température

Pour analyser la vulnérabilité du Mali aux effets néfastes des changements climatiques dans les principaux secteurs d'activité, les résultats des études existantes mais surtout les connaissances et les expériences des parties prenantes, notamment les communautés rurales, ont été exploités. Les connaissances des communautés rurales et surtout leurs expériences recueillies lors de forums organisés localement ont été les bases d'évaluation de cette vulnérabilité. Les détails des résultats de ces concertations locales ont servi à la synthèse suivante pour les différents secteurs :

A. Les ressources en eau

Les différentes problématiques climatiques au Mali qui affectent les ressources en eau sont entre autres :

- Une décroissance régulière de la quantité de pluie, et une grande variation spatio-temporelle ;
- Des lignes de grain caractéristiques du Sahel axées du Nord au Sud sur une distance de 500 à 750 Km s'accompagnant souvent de vents forts et de pluies abondantes parfois catastrophiques ;
- Un rayonnement très fort durant toute l'année avec des températures moyennes peu différenciées ;
- Une augmentation des températures du Sud-Ouest vers le Nord-Est avec des maximales relevées au cours de l'année pouvant atteindre ou dépasser les 45°C tandis que les minimales sont rarement en dessous de 10°C ;
- De fortes valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) en raison des températures élevées, des humidités relatives faibles et des vents forts ;
- La persistance des sécheresses à partir des années 1970 entraînant des déficits pluviométriques assez importants et une évolution des isohyètes vers le sud, ce qui fait que la migration est devenue de plus en plus une stratégie face à ces nouvelles conditions climatiques et environnementales précaires ;
- L'érosion hydrique et éolienne qui entraîne l'ensablement des cours et points d'eau ;
- L'ensablement occasionne un dépôt annuel de près de 13 millions de tonnes de limon dans les lits des principaux cours d'eau.

L'analyse des anomalies réduites de la pluviométrie établie sur la base des données pluviométriques de 59 stations de 1961 à 2004, montre une tendance à la baisse des précipitations depuis les trois dernières décennies.

A cause de cette baisse, l'approvisionnement en eau des populations et du cheptel est devenu plus difficile suite au tarissement de certains puits ou à l'augmentation de leur profondeur.

Selon un scénario climatique élaboré à partir de Magic Shungen, la diminution de la pluviométrie qui se traduit par un déplacement des isohyètes vers le Sud se poursuivrait pour les horizons temporels jusqu'en 2100.

B. Le secteur de l'agriculture

L'agriculture représente environ 50% du Produit National Brut. L'économie malienne est donc fortement tributaire des performances du secteur agricole, qui est particulièrement sensible aux variations climatiques, aux périodes de longues sécheresses, et au glissement continu du désert vers le Sud depuis plusieurs décennies.

Selon la DNSI, la superficie des terres cultivées est passée de 1 967 000 ha en 1970/71 à 3 472 000 ha en 1994/95, ce qui représente une augmentation de 15% en terme de défrichement.

Cette augmentation des superficies n'a pas été accompagnée d'une augmentation des rendements des cultures vivrières qui sont restés faibles, avec une moyenne de 750 Kg/ha toutes productions confondues.

En effet, les sols présentent d'une manière générale plusieurs contraintes importantes du point de vue agronomique qui limitent encore le potentiel cultivable. Les 3 à 3,5 millions d'ha de terres cultivés annuellement sont marqués par un niveau de fertilité moyen à faible, avec des carences en phosphore, en potassium, en soufre et par une forte sensibilité à l'érosion éolienne et/ou hydrique. Les pertes annuelles moyennes en terres arables du fait de l'érosion sont de l'ordre de 6,5 tonnes/ha/an, variant de 1 tonne au Nord à plus de 10 tonnes au Sud. Des chiffres de 31 tonnes ont été enregistrés du côté de Sikasso en zone soudano-guinéenne.

La pression agricole se traduit aussi dans les régions où la pression démographique est forte par la mise en culture des terres marginales et/ou forestières et par une diminution de la durée des jachères.

Pour analyser la vulnérabilité future du Mali aux effets néfastes des changements climatiques dans les secteurs des ressources en eau et de l'agriculture, le choix s'est porté sur cinq localités situées dans les zones à forte potentialité agricole tant au plan des cultures vivrières (qui sont essentiellement le mil, le sorgho, le riz et le maïs) que celui des cultures industrielles comme le coton. Ces localités sont situées dans les zones soudaniennes, soudano-guinéennes et dans la localité du Delta intérieur du Niger. (Bougouni, Dioila, Sélingué (Yanfolila), Koutiala et Sikasso). Deux de ces localités sont situées dans des bassins versants à savoir Sélingué dans le bassin versant du Sankarani et Bougouni dans celui du Baoulé.

Cette analyse a permis d'évaluer (avec plus de précision) l'impact des changements climatiques sur deux variétés agricoles, très importantes pour l'économie du pays, qui sont le maïs et le coton en utilisant un scénario climatique plus adapté pour le Mali (CNRST/Projet Climat/Etude 1, 2002) et des outils d'analyse plus performants.

L'étude a montré qu'il y aurait assez d'eau pour satisfaire les besoins en eau des différentes spéculations cultivées dans les deux bassins, mais cette eau pluviale serait mal répartie entre les différents mois et les différentes localités. Il en résulterait, pour certains mois et pour certaines cultures, un déficit en eau.

Pour l'ensemble des localités concernées :

- Un déficit de production variant entre 51 et 1518 tonnes de maïs à l'horizon 2025 serait constaté par rapport aux conditions de la normale 1961-1990 ;
- Une baisse généralisée des rendements du cotonnier entre 2005 et 2025 sera observée. Les pertes de production se situeraient entre 150 tonnes en 2005 et 3 500 tonnes en 2025 selon les localités ;
- Une baisse généralisée des rendements du mil/sorgho entre 2005 et 2025 serait observée. Les pertes de production se situeraient entre 80 tonnes en 2005 et 2524 tonnes en 2025 selon les localités ;
- Pour le riz fluvial, une baisse généralisée des rendements du riz entre 2005 et 2025 serait observée ;
- Les pertes de production mil/sorgho se situeraient entre 150 tonnes en 2005 et 470 tonnes en 2025 selon les localités.

C. Le secteur des ressources forestières

Les formations ligneuses maliennes occupaient, entre 1985 et 1991, environ 32 millions d'hectares, selon le Projet Inventaire des Ressources ligneuses (PIRL). Actuellement, les formations forestières ne couvrent plus que 17,4 millions d'ha, et connaissent un déclin continu du

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

fait de la pression des pratiques agricoles, des prélèvements à des fins énergétiques (bois et charbon de bois) et du surpâturage.

Le volume sur pied, selon l'inventaire du PIRL, est estimé globalement à 520 millions de m³, avec de fortes variations du Nord au Sud et par zone éco-climatique : moins de 10 m³/ha pour les savanes arbustives du Nord, 20 à 40 m³/ha pour la brousse tigrée, 50 à 80 m³/ha pour les forêts de la zone soudano-guinéenne et plus de 100 m³/ha pour certaines forêts galeries et les forêts du Sud-Ouest du pays. La productivité moyenne est de 0,86 m³/ha/an. Elle varie de 1 à 1,5 m³/ha/an en zone soudano-guinéenne à 0,3 et 0,05 m³/ha/an en zone sahéenne et en zone saharienne.

Dans de nombreuses zones, on peut déjà observer une surexploitation du potentiel ligneux sur pied.

D'autre part, les feux de brousse constituent une calamité presque endémique au Mali où ils dévorent chaque année des milliers d'hectares. Ces feux font partie des facteurs les plus importants de la modification des formations naturelles forestières.

Il existe très peu de statistiques sur les feux de brousse. Les seuls chiffres disponibles ont été estimés de 1987 à 1990 à partir d'images SPOT. La superficie brûlée chaque année, entre septembre et mars se chiffre à environ 9 191 400 ha, avec un total de 2 539 400 ha en zone sahéenne sud, 2 620 400 ha en zone soudanienne nord, 2 417 300 ha en zone soudanienne sud et 1 616 200 ha en zone soudano-guinéenne.

De manière générale la dégradation n'est pas uniforme sur l'ensemble du territoire. Au Nord, on observe une progression alarmante du processus de la désertification sur une vaste étendue peu peuplée, avec un risque majeur d'ensablement des vallées et des mares.

Au sud et plus particulièrement autour des centres urbains, la pression sur les ressources encore disponibles s'accroît de manière inquiétante en de nombreux endroits, alors que ce sont celles-ci qui permettent de satisfaire les besoins alimentaires et énergétiques.

Par exemple, le bilan production-prélèvement de bois passerait de 2,7 millions de tonnes en 1994 à 1,7 millions de tonnes en 2005 et 0,8 millions de tonnes en 2010 pour l'ensemble du bassin d'approvisionnement de Bamako.

En conséquence, si aucune mesure significative n'est prise, les besoins en combustibles seront couverts jusqu'en 2008 ; mais au-delà, c'est le capital qui commencerait à être entamé. Déjà il existe des poches de dégradation du couvert forestier et même de la faune dans les alentours immédiats de la ville. Un autre exemple est le cas du Delta intérieur du Niger. Le couvert ligneux de la Région a subi les conséquences de la sécheresse qui font que les espaces qui jadis étaient boisés sont aujourd'hui clairsemés ou remplacés par des herbacés ou par des dunes de sables et des bois morts.

Le tableau suivant résume quelques caractéristiques de la dégradation des écosystèmes au Mali :

Tableau 70 Dégradation des écosystèmes au Mali (source : PANA du Mali)

Pression sur les écosystèmes	Effets
Moyenne annuelle de la diminution de la couverture forestière	100 000 ha/an
Taux de dégradation des forêts	8,30 % (années 1980).
Défrichement pour usage agricole	300 00 à 400 000 ha par an
Accroissement des superficies cotonnières	7% par an entraîne un taux annuel de dégradation des écosystèmes de 8 à 12%
Surfaces défrichées ou fortement dégradées annuellement	50 000 à 150 000 ha
Superficie brûlée annuellement entre septembre et mars	91 914 km ²
Empiètement des aménagements routiers, urbains et des routes, l'extension des villes	50 000 ha sur le domaine forestier national

D. Les sols

La perte moyenne en éléments fertilisant du fait de l'érosion était de 236 FCFA/ha/an en zone sahélienne et de 6 693 FCFA/ha/an en zone soudanienne. La perte de revenus agricoles pour cause d'érosion varie entre 4 239 FCFA/ha/an en zone sahélienne jusqu'à 90 000 FCFA/ha/an en zone soudanienne selon les cultures et des pentes de terrains (Bishop et Allen, 1989).

Le phénomène de l'ensablement est un processus de transport de grains de sable par le vent ou les eaux d'un lieu d'alimentation à un lieu de dépôt. Il est la manifestation la plus spectaculaire de la désertification. L'ensablement est un processus complexe qui combine deux mécanismes différents : le mouvement des masses de sable à l'échelle des particules et les mouvements globaux.

Pour l'économie du Mali, les coûts liés à la dégradation des terres oscillent entre 20,9 et 26,5% du PIB, soient deux fois la dette extérieure du Mali.

E. Le sous-secteur de l'hydroélectricité

Le taux de croissance de la demande d'électricité s'élève en moyenne par an à 12% dont 15% pour les localités alimentées par le réseau interconnecté et 10 à 11 % pour les centres isolés. Cette demande est essentiellement satisfaite, à plus 80%, à partir de l'hydroélectricité dont les ouvrages sont en grande partie des ouvrages de retenue d'eau, dépendant essentiellement de la pluviométrie. Ce sont les centrales de Sélingué et Manantali. Le barrage de Sélingué est situé à 150 Km en amont de Bamako sur le Sankarani et celui de Manantali est un ouvrage réalisé dans le cadre de l'OMVS. Il est situé au Mali sur le fleuve Sénégal et alimente aussi en partie le Sénégal et la Mauritanie en électricité. Une baisse de la pluviométrie entraîne des insuffisances de production qui influenceront négativement la continuité de service d'alimentation en énergie électrique des cent mille abonnés raccordés sur le réseau interconnecté national.

C'est ainsi qu'avec une pluviométrie moyenne, la production d'électricité des ouvrages hydroélectriques en service se chiffre à près de 1007 GWH dont 807 GWH pour la centrale de Manantali et 200 GWH pour la centrale de Sélingué. Par contre, pour les années de faible hydraulité, la production d'électricité de ces deux grandes centrales baisse de plus de 20% par rapport à la moyenne et se chiffre à près de 660 GWH (500 GWH pour Manantali et 160 GWH pour Sélingué).

Le déficit en eau au niveau de la centrale de Sélingué a souvent provoqué des déficits d'approvisionnement sur le réseau interconnecté notamment à Bamako.

F. Le secteur de la santé

L'organisation du système de santé comprend trois niveaux : central qui joue un rôle de conception, intermédiaire ou régional qui joue le rôle d'appui au niveau périphérique et opérationnel qui joue un rôle de planification, programmation et d'exécution des opérations.

Malgré le développement des infrastructures, les conditions sanitaires demeurent bien en deçà des normes internationales.

Pour l'étude des relations entre la santé et le climat, deux maladies ont fait l'objet d'attention. Les maladies concernées sont le paludisme et la méningite qui semblent avoir des liens étroits avec les paramètres climatiques.

a) Paludisme :

L'épidémiologie du paludisme diffère selon les régions éco-climatiques naturelles. Il est saisonnier et stable dans les savanes du Sud et instable dans les zones Sahélo sahariennes.

Au Mali, les vecteurs du paludisme sont essentiellement Anophèle Gambiae, A. Funestus. Quatre espèces sont inféodées à l'homme : Plasmodium falciparum, Plasmodium malaria, Plasmodium ovale, Plasmodium vivax. Plasmodium falciparum est l'espèce la plus redoutable du point de vue morbidité et mortalité en Afrique et particulièrement au Mali (80-90%).

La prévalence du paludisme varie du Nord (4.9% en saison chaude à Ménaka) au Sud (70.2% à Bacoumana, 94.4% à Sikasso) du pays. Le paludisme constitue 34% des consultations avant l'âge de 1 an, 39% entre 1-4 ans.

Le paludisme est responsable de 15.6% de morbidité et 13% de mortalité pour l'ensemble de la population du Mali.

Une élévation de la température aurait pour effet de raccourcir le temps de développement du parasite chez son vecteur, ce qui accroîtrait la capacité vectorielle de l'anophèle. Le réchauffement pourrait donc à la fois augmenter le niveau de transmission en un lieu donné et permettre la transmission dans des régions où elle était auparavant rendue impossible par des températures inférieures, selon l'espèce, à 16 ou 18°C.

Les scénarios climatiques élaborés pour le Mali prévoient une élévation de température de plus de 2°C sur l'ensemble du pays pour la période 2005-2100.

Il pourrait en résulter une extension en latitude de la zone d'endémie palustre. Des craintes sont ainsi permises pour le nord du Sahel.

b) La méningite

On sait depuis longtemps que la chronologie de cette épidémie et sa limitation à la « ceinture de méningite », située entre 10° et 15° de latitude Nord, sont étroitement liées aux conditions climatiques.

Les régions de Sikasso (située en zone soudano guinéenne) et Koulikoro (en zone soudanienne) sont celles où il a été enregistré plus de cas de méningite pendant ces dernières années. Quant aux régions du Nord (habituellement situées hors de la ceinture méningitique), elles se trouvent actuellement frappées par cette pathologie. C'est ainsi qu'à partir de 1999, il a été détecté plus de cas de méningite que d'habitude dans ces régions.

Par exemple, plus de 100 cas de méningite ont été enregistrés dans la région de Tombouctou en 2001 et 2002 et plus de 100 cas dans la région de Gao en 2002.

Cette extension des zones de méningite au Mali pourrait s'amplifier dans le futur, suite à la modification de l'étendue des zones éco-climatiques.

G. Le secteur des infrastructures

Le réseau routier national compte environ 89 024 Km de routes.

Seules 3 387 km de routes sont goudronnées. Cette situation fait que les routes sont très vulnérables aux effets climatiques tels que l'érosion éolienne, l'érosion hydrique et l'ensablement.

Le réseau fluvial international assure deux liaisons : Kayes - Saint-Louis (Sénégal), et Bamako - Kankan (Guinée). Le réseau national concerne la liaison Koulikoro - Gao. Il est beaucoup handicapé par le déficit pluviométrique et l'ensablement du lit des fleuves.

Les habitations et ouvrages hydrauliques (ponts barrages digues etc.) : Suite au déficit pluviométrique, les populations ont pris la mauvaise habitude de construire des habitations dans le lit des cours d'eau. Cette situation a eu pour conséquence des cas d'inondations avec beaucoup de pertes en vies humaines et en matériel. A cause du même déficit pluviométrique, il a aussi été constaté des faiblesses dans le dimensionnement de certains ouvrages hydrauliques comme les ponts, les digues et diguettes et aussi les routes. Cette situation a souvent occasionné des ruptures de ces ouvrages.

Identification des groupes les plus vulnérables : Il ressort de l'analyse des résultats des concertations qu'au Mali, les petits exploitants agricoles et les artisans sont les plus vulnérables par rapport aux impacts des changements climatiques sur les moyens d'existence pendant que les commerçants et les gros exploitants agricoles sont les moins vulnérables. Le choix des activités prioritaires doit tenir compte de ces groupes les plus vulnérables.

5.2.2.3. Mauritanie

Les résultats des études issues de la communication initiale d'une part et les études complémentaires réalisées dans le cadre du PANA d'autre part ont permis aux parties prenantes consultées d'opter pour une approche sectorielle et écosystémique sur la base d'une identification précise des secteurs et écosystèmes vulnérables aux changements climatiques et leurs liens avec les conditions de vie des populations pauvres en général et du monde rural en particulier. Les principaux résultats indiquent une forte vulnérabilité liée, entre autres, à :

- La dégradation des pâturages et la perte du cheptel ;
- La dégradation voire disparition des forêts ;
- La forte dégradation des terres cultivables ;
- Le risque élevé de rupture du cordon dunaire du littoral ;
- La diminution des ressources en eau.

Les effets des changements climatiques sur l'évolution de l'économie du pays peuvent se mesurer à travers l'évolution des secteurs et sous-secteurs les plus vulnérables, à savoir l'agriculture, l'élevage, les forêts, mais aussi la pression sur la ressource en eau tant pour les besoins humains que pour les autres besoins (bétail, irrigation, etc.).

Ces secteurs et sous-secteurs correspondent pour l'essentiel au monde rural. Un monde rural qui, bien que représentant 45% de la population du pays et 56% de la population active, comprend plus de 76,5% de la population pauvre et ne contribue qu'à hauteur de 26% du produit national brut.

En effet, les systèmes de production, tant au niveau de l'agriculture que de l'élevage, ont connu une très forte régression du fait de leur dépendance quasi totale des conditions climatiques, qui se sont largement détériorées lors des dernières décennies.

Chacun des stress climatiques a conduit à des impacts plus ou moins importants sur les sources de subsistance des populations et leur environnement.

La forte baisse de la pluviométrie, par exemple, a eu pour conséquences, entre autres, la perte du cheptel, et ce de façon plus marquée au niveau des espèces les moins « sédentarisables » (élevage extensif), l'exode rural massif des éleveurs et leur sédentarisation, la baisse de la production agricole, particulièrement de celle sous pluies, et l'immigration massive des agriculteurs. Ainsi, en cas de non amélioration de la situation (évolution positive de la pluviométrie et/ou mise en œuvre de mesures d'atténuation/adaptation), le sous-secteur de l'élevage qui représente près de 67% du PIB du secteur rural et 12% du PIB national ira en se détériorant, ce qui se traduira par :

- un faible taux de croissance de ce sous-secteur, soit 2,6% ;
- un bilan fourrager déficitaire en 2015 de – 669 734,8 T de matière sèche (MS), alors qu'il était auparavant positif.

5.2.2.4. Sénégal

Le PANA rapporte que l'analyse de la vulnérabilité, aux fins d'adaptation aux changements climatiques, des principaux secteurs économiques du Sénégal a débuté en 2003 et s'est principalement focalisée sur les ressources en Eau, l'agriculture et la zone côtière.

a) *Vulnérabilité des ressources en eau*

Le secteur des ressources en eau, a fait l'objet d'une étude approfondie (Malou R., Dacosta H. et al. 1999) qui le classe parmi les secteurs les plus sensibles aux mutations du climat et ceci malgré le potentiel de ressources hydriques relativement important de l'ordre de 35 milliards de m³/an dont dispose le pays.

De plus, les recherches menées, au Sénégal, sur la base de scénarios d'émission de GES prédisent un réchauffement de l'ordre de 2 à 4°C, une baisse de la couverture nuageuse de 5 à 10% et, corrélativement, une baisse de la pluviométrie de 5 à 25 % (Gaye C. B. 1986; Malou R., Dacosta H. et al. 1999).

Les aléas climatiques influent fortement les écoulements de surface avec une relation non linéaire entre pluviométrie et apports. L'impact du climat sur les ressources en eaux souterraines s'affirme à deux niveaux :

- à l'échelle saisonnière où les potentiels hydrostatiques sont affectés par des fluctuations sinusoïdales de grande ampleur ;
- à l'échelle interannuelle où l'on note une baisse continue des niveaux piézométriques de base indiquant une nette tendance à l'épuisement des stocks au cours de la période de déficit pluviométrique.

Le mouvement interannuel d'épuisement des stocks d'eaux souterraines, perceptible à l'échelle du pays, est le fait de la prédominance du processus de décharge pendant les années de déficit pluviométrique. Dans l'exemple de la nappe phréatique du littoral Nord cette baisse est comprise entre 5 et 10 m. Elle est plus forte au Sud du pays où elle est comprise entre 15 et 20 m.

b) Vulnérabilité du secteur de l'alimentation en eau potable

Alors que les ressources en eau sont menacées par les changements climatiques, la demande en eau augmente.

La région de Dakar se caractérise par une très forte demande en eau et un contexte géographique assez défavorable. La presqu'île du Cap- Vert où est située Dakar, la capitale, est entourée par les eaux marines. Elle abrite une population de plus de 2 millions d'habitants. Dans le cas d'un taux d'accroissement moyen de 2 %, cette population avoisinera les 3,6 millions d'habitants en 2030 (tableau ci-dessous). La satisfaction des besoins en eau pour cette population est un problème quasi permanent pour le Sénégal. Avec la concentration de l'essentiel des activités industrielles et horticoles dans la région de Dakar, les besoins en eau augmentent très rapidement et dépassent l'offre très souvent. Les déficits atteignaient des pointes de plus 100 000 m³ par jour en 1996. La recherche de solutions à ces problèmes absorbe toujours une grande partie des investissements publics. L'atteinte des objectifs du millénaire pour le développement (initialement à l'horizon 2015) requiert de nouveaux investissements pour l'eau et l'assainissement, estimés à 515 milliards FCFA dans le cadre du Programme National d'Eau Potable et d'Assainissement du Millénaire (PEPAM).

La ville de Dakar a été alimentée à partir des forages et puits captant les nappes superficielles et la nappe infra-basaltique situées à Dakar et dans ses environs immédiats, le long de la « Route des Puits » et de « la zone de captage ». Les prévisions d'augmentation de la demande sont basées sur les hypothèses d'augmentation de la population et sur le suivi des volumes effectivement facturés.

Tableau 71 – Prévisions d'augmentation de la population et de la consommation d'eau à Dakar

Année	2000	2010	2020	2030
Population (taux de croissance estimé à 2,0%)	2 132 000 habitants	2 696 000 habitants	3 220 000 habitants	3 674 000 habitants
Estimation consommation	134 918 m ³	175 240 m ³	209 300 m ³	238 810 m ³

Les prévisions d'évolution de la demande en eau dans les régions ont été réalisées pour « le plan d'investissement de l'hydraulique urbaine 2001-2010 ». Elles sont basées sur la croissance démographique, le taux de desserte (100% en 2005 et 100% par branchements particuliers en 2020) et des dotations en eau. Aux horizons 2020, les prévisions de facturation seraient d'environ 228 044 m³ par jour (figure ci-dessous).

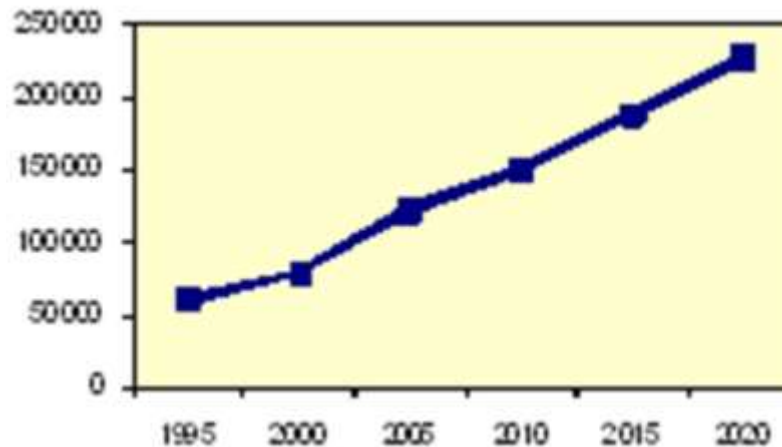


Figure 98. Evolution de la demande en eau dans les régions (axe des ordonnées : prévision de facturation en m³)

Le Sénégal a réalisé de ce fait de très grands efforts. Le taux de desserte des populations est passé de 7 litres par jour par habitant en 1981 à 28 litres par jour par habitant en 2009. Le taux de couverture des besoins en eau en milieu rural est d'environ 64%.

Il n'en demeure pas moins que ce secteur reste très vulnérable aux effets du changement climatique, d'autant que les nappes sont surexploitées. Les prélèvements actuels sur les nappes côtières sont très élevés et concentrés dans un domaine très limité. Près de 65 millions de m³ par an (175 000 m³/ jour) sont pompés dans le secteur du horst de Ndiass et de ses environs. Cette situation se traduit par la baisse progressive du niveau de la nappe.

c) Vulnérabilité du secteur de l'agriculture

Sur le plan agricole, le Sénégal dispose de ressources en sols non négligeables. L'espace agricole est dominée par la culture de l'arachide et du mil dans le bassin arachidier, suivi de l'élevage extensif en zone sylvo-pastorale. Les cultures vivrières et forêts du Sud-Est viennent ensuite et précèdent les cultures de décrue, le long de la vallée du fleuve Sénégal, et la zone de culture du coton qui épouse les contours de la moitié Est du territoire gambien. La riziculture traditionnelle se localise dans le bassin versant du fleuve Casamance, tandis les cultures irriguées sous forme de périmètres sont localisées dans le Delta et la Moyenne vallée du fleuve Sénégal et dans la cuvette de l'Anambé au Sud. Les cultures irriguées horticoles sont principalement localisées dans la zone des Niayes.

Malgré ses fortes potentialités, l'agriculture sénégalaise reste tributaire de la pluviométrie et de ses variations.

On peut s'attendre aussi à ce que les changements climatiques liés au réchauffement de la terre contribuent à une accélération de la dégradation des sols consécutive à la disparition de la végétation confrontée à un déficit en eau de plus en plus important. L'absence ou la raréfaction de la couverture végétale rend les sols vulnérables aux effets érosifs du vent et de l'eau. Les sols sénégalais ont été cultivés pendant des décennies sans une correcte restauration de leur fertilité par une utilisation inappropriée des engrais minéraux et organiques, ceci a conduit à une forte minéralisation et à une perte rapide de leur teneur en matière organique.

La vulnérabilité se situe aussi dans la faible capacité de régénération des essences forestières sous l'effet conjugué de la péjoration des conditions climatiques et de la pression anthropique.

La vulnérabilité actuelle est surtout liée à la forte dépendance de l'agriculture sénégalaise d'une pluviométrie qui se raréfie au cours du temps et dont la variabilité interannuelle est difficilement prévisible. Aux causes biophysiques de la vulnérabilité, il convient d'ajouter une cause démographique résultant de la paupérisation du monde rural. Pour faire face à la baisse de la

productivité des sols et à la croissance des besoins énergétiques, une plus forte pression des hommes est exercée sur les ressources naturelles fragilisées par le climat.

Si les tendances actuelles du réchauffement se poursuivent, les performances de l’agriculture sénégalaise en seront davantage affectées, car une hausse des températures combinée à une diminution de la pluviométrie aggravera le déficit hydrique des végétaux qui se répercutera sur les rendements et la production de biomasse. Une diminution de la biomasse entraînera une plus grande vulnérabilité des sols à la dégradation, qu’elle soit physique, chimique ou biologique.

d) Vulnérabilité des zones côtières

Les principaux problèmes environnementaux que connaissent les côtes sénégalaises sont liés plus ou moins directement à des paramètres climatiques, les plus importants étant : les inondations, l’érosion côtière, la salinisation des eaux et des sols, la dégradation des mangroves et les variations des ressources halieutiques (Niang-Diop, 1994).

Les inondations sont un phénomène récurrent dans les principales villes du Sénégal. Elles sont reconnues comme un problème urbain (rapport sur l’Etat de l’environnement, CSE, 2005) et se produisent dans les points bas des zones urbaines et pendant la saison des pluies. Alors qu’à Saint-Louis elles sont également associées aux crues du fleuve, ailleurs, elles sont uniquement liées aux précipitations.

Dans le cas de la ville de Saint-Louis, les inondations sont également liées à des problèmes de gestion du fleuve Sénégal. Les endiguements, les différents aménagements hydro-agricoles dans le lit majeur, l’absence de dragage sont considérés comme des facteurs aggravants des inondations.

Les phénomènes d’érosion côtière affectent presque toutes les grandes villes côtières du Sénégal. Ils se traduisent par des destructions d’infrastructures et de bâtiments pouvant nécessiter des relocalisations. Les taux de recul de la ligne de rivage observés varient mais se situent en moyenne entre 1 et 2 m par an pour les plages sableuses.

Il faut noter que les problèmes d’érosion côtière pourraient être fortement relativisés si les activités humaines étaient mieux réglementées : respect de la loi sur le domaine public maritime avec interdiction de constructions permanentes, réglementation des prélèvements de sable sur les plages, études d’impact environnemental pour tous les projets situés en zone littorale.

Le Sénégal est confronté à une invasion, par les eaux marines, des fleuves, des nappes phréatiques et des sols.

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux éléments de vulnérabilité (en rouge) des zones côtières sénégalaises.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 72 – Vulnérabilité des zones côtières sénégalaises avec, en rouge, les principaux éléments de vulnérabilité (source : PANA)

Zones vulnérables	Vulnérabilité physique	Vulnérabilité biologique	Vulnérabilité économique
Delta du Saloum	Zones basses Flèche littorale Zone d'érosion	Mangroves Zone protégée Tortues Lamantin	Infrastructures de pêche Infrastructures touristiques Ville importante Port
Fleuve Sénégal	Zones basses Flèche littorale Zone d'érosion	Zones protégées de nurseries/reproduction Mangroves Niayes	Ville importante Infrastructures de pêche Infrastructures touristiques
Petite Côte	Zones d'érosion Flèches littorales Zones basses Débouchés de marigots	Zones de nurseries/reproduction Mangroves Zone protégée Tortues	Infrastructures touristiques Infrastructures de pêche Ville importante
Estuaire Casamance	Zones basses Flèche littorale Zone d'érosion	Mangroves Zone protégée de nurseries/reproduction	Infrastructures touristiques Infrastructures de pêche Port Ville importante
Presqu'île Cap Vert	Zones en érosion Zones inondables	Zones de nurseries/reproduction Zone protégée	Villes importantes Grand port Infrastructures de pêche
Les Niayes	Zones inondables	Niayes	Infrastructures de pêche

5.2.3. Evaluation de la vulnérabilité au changement climatique du BFS

Globalement, il est admis que le réchauffement de la terre conduira, d'une part, à des étiages plus sévères, et d'autre part à des crues plus importantes. Au niveau annuel, la combinaison de ces deux aspects peut se traduire par des effets contrastés allant de la diminution des apports à leur augmentation en passant par le maintien du statu quo. La variabilité et les changements climatiques sont supposés être les principaux facteurs de telles modifications, induisant la baisse des précipitations et des débits, l'augmentation des inondations, la perte de la biodiversité fluviale, etc. En revanche, l'écosystème du BFS subit aussi les effets de facteurs non climatiques tels que : la surpêche, les mauvaises pratiques de pêche, la pollution par l'agriculture irriguée, la mauvaise exploitation des ressources, l'urbanisation et la surpopulation. Ainsi, la combinaison des facteurs climatiques et non climatiques accroît la pression sur les dégradations dans ces milieux. En ce qui concerne le BFS, les impacts de la variabilité et du changement climatiques sont bien visibles et perceptibles. Plusieurs travaux scientifiques dans le domaine des changements climatiques, de la vulnérabilité dans les bassins hydrologiques de fleuves africains à travers des activités de pêche, d'agriculture, de pastoralisme, de production hydroélectrique ont confirmé ces impacts.

De façon générale, l'environnement du bassin, en particulier les zones à haute valeur de biodiversité, fait l'objet de pressions et menaces diverses, suite à une conjonction de facteurs tels que le changement des conditions hydro-climatiques et la forte croissance démographique. A cela s'ajoute le besoin d'amélioration des conditions de vie dans le bassin, une des régions les plus pauvres du monde.

La diminution des volumes d'eau dans le fleuve Sénégal et le développement d'infrastructures de gestion de la ressource en eau va modifier le régime hydrologique du fleuve. Ces modifications peuvent avoir des conséquences importantes sur les écosystèmes du bassin du fleuve.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

L'une des principales causes de perturbation des écosystèmes aquatiques est l'arrêt de la crue annuelle. En effet, la priorité donnée à l'hydroélectricité et la diminution importante des débits va conduire à une régression du soutien de crue, voir à sa disparition. Or la crue annuelle est essentielle au bon fonctionnement naturel de l'écosystème fluvial. Elle permet d'entretenir le lit majeur de la rivière, de fertiliser les terres de décrues, de recharger les nappes souterraines et les marigots, de favoriser la reproduction des poissons dans les zones de frayères.

Pour chacune des zones vulnérables, nous avons analysé leur vulnérabilité aux changements climatiques.

- **La tête de bassin (Guinée) :** Les principales menaces sur cette partie Guinéenne du bassin sont :
 - La pression démographique croissante accélérant la déforestation au profit de terres agricoles et la dégradation des sols ;
 - La diminution des précipitations, impactant l'agriculture pluviale, principale forme d'agriculture en termes de superficie ;
- **La partie amont (Mali) :** la principale pression sur cette région est une pression anthropique liée à l'accroissement de la population et la volonté de développement de cette région. La diminution des précipitations et l'augmentation des températures vont augmenter les conflits sur l'utilisation de la ressource, principalement avec les producteurs de coton. De plus, cette diminution des eaux de surface va accélérer la déstabilisation des berges et du lit de la rivière, pouvant avoir des conséquences importantes pour la gestion des barrages réservoirs.
- **La Falémé :** le développement du secteur minier va accentuer les conflits de gestion de l'eau et les risques de contamination de l'eau. Sur la Falémé, les prévisions de volumes d'eau sont moitié moins que les volumes actuels. Cette zone du bassin va donc nécessiter une attention particulière en termes de gestion de l'eau et de proposition de mesures d'adaptation.
- **L'aval :** L'urbanisation croissante et le développement de périmètres irrigués va pousser les populations à s'installer de plus en plus proche du lit majeur du fleuve. Malgré les diminutions importantes de débit du fleuve Sénégal, on peut supposer une augmentation des événements extrêmes comme les inondations. L'urbanisation incontrôlée, toujours plus proche du fleuve, va donc augmenter la vulnérabilité des populations de la plaine aux risques d'inondations et aux maladies liées à l'eau. La modification du régime hydrographique, due à la construction de barrages-réservoirs et la diminution des débits liés au changement climatique a profondément diminué le niveau des crues annuelles et permet un soutien constant du débit d'étiage, favorisant le développement de végétaux aquatiques et des maladies hydriques. La baisse des débits de pointe va diminuer la recharge des nappes souterraines et des marigots par le fleuve. L'assèchement des marigots va avoir d'importantes conséquences sur les écosystèmes aquatiques de la plaine, surtout pour les forêts de gonakiers, vivant le long du fleuve. La prolifération des végétaux aquatiques va provoquer des incidences écologiques et socioéconomiques importantes. Cette prolifération sera favorisée par les faibles précipitations et l'augmentation des températures.

5.3. ANALYSE DES IMPACTS POTENTIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES GRANDS SECTEURS ECONOMIQUES ET LES ECOSYSTEMES (T2.6)

5.3.1. Evaluation de l'impact sur les grands secteurs économiques

L'agriculture, l'élevage, la sylviculture et la pêche sont des activités importantes dans les économies du Bassin, comme déjà souligné supra.

En Guinée, pour l'année 2013, l'agriculture, l'élevage, la chasse et les activités annexes représentent 18% du PIB aux prix courants.

Au Mali, le poids de l'agriculture dans le PIB est encore plus marqué puisqu'il représente en 2014, 22.8%. L'élevage arrive en 2e position avec 7.9%, de la sylviculture (3.99%) et de la pêche avec seulement 0,59%.

En Mauritanie, l'élevage représente en 2014, 20% du PIB et l'agriculture dont la sylviculture et l'exploitation forestière 5% et la pêche 2.5%

Au Sénégal, pour l'année 2014, l'agriculture représentait 6.6% du PIB, suivi de l'élevage avec 4.6%, de la pêche (1.4%) et de la sylviculture avec 0.90%.

La revue bibliographique ne nous a pas permis de disposer de la situation sectorielle de cet agrégat dans la zone spécifique du BFS.

5.3.1.1. Agriculture

L'économie du BFS reste dominée par l'agriculture dont on distingue 4 types principaux : l'agriculture pluviale –Haut-bassin en raison de la bonne pluviométrie, l'agriculture de décrue (concentrée dans la vallée et le delta), le maraîchage (partout) et l'irrigation qui s'est développée avec une meilleure maîtrise de l'eau (barrages de Manantali et de Diama) dans le but de réduire la vulnérabilité aux déficits pluviométriques.

L'agriculture traditionnelle est surtout concernée par les trois types: l'agriculture pluviale avec comme principales spéculations le riz, l'arachide, le mil, le maïs; elle est pratiquée sur les plaines et les plateaux pendant l'hivernage ; l'agriculture de décrue généralement pratiquée dans la vallée et le delta du fleuve Sénégal; le maraîchage qui est pratiqué dans la plupart du temps comme activité résiliente, par des organisations communautaires de base (surtout les GPF) dans le but de lutter contre la pauvreté.

Les impacts du changement climatique et la forte croissance démographique, vont augmenter les pressions exercées par le secteur de l'agriculture sur l'environnement et la ressource en eau. Les pressions accentuées sont :

- L'érosion et la dégradation des terres suite au défrichage, au déboisement et à l'agriculture sur brûlis pour l'expansion des terres agricoles ;
- La baisse de la qualité des eaux, due à une pollution par les produits chimiques utilisés et à l'érosion des sols qui favorise la charge solide des eaux de surface ;
- La salinisation des sols et l'eutrophisation des eaux, due à la diminution de débits en aval du bassin et à la déforestation ;
- Une augmentation des niveaux de prélèvements accentuant les pressions sur les écosystèmes et avec les autres usages.

Le changement climatique peut également affecter le cycle végétatif des cultures et ainsi décaler les périodes de récolte et de semis. L'augmentation de la température et de l'évaporation va augmenter les besoins en eau des cultures et ainsi accentuer encore plus les besoins de prélèvements.

Les trois types d'agriculture sont aujourd'hui confrontés à des difficultés qui semblent être renforcées par les changements climatiques.

En effet, la baisse tendancielle de la pluviométrie constatée partout ailleurs, le décalage du calendrier agricole (démarrage tardif de l'hivernage et donc des semis, fin précoce des pluies), les pauses pluviométriques longues, la hausse des températures diurnes et/ ou les épisodes de froid anormaux, le comblement des cours d'eau et des retenues, le déboisement qui entraîne la dégradation des sols, l'augmentation de la force des vents et de l'ensoleillement, l'apparition d'espèces envahissantes au niveau de certains axes hydrauliques (VFS) et la prolifération d'insectes nuisibles, ont entraîné, toutes choses égales par ailleurs et en fonction des zones, des impacts négatifs sur l'agriculture.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Ces impacts s'apprécient en termes de baisse des rendements et de baisse des superficies emblavées, de diminution progressive de la part dans les productions totales de certaines spéculations traditionnellement importantes dans l'alimentation de base des communautés (fonio dans certains BV de la Guinée et du Mali ; sorgho, maïs et mil dans la VFS). Les sinistres dus aux inondations et aux crues sont devenus plus fréquents. La diversification des cultures, stratégie qui permet d'anticiper sur l'insécurité alimentaire est soumise, par endroits, à la domination de la culture du riz qui, pour être rentable a besoin d'intrants que le producteur moyen a du mal à financer sans recours à un appui extérieur. De nombreux paysans, particulièrement dans la VFS, sont aujourd'hui endettés au moment même où les risques de sinistres se sont accrus, que les récoltes de céréales suffisent rarement à satisfaire aux besoins des ménages.

La pratique de maraîchage aux abords des cours d'eau ou par le forage de puits, activité dominée par les femmes, est particulièrement impactée négativement par la baisse de la pluviométrie à cause de ses effets sur la disponibilité de l'eau, sur la lourdeur de l'exhaure, sur les superficies exploitées et sur les rendements. Or, la contribution de cette activité, dans la sécurité alimentaire des ménages et dans l'accroissement des revenus des femmes est établie. Dans la VFS, particulièrement dans certaines parties, la pratique de la double culture du riz grâce aux possibilités offertes par les aménagements a eu pour conséquence d'exclure la possibilité du maraîchage de contre-saison jadis pratiqué par les femmes sans que ces dernières aient toujours la possibilité de disposer de terres de substitution.

S'agissant des jeunes, il est connu que les impacts négatifs de la baisse de la pluviométrie et de la sécheresse ont conduit cette frange de la population -bras valides- à désertier leur terroir pour émigrer vers les villes ou vers des pays étrangers.

Tous ces phénomènes constatés devraient se poursuivre dans le futur et même s'accroître si des réponses appropriées ne sont pas mises en œuvre.

L'impact des CC sur l'agriculture, même dans les hypothèses les plus optimistes, devrait se traduire, sur le plan macro-économique, entre autres par :

- La baisse des productions agricoles consécutive à la baisse des superficies cultivées et à celle des rendements ;
- La baisse de la valeur ajoutée globale et de celle de ce secteur, la baisse de la contribution de ce secteur au PIB ;
- La baisse des emplois dans ce secteur et donc la hausse du chômage si une reconversion adéquate n'est pas proposée ;
- La hausse des importations de céréales et des produits alimentaires et donc une dépendance accrue vis-à-vis de l'extérieur ;
- L'augmentation des prix des céréales importées quand on pense que les CC sont un phénomène mondial ;
- La paupérisation des ménages dont l'agriculture constitue la source principale de revenus ;
- La famine et la malnutrition dans les ménages les plus vulnérables ;
- L'émigration et/ou l'exode rural.

Les impacts d'une telle situation dépassent largement le cadre sectoriel des secteurs économiques pour interpellier directement les politiques de bonne gouvernance et d'équité pour les générations futures.

A. En Guinée

Selon le PANA (juillet 2007), en Moyenne et Haute Guinée (zones nord-ouest et nord-est du pays), le réchauffement sera de l'ordre de 0,3 à 2,2°C (sensibilité 1,5°C) ; de 0,4 à 3,3°C (sensibilité 2,5°C) et de 0,5 à 4,8°C (sensibilité 4,5°C).

L'élévation de température sera accompagnée de changements dans la répartition et le volume des précipitations sur l'étendue du territoire. Ces changements pourraient atteindre 36,4 % de la

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

normale actuelle à partir de 2050 et 40,4 % en 2100. Cette baisse drastique des précipitations aura des impacts importants sur les ressources en eau (eaux de surface et souterraines) et les principaux secteurs socioéconomiques du pays.

Les régions situées au Nord-Ouest et Nord-Est du pays connaîtront une diminution des précipitations de 31 % de la moyenne actuelle à partir de 2050 ; cette baisse se poursuivra et atteindra les 40 % à l'horizon 2100.

Toujours selon le PANA, toutes les régions de la Moyenne Guinée sont soumises aux risques climatiques suivants : sécheresse, forte insolation (particulièrement zone de Koundara et Gaoual), inondations, perturbation du régime pluviométrique et pluies orageuses.

Le risque de sécheresse, jugé important en moyenne Guinée engendrera les impacts négatifs sur l'agriculture à travers :

- l'assèchement des terres, des cours d'eau et des mares ;
- l'ensablement des lits des cours d'eau ;
- la dégradation des têtes de sources ;
- l'étiage prononcé des grands cours d'eau ;
- la baisse de rendement des sols ;
- les pertes de récolte ;
- la prolifération des maladies et des ennemis des plantes ;
- les pénuries d'eau ;
- la recrudescence des feux de brousse.

On constate donc que le secteur agricole sera fortement impacté de manière négative.

B. Au Mali

La section 5.2.2.2 du présent rapport de diagnostic sur l'analyse de la vulnérabilité du Mali face aux changements climatiques aborde des aspects liés à l'agriculture en termes de déficit en eau ; de pertes de production et de rendements pour certaines spéculations-clés.

L'analyse faite de la vulnérabilité du Mali face aux effets néfastes du changement climatique (cf. section 5.2.2.2 supra) montre que l'agriculture sera négativement impactée.

Les prévisions de baisse des rendements et donc des productions des cultures céréalières, base de l'alimentation renforce les risques d'insécurité alimentaire d'une proportion importante de la population dont l'agriculture constitue la principale source de revenu par ailleurs. L'étude d'impact du PGIRE I et d'établissement de la situation de référence du PGIRE II (Groupement AIDF/CSE/CRDES ; 2017) a estimé la proportion actuelle des ménages à risque d'insécurité alimentaire (consommation par équivalent adulte inférieure à 2 400 Kcal/EA/jour) à 58% sur la partie malienne du BFS. Sur l'ensemble du BFS, cette même étude évaluait la part des revenus agricoles des ménages à 59,4% de leurs revenus moyens.

C. En Mauritanie

La croissance du PIB était de 5,7% en 2013 (ONS) et la part de l'agriculture (y compris l'élevage) se situait à 17% (MAED). La Mauritanie, devrait connaître une forte exposition socio-économique et écologique aux impacts du changement climatique, selon les scénarii contenus dans la Troisième Communication Nationale (2014), On s'attend (i) à une hausse de +2.1 °C de la température moyenne annuelle sur l'ensemble du pays à l'horizon 2050 et à +4.5° à l'horizon 2100 et (ii) à l'horizon 2100, à une baisse du volume annuel des précipitations de 20% selon les régions à 70% dans l'Adrar par rapport à la situation actuelle.

Par ailleurs, il est attendu une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes de sécheresse et d'inondation et des perturbations de la répartition saisonnière des précipitations.

Cette situation aura des impacts significatifs sur les ressources en eau par une baisse générale de l'ordre de 10 à 15%, avec plusieurs conséquences dont le dérèglement du régime des oueds et une réduction de la capacité de remplissage des barrages à cause des précipitations concentrées et l'envasement accéléré des barrages par érosion hydrique dans les bassins versants fortement dénudés.

Il est alors évident que le secteur agricole en sera impacté négativement.

D. Au Sénégal

Des différents travaux, il ressort un consensus selon lequel les modifications constatées des températures, de la pluviométrie et des caractéristiques des surfaces de la mer s'inscrivent dans une dynamique de continuité.

De façon générale il est observé une forte augmentation des températures minimales alors que les températures maximales ont subi une légère augmentation. Les prévisions indiquent une variation moyenne de +1,1 à 1,8 degré Celsius à l'horizon 2035 (Données de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie - ANACIM).

La plupart des modèles s'accordent à reconnaître qu'il y aura une augmentation des températures maximales et minimales de l'ordre de 2°C à 5° C (DEEC, 2010 ; GIEC, 2014 ; Gaye 2010). Cette variation serait plus marquée dans le Nord du Sénégal à l'horizon 2050 (USAID, 2014), ce qui correspond au BFS.

Pour la pluviométrie, l'analyse de l'évolution moyenne montre (i) une diminution des précipitations de 1951 à 2000 sur les zones de référence dont Podor, (ii) des tendances futures prévoyant la poursuite de cette tendance à l'horizon 2035 avec des épisodes extrêmes qui vont varier entre - 30% et +30%.

Des études ont aussi montré que l'installation de la saison humide est de plus en plus tardive partout au Sénégal et que les périodes sèches sont devenues fréquentes pendant la saison humide (Diop, 1996 ; Salack, 2012). Ces phénomènes rendent particulièrement vulnérable l'agriculture pluviale et perturbent considérablement la carte variétale.

En se basant sur les prévisions de baisse pluviométrique, les rendements des cultures pluviales seraient négativement impactés à l'horizon 2035. En considération des différents scénarii de changements climatiques, la baisse des rendements pourrait atteindre 50% en scénario sec, notamment à Bakel (Diop, 2014),

Ces impacts constatés et prévus du changement climatique vont affecter les réserves hydrauliques (la baisse des précipitations et l'augmentation de l'évapotranspiration vont entraîner une baisse de plus de 50% du débit des fleuves Sénégal et Gambie, un assèchement du Ferlo et des vallées associées, une baisse générale du niveau des nappes, l'assèchement des rivières continentales et autres plaines d'inondation et la salinisation des eaux douces et des terres de culture dans les biefs maritimes). Ils vont aussi affecter l'agriculture pour laquelle l'effet conjugué de la diminution de la pluviométrie et de l'augmentation de la température affectent négativement les rendements agricoles et la productivité du secteur de l'élevage. La réduction attendue de la surface des terres agricoles aura pour conséquence la baisse de 30% de la production céréalière à l'horizon 2025.

Dans le cas de la riziculture dans la VFS, la sécheresse qui résulte d'une succession d'années sèches impacte sur la disponibilité de l'eau et réduit ainsi les possibilités pour l'irrigation et les autres usages (besoins domestiques, abreuvement du bétail, besoins environnementaux). Par contre en année très pluvieuse, il se pose le plus souvent un problème de gestion de l'excès d'eau.

Les conséquences du réchauffement climatique sont, pour le riz dont l'essentiel de la production se fait dans la vallée du fleuve Sénégal, une baisse des rendements. Pour cette plante, un dommage

permanent affectant seulement le mécanisme reproductif de la plante réduit le rendement en grain d'environ 10 % pour toute élévation d'1°C de la température entre 30°C et 40°C durant la floraison (IRRI, 2004). Les modèles sur le riz indiquent par ailleurs qu'une augmentation de 4 °C peut entraîner une perte de rendement de 40 % (IRRI, 2004).

5.3.1.2. Elevage

Le secteur de l'élevage occupe une place très importante dans la vie des populations du BFS. Il constitue une source de revenus non négligeable pour les ménages. C'est un secteur qui subit aujourd'hui les effets des changements climatiques. Il est développé différemment dans les communautés selon la zone géo-écologique. Le type d'élevage pratiqué dans le BFS dépend beaucoup de la catégorie sociale. L'élevage extensif était généralement pratiqué par les Peulhs avec d'importants troupeaux de bétail. Dans les ménages, un élevage intensif est développé comme une stratégie développée pour faire face à certains besoins élémentaires.

L'élevage connaît également beaucoup de contraintes liées à la forte diminution de la pluviométrie et des difficultés que connaît le secteur de l'agriculture. Les dix dernières années, les éleveurs ont traversé des moments extrêmement difficiles avec des démarrages tardifs de l'hivernage et des pauses pluviométriques souvent prolongées. Les zones de pâturages sont ainsi devenues très pauvres dans la plupart des zones pastorales et agropastorales du BFS rendant précaires les conditions d'élevage dans les différents pays.

Le consensus se dégage sur les impacts négatifs des changements climatiques qui se traduiront par une baisse de la productivité du cheptel en raison des prévisions de sécheresse récurrentes impactant sur la disponibilité du fourrage et des points d'eau nécessaires à l'abreuvement mais aussi sur la santé animale. Aussi, les conséquences d'une telle situation rendraient l'accès à la viande et au lait plus difficile par une hausse des prix d'achat, augmentant ainsi le risque d'insécurité alimentaire.

5.3.1.3. AEP et Industries

Concernant l'AEP, les principales sources d'approvisionnement sont les eaux de surface et les eaux souterraines. Les scénarii sur les changements climatiques prévoyant une sécheresse plus marquée et des impacts négatifs sur les ressources en eau, il est fort probable que, dans un environnement de croissance démographique importante et soutenue, les demandes en eau futures des populations puissent connaître des difficultés à être satisfaites.

La croissance démographique, l'exode rural et le développement des infrastructures de distribution d'eau potable augmentent considérablement les besoins en eau pour l'AEP. Or l'approvisionnement en eau des populations du bassin est un objectif prioritaire en terme de développement des pays de l'OMVS. La diminution des débits de surface et des nappes phréatiques va donc obliger les Etats à diminuer les prélèvements ou à développer des infrastructures de transferts, de distribution et de traitement des eaux plus performantes.

Le secteur minier va connaître un boom important durant les prochaines années, augmentant de près de 20 fois ses besoins en eau. Ce développement va poser des problèmes en termes de quantité et de qualité des eaux. De plus, la pression de prélèvement du secteur se situe pour une bonne part sur la Falémé, où les débits sont particulièrement sensibles aux variations climatiques.

S'agissant des industries, la zone du bassin en est très peu pourvue pour l'instant. Certaines parties du Bassin recelant plusieurs minerais, leur exploitation industrielle pourrait connaître un développement, surtout avec la mise en œuvre de plusieurs projets de désenclavement dont le projet de navigation du fleuve Sénégal de l'OMVS. Les impacts des CC sur ce secteur pourraient se ressentir au niveau de la couverture de leur demande en eau douce.

5.3.1.4. Pêche

La pêche connaît des difficultés jusqu'à disparaître dans certaines zones du Mali et de la Guinée où les cours d'eau ont complètement tari ou bien sont ensablés. Cette diminution va donc impacter

le secteur de la pêche avec une diminution importante de la faune piscicole. Une telle situation rend difficile l'accès aux ressources halieutiques. Le poisson est non seulement devenu rare, mais il coûte très cher et n'est donc pas à la portée de toutes les bourses.

La pêche artisanale qui constitue une activité importante dans le BFS est déjà confrontée à des contraintes importantes. Elle sera impactée négativement par les CC avec une réduction de la productivité des pêcheries.

En Mauritanie, le PNA indiquait notamment que « le sous-secteur de la pêche continentale (fleuve Sénégal) fait face à certaines contraintes d'ordre climatique et autres : (i) Baisse de la production, (ii) variation des paramètres physicochimiques, (iii) problèmes de pollution (pesticides) du fleuve Sénégal, (iv) effets anthropiques (barrage), (v) ensablement des mares et des plans d'eau, (vi) difficultés d'accès à la ressource en raison des plantes envahissantes, (vii) irrégularité du régime du fleuve due aux barrages, (viii) conflits entre les populations autochtones et /allochtones ».

5.3.1.5. Navigation

La diminution des précipitations a fortement impacté les cours d'eau dans le BFS rendant difficile la navigation. Jadis, le transport inter pays se faisait en grande partie par bateau ou par pirogue.

L'ensablement progressif des cours d'eau et la sécheresse risquent d'handicaper cette activité.

5.3.1.6. Energie

La production d'électricité est une des principales priorités des Etat membres de l'OMVS. Cette activité ne consomme pas d'eau mais nécessite un débit minimum garanti toute l'année et une certaine hauteur d'eau dans le réservoir. Les objectifs de production vont donc orienter les règles de gestion des barrages. Le développement de la production hydroélectrique va permettre un développement du bassin mais va également impacter le régime hydrique du fleuve et ajouter des contraintes pour certains usages de l'eau comme les crues artificielles.

La construction de deux nouveaux barrages réservoirs sur le BFS est actuellement prévue pour 2025, un sur le Bafing et un sur la Falémé. Ces barrages vont améliorer les capacités de gestion de la ressource en eau sur le BFS. Cependant, la taille des réservoirs a été calculée à partir des données hydrologiques actuelles. Or la diminution des volumes annuels d'eau va impacter sur le remplissage et/ou la productivité des barrages.

De plus, les réservoirs vont être impactés par l'augmentation des températures. En effet, cette augmentation va entraîner une augmentation de l'évaporation à la surface des réservoirs et donc des pertes d'eau plus importantes.

5.3.1.7. Exploitation forestière

S'agissant de l'exploitation forestière, il ressort des différentes investigations que les ressources forestières se sont dégradées fortement à cause de la combinaison de plusieurs facteurs anthropiques parmi lesquels la coupe abusive de bois à des fins agricoles (parcelles agricoles sous pluies, aménagements hydro-agricoles), d'énergie (bois de chauffe et charbon), de bois d'œuvre ou d'habitat. Les changements climatiques ont contribué à accroître cette baisse des ressources forestières d'autant plus que du fait des difficultés de l'agriculture, certaines couches de la population frappée par la pauvreté se sont reconverties dans l'exploitation forestière comme source de revenu. Ce phénomène est constaté dans tout le Bassin où même les forêts classées sont menacées par des prélèvements clandestins. La Région de Kayes, au Mali, concernée par au moins 3 sous-bassins, se positionne comme l'une des plus grandes régions pourvoyeuses de bois d'œuvre et de bois de service du pays, après celle de Mopti. Elle occupe la première place dans l'exploitation annuelle autorisée en bois d'énergie avec, en 2014, 259 0363 stères de bois de chauffe sur un total de 498 438, soit 52%.

Avec les différents scénarii d'évolution des CC, il est fort probable que ces ressources subiront des pertes aussi bien quantitatives que qualitatives (perte de diversité biologique).

Certaines espèces arboricoles endémiques objet de cueillette par les populations auront tendance à devenir rares, voire disparaître. Ceci impactera négativement les revenus des ménages qui font de cette activité une source de revenus secondaire.

5.3.1.8. Tourisme

Dans la zone du BFS, le tourisme pratiqué est surtout un tourisme de contemplation, de découverte et cynégétique par endroits.

Le secteur touristique est localement un grand consommateur d'eau pour les besoins des clients qui séjournent dans les réceptifs (certaines sources estiment la consommation d'eau par lit à 750 l/jour). En raison des impacts négatifs prévus des CC sur les ressources en eau et sur les ressources forestières et donc, une disparition de certaines espèces de faune ayant un intérêt cynégétique, on peut valablement retenir que les activités touristiques subiront des pertes en termes de nombre de visiteurs et que le risque de pertes d'emploi local et national est élevé.

Les répercussions au niveau national s'apprécieront en termes de pertes de devises, de pertes d'emploi et de revenus et de baisse de la part du secteur dans le PIB.

5.3.1.9. Conclusion

Les grands secteurs économiques du BFS subissent fortement les impacts des changements climatiques avec la rareté des pluies entraînant une réduction des ressources en eau dans les cours d'eau. La forte pression sur les ressources est plus ressentie pendant la saison chaude où la demande est plus importante. Durant cette période, les besoins en eau domestiques des populations et du bétail créent de vrais risques de conflits entre les acteurs. L'agriculture qui dépend fortement de la pluviométrie connaît de réelles contraintes face à un calendrier cultural non maîtrisé (démarrage des pluies, durée de l'hivernage).

L'élevage est également fragilisé par les impacts des changements climatiques. Les zones de pâturage ont complètement disparu installant les acteurs du secteur dans une situation de précarité assez difficile.

La pêche et la navigation subissent tout aussi les effets des changements climatiques. Ce qui entraîne une rareté des poissons et des difficultés de navigabilité dans les cours d'eau.

Les difficultés que rencontrent ces grands secteurs économiques influencent beaucoup les conditions de vie des populations du BFS. Malheureusement, la non maîtrise de cette situation (déficit pluviométrique, inondations), n'augure pas de meilleures perspectives pour les populations dont la survie dépend en grande partie des activités agricoles, de l'élevage et de la pêche.

Il est important aussi d'insister sur le fait que les changements climatiques ne sont pas les seuls responsables des problèmes rencontrés par les populations et les secteurs de l'économie. Ils viennent surtout exacerber une situation de dégradation avancée des ressources, d'origine anthropique (déforestation massive, braconnage, pollution, etc.). En clair il est demandé plus à l'environnement que ce qu'il peut donner.

5.3.2. Evaluation de l'impact sur l'environnement

5.3.2.1. Evaluation globale

La variabilité et le changement climatique posent aujourd'hui un défi majeur aux pays d'Afrique de l'Ouest à cause des conséquences engendrées sur l'environnement, l'agriculture, les ressources en eau et d'autres secteurs-clés de développement socio-économique (IPCC 2001). La vulnérabilité de ces pays et de leurs populations à l'augmentation de la variabilité et du changement climatique est un sujet de grande préoccupation et a suscité un intérêt de recherche considérable au cours des dernières décennies avec des appels à un financement accru pour l'adaptation (Patt et al. 2010).

Les changements climatiques accompagnés des événements extrêmes (comme les inondations et les sécheresses prolongées) et ses impacts potentiels sur le système hydrologique représentent un réel problème sur la disponibilité des ressources en eau à l'échelle mondiale en particulier dans les pays d'Afrique de l'Ouest. L'augmentation de la température affecte le cycle hydrologique à la surface de la terre en raison d'une augmentation importante de la quantité d'évaporation, entraînant à son tour plus de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Les analyses menées sur des données d'observation à long terme et les projections climatiques ont fourni des preuves abondantes que les ressources en eau douce sont aujourd'hui vulnérables et susceptibles d'être fortement touchées par le changement climatique futur, avec des conséquences étendues pour les sociétés et les écosystèmes humains (Bates et al. 2008).

A l'échelle mondiale, les pays d'Afrique de l'Ouest sont aujourd'hui les plus vulnérables en raison de leur forte exposition et de leur faible capacité d'adaptation (IPCC, 2014). La diminution des précipitations et la longue sécheresse dévastatrice durant les années 1970 représentent pour les pays d'Afrique de l'Ouest l'un des plus grands événements extrêmes de changements climatiques dans le monde (Bates et al. 2008). Par conséquent, plusieurs études d'impact du changement climatique sur le Bassin du Fleuve Sénégal ont montré que les ressources en eau sont aujourd'hui vulnérables et sont menacées de disparation dans le futur en raison de leur forte exposition et de leur faible capacité d'adaptation.

5.3.2.2. Situation par sous bassin versant

La situation est décrite ci-dessous pour chacun des 7 sous-bassins versants. Les problématiques peuvent être regroupées dans les 3 grandes unités que sont le (i) haut bassin du BFS, (ii) la moyenne vallée du Sénégal et (iii) la basse vallée et le delta du Sénégal. La carte suivante les schématise.

- Haut bassin

Forte vulnérabilité des têtes de bassins sur tous les plans. Déforestation. Méthodes obsolètes et illicites d'exploitation du milieu. Manque d'études et de suivi.

- Moyenne vallée du Sénégal

L'érosion des berges et des terres agricoles, et l'envasement des bassins aval constituent un problème majeur de cette vulnérabilité. Fragilité des écosystèmes. Pollution diffuse d'origine agricole et empoisonnement de l'eau par la pêche illicite. Manque d'études et de suivi.

- Basse vallée et delta

La vulnérabilité est essentiellement liée à l'érosion hydrique et la salinisation des terres dans delta. Il est donc essentiel que le plan stratégique soit porté sur la lutte anti-érosive et sur la désalinisation des terres. Les parcs et réserves doivent en outre être préservés.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

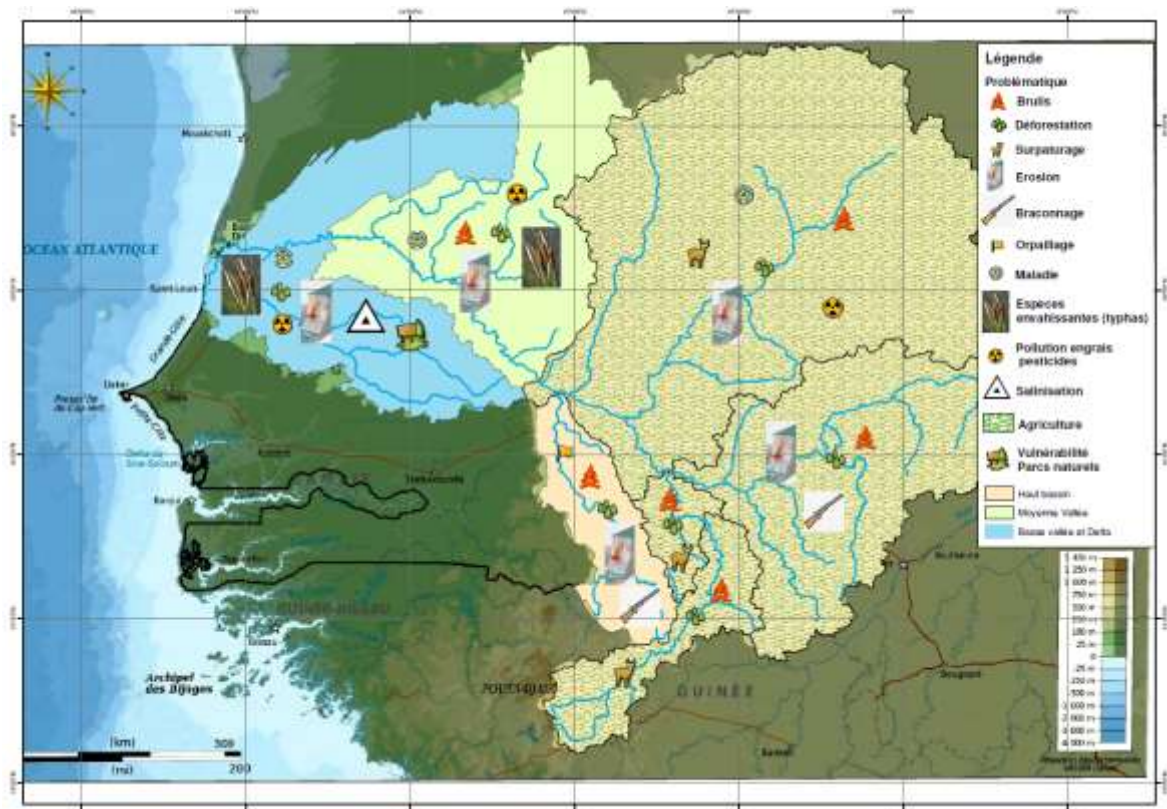


Figure 99. Problématiques environnementales du BFS (source : ce rapport)

5.3.2.2.1. SB1 - Le Bafing amont jusqu’au barrage de Manantali

Les principales perturbations climatiques répertoriées dans ce sous-bassin sont la baisse de la pluviométrie, les sécheresses récurrentes depuis les années 1970, les inondations précoces et fréquentes, les perturbations du régime pluviométrique.

Elles ont comme impacts dans l’environnement du sous bassin :

- assèchement des terres, des cours d’eau et des mares ;
- dégradation des têtes de sources ;
- étiage prononcé des grands cours d’eau ;
- ensablement des lits des cours d’eau ;
- perte de la biodiversité ;
- migration de la faune sauvage ;
- recrudescence des feux de brousses ;
- accélération du processus d’érosion et de dégradation des terres.

5.3.2.2.2. SB2 - Le Bafing aval, du barrage de Manantali à Bafoulabé

L’analyse des données d’enquêtes laissent apparaitre que le changement climatique se manifeste dans le sous-bassin Bafing aval par une forte variabilité de la pluviométrie qui se traduit par une irrégularité du début et de la fin de la saison des pluies, par la fréquence des phénomènes extrêmes notamment les sécheresses, les vagues de chaleurs, les fortes pluies et inondations. La hausse des températures est observée dans ce sous bassin.

Cette perturbation climatique à comme impacts environnementaux :

- La dégradation des terres ayant comme corollaire la baisse des rendements agricoles ;

- L'ensablement des cours d'eau ;
- La baisse du couvert végétal ;
- La disparition d'espèces végétales (Karité et le Néré) ;
- La disparition ou migration de la faune ;
- L'érosion des berges des cours d'eau ;
- L'assèchement des cours d'eau, mares, marigots et puits ;
- La prolifération du typha.

5.3.2.2.3. SB3 - Le Bakoye jusqu'à Bafoulabé

Les effets du changement climatique sont très perceptibles dans le sous-bassin Bakoye. Il est constaté dans ce sous bassin une forte variabilité pluviométrique, des pauses pluviométriques fréquentes, la sécheresse, la hausse des températures, etc. Les impacts résultant de ce changement climatique sont les suivants :

- Baisse de la couverture végétale ;
- Un assèchement des arbres ;
- Un manque de tapis herbacé ;
- Erosion et dégradation des sols ;
- Tarissement des cours d'eaux ;
- Une augmentation des insectes nuisibles et des oiseaux ;
- Rareté de la faune.

5.3.2.2.4. SB4 - La Falémé jusqu'à la confluence avec le Sénégal

Dans le sous-bassin de la Falémé, l'analyse des données d'enquêtes montre que le changement climatique se caractérise par une hausse des températures, la baisse de la pluie par rapport au passé, des vents violents, un bouleversement du calendrier saisonnier (maintenant presque plus de période froide). Les impacts occasionnés par ce changement au niveau du sous-bassin sont :

- Assèchement des cours d'eau, des puits qui tarissent ;
- Ensablement des cours d'eau ;
- Disparition d'espèces animales (rhinocéros, chimpanzés, singes, panthères, biches, etc.) ;
- Dissémination des animaux domestiques ;
- Disparition des espèces fauniques ;
- Des retenues d'eau qui se vident rapidement ;
- Les inondations avec des ouvrages hydrauliques qui s'affaissent ;
- Des parcelles de riz envahies par l'eau ;
- Déforestation amplifiée par la coupe abusive du bois, la carbonisation, la prolifération des fours à briques et les constructions publiques (routes) ;
- Feux de brousse en saison sèche ;
- Destruction des habitations en cas de vents violents et de fortes pluies.

5.3.2.2.5. SB5 - Le Sénégal amont de Bafoulabé jusqu'à Bakel

Dans le sous-bassin Sénégal amont le changement climatique se manifeste par une baisse de la pluviométrie, la sécheresse, le changement du calendrier saisonnier, la hausse des températures, de vents violents, etc. cette situation se répercute sur le plan environnemental par :

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

- Baisse de la nappe phréatique ;
- Erosion et occupation illicite des berges des cours d'eaux ;
- Dégradation des terres ;
- Rétrécissement de la largeur des cours d'eau à cause de l'ensablement
- Apparition d'insectes ravageurs ;
- Le développement du phénomène des plantes envahissantes le long des berges du fleuve ;
- Disparition des forêts ;
- Disparition de certaines espèces comme *Prosopis africana*, *Dalbergia monticola*, *Daniellia*, *Terminalia*, *Néré* ou *Parkia Biglobosa* de son nom scientifique, le baobab et le karité de nom scientifique *Vitellaria paradoxa* ;
- Disparition de la faune.

5.3.2.2.6. SB6 - Le Sénégal moyen de Bakel à Podor

Au niveau du sous-bassin Sénégal moyen, les manifestations du changement climatique sont perçues par la sécheresse galopante, les vents forts, une variation très irrégulière de la température avec des alternances de chaleur forte et de fraîcheur pendant des mois traditionnellement réputés comme pluvieux et frais comme le mois d'août, une baisse de la pluviométrie. Cette perturbation climatique se traduit sur l'environnement au niveau du sous bassin par :

- Désertification ;
- Prolifération des plantes envahissantes ;
- Ensablement des cours d'eau ;
- Erosion des berges du fleuve et ses affluents ;
- Disparition du couvert végétal et de la faune.

5.3.2.2.7. SB7 - Le Sénégal aval de Podor à l'océan

L'analyse des données d'enquêtes au niveau du sous bassin Sénégal aval montrent les principaux risques climatiques observés sont la sécheresse et les inondations récurrentes. La sécheresse qui résulte d'une succession d'années sèches impacte sur la disponibilité de l'eau. Elle réduit ainsi les possibilités pour l'irrigation et les autres usages (besoins domestiques, abreuvement du bétail, besoins environnementaux). Par contre, en année très pluvieuse, il se pose le plus souvent un problème de gestion de l'excès d'eau.

Les impacts environnementaux peuvent être listés comme suit :

- Manque de tapis herbacé ;
- Erosion et dégradation des sols ;
- Tarsissement des cours d'eaux ;
- Augmentation des insectes nuisibles et des oiseaux ;
- Rareté de la faune ;
- Prolifération des plantes envahissantes.

5.4. EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES BARRAGES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.5)

Créé en 1972 l'OMVS a défini un programme d'infrastructures régionales devant permettre la maîtrise des ressources en eau du bassin. Les enjeux de la gestion résident dans la recherche d'un équilibre entre les différents usages de l'eau qui se répartissent schématiquement entre :

- Les usages traditionnels (pêche, élevage et agriculture de décrue) ;
- Les équilibres écologiques (forêts, ressources halieutiques, faune terrestre, etc.) ;
- Le soutien d'étiage (énergie hydroélectrique, agriculture irriguée et navigation).

Dans le souci de répondre au défi du développement, les États du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal ont procédé, dans le cadre de l'OMVS, à l'aménagement progressif du bassin du fleuve Sénégal en y érigeant les ouvrages de Diama (1985) et de Manantali (1988).

Les barrages de Diama et Manantali ont été conçus pour permettre, au total, l'irrigation de 375 000 ha, dont 120 000 ha pour Diama, et 255 000 pour Manantali.

D'autres barrages viennent ou viendront progressivement s'ajouter à ces deux premiers barrages réservoirs. Le barrage hydroélectrique de Félou a été mis en service en 2014 et le barrage hydroélectrique de Gouina est en cours de construction. Il est prévu de construire d'autres barrages à l'amont, dont des barrages réservoirs.

5.4.1. Présentation des barrages existants

5.4.1.1. Barrage de Manantali

Le barrage hydroélectrique de Manantali a été construit sur le Bafing, à 90 km au Sud-Est de Bafoulabé, dans la région de Kayes au Mali. L'aménagement permet la production d'électricité et l'irrigation. Contrôlant près de 50% des apports du bassin amont du Sénégal, le barrage de Manantali a été mis en fonction en 1988 afin d'assurer le contrôle des crues tout en permettant de disposer d'une importante réserve d'eau pour garantir la stabilité d'activités économiques telles que l'alimentation en eau, l'irrigation et les cultures de décrue, la production hydroélectrique et la navigation fluviale..

Sur le barrage de Manantali, 5 turbines types Kaplan de 40 MW sont installées, soit une puissance totale de 200 MW. La capacité de turbinage est de 491 m³/s. La production moyenne annuelle électrique est de 800 GWh, garantie 9 année sur 10³². L'électricité produite est envoyée par un réseau de lignes à haute tension de 1500 km à Bamako, Dakar et Nouakchott.

Le lac de retenue couvre une superficie d'environ 477 km². Il contient au maximum 11 milliards de m³ dont 8 milliards sont utilisables.

³² <http://www.portail-omvs.org/infrastructure-regionale/barrages/barrage-manantali>

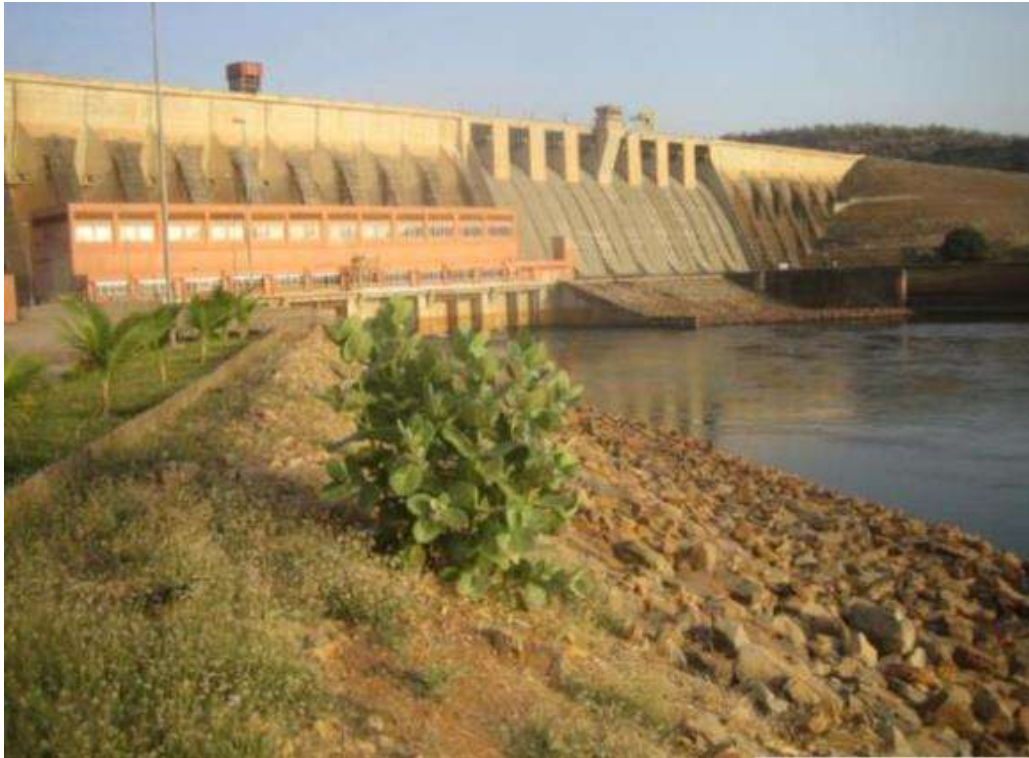


Figure 100. Le barrage de Manantali vu de la route d'accès

L'exploitation du barrage est placée sous la responsabilité de la Société de Gestion de l'Energie de Manantali (SOGEM). Les principes de gestion sont définis dans le Programme d'Optimisation et de Gestion des Réservoirs (POGR, 2002) et visent à optimiser l'utilisation des ressources en eau dans un contexte de compétition entre usages.

Selon la version provisoire de la Monographie du fleuve Sénégal actualisée en 2012, le débit à lâcher au barrage est déterminé en fonction :

- des contraintes de gestion imposées par les caractéristiques physiques de l'ouvrage ;
- des consignes de sécurité pour protéger l'ouvrage ;
- des consignes de gestion dont l'objet est de régulariser les débits et de produire de l'énergie.

Listées par ordre de priorité décroissante, les consignes de gestion sont hiérarchisées comme suit:

- L'écrêtement des crues (protection des personnes et des biens), le but étant de ne pas dépasser le débit de 4500 m³/s à la station de Bakel ;
- Le soutien d'étiage : il doit permettre de garantir la satisfaction des usages situés à l'aval du barrage (irrigation, eau potable, navigation) augmenté des pertes (évaporation, infiltration). Pour atteindre cet objectif, la gestion pratiquée depuis le milieu des années 2000 a visé à garantir dans le Sénégal à Bakel un débit de : 120 m³/s de janvier à juillet, 180 m³/s en août, 120 m³/s de septembre à novembre, 100 m³/s en décembre. Il faut noter que, pour optimiser la navigation, un débit minimum garanti compris entre 200 et 300 m³/s serait nécessaire à Bakel³³, mais cet objectif ne peut pas être garanti toute l'année dans l'état actuel d'aménagement du bassin (volume de stockage insuffisant). Ce soutien d'étiage permet également de garantir un débit minimal pour les écosystèmes du fleuve ;
- La production électrique, pour environ 800 GWh par an ;
- Le soutien de crue. L'hydrogramme permettant d'alimenter 50 000 ha de cultures de décrue est généralement retenu comme objectif raisonnable. La Charte du Fleuve Sénégal (2002)

³³ Source : OMVS note technique sur la navigation du fleuve Sénégal SCET TUNISIE BCEOM mai 2004

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

signée par les 4 Etats membres de l'OMVS prévoit que cet hydrogramme soit garanti chaque année, mais en pratique, depuis le début de l'exploitation des turbines hydroélectriques (2002), cela n'a pas été le cas. Ce soutien a également comme but de maintenir un certain équilibre écologique (remplissage de mares, maintien des zones humides et du lit majeur...).

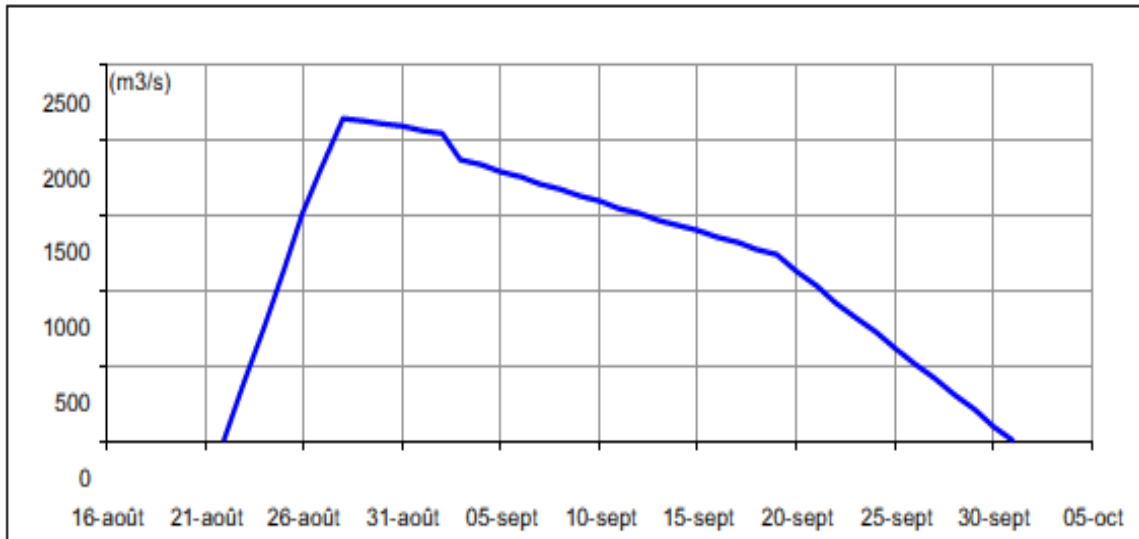


Figure 101. Hydrogramme minimal de crue nécessaire à Bakel pour permettre d'irriguer en moyenne 50 000 hectares de cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal (Source : POGR, 2002)

La solution actuellement mise en place concernant la réalisation de petites crues consiste à positionner l'hydrogramme objectif (voir ci-dessus) de crue sur une date fixe. Cette date a été déterminée de façon à entraîner en moyenne les moindres volumes lâchés (pour éviter de pénaliser la production d'énergie). Le soutien de crue n'est réalisé que si le stock d'eau dans la retenue est supérieur à un seuil fixé.

Ces différents objectifs se traduisent par des consignes de gestion opérationnelles listées par ordre de priorité décroissante. Un exemple type extrait du manuel est fourni ci-dessous :

- A1 : précaution contre la submersion des digues du barrage, en maintenant le niveau du plan d'eau en dessous de la cote 210,50 m ;
- A3 : lâcher d'un débit sanitaire réservé de 10 m³/s ;
- B1 : précaution contre l'affouillement de la partie basse du parement amont de l'ouvrage, en maintenant le niveau du plan d'eau au-dessus de la cote 187 m ;
- B2 : laminage immédiat des crues du Sénégal à Bakel, avec un débit journalier limité à 4500 m³/s ;
- A6 : conservation d'une revanche suffisante dans la retenue, pour pouvoir assurer le laminage futur des crues du Sénégal à Bakel en dessous de 4500 m³/s avec un taux de réussite de 49 années sur 50, en référence à la période 1950-1998. Le limnigramme correspondant de cote maximale à respecter dans le lac est donné dans le manuel ;
- A5 : soutien des basses eaux, concernant les usages suivants : agriculture irriguée, alimentation humaine, navigabilité. Une valeur constante (de 100, 150 ou 200 m³/s) a été retenue pour le débit Q_e à assurer en permanence au niveau de Bakel ;
- B3 : conservation d'un stock d'eau suffisant dans la retenue pour permettre le soutien futur de basses eaux. Le débit objectif Q_e envisagé est le même que dans la consigne A5, et le taux de réussite retenu est de 24 années sur 25 sur la période 1950-1998. Le limnigramme

correspondant de cote minimale à respecter dans le lac est donné dans le manuel provisoire ;

- A2 : production d’énergie électrique.

La consigne de production d’énergie est prise en compte seulement lorsque la cote du lac se situe au-dessus du seuil S1, pour lequel trois valeurs ont été testées : 187, 192 et 197 m. La consigne vise à produire la puissance maximale productible P_{max} lorsque la cote du lac se situe au-dessus du seuil S2, pour lequel deux valeurs ont été testées : 202 et 206 m. Enfin, quand la cote du lac se situe entre S1 et S2, la consigne vise à produire une puissance $P = \min(P_o ; P_{max})$ où P_o désigne une puissance constante pour laquelle trois valeurs ont été testées : 70, 90 et 110 MW.

- A4 : soutien de crue. L’hydrogramme objectif de crue retenu pour Bakel, dénommé “ORSTOM1”, est le suivant :
 - 0 m³/s le 22 août ; 2500 m³/s le 28 août ; 2500 m³/s le 2 septembre ; 0 m³/s le 16 octobre.

Le soutien de crue est déclenché à la date T_c du 20 août, si et seulement si la cote du lac se situe au-dessus du seuil H_s , pour lequel trois valeurs ont été testées : 192, 195 et 198 m.

D’après l’étude de « l’Elaboration de la Nomenclature des Seuils d’autorisation et de de déclaration des prélèvements d’eau du fleuve Sénégal » menée par ARTELIA en février 2013, la possibilité d’un soutien des basses eaux est réalisable jusqu’à un débit de 200 m³/s. Par ailleurs, des simulations ont été faites pour tester la possibilité d’un soutien d’étiage à 300 m³/s. Il apparait qu’une capacité de stockage supplémentaire de 16,7 Md m³ serait nécessaire en plus de 7,7 Md m³ déjà existant de Manantali.

5.4.1.2. Barrage de Félou

Ce projet a consisté en l’aménagement hydroélectrique des chutes du Félou sur le fleuve Sénégal (entre 2009 et 2014) avec la construction d’une centrale de 60 MW. Cet aménagement, à l’aval du barrage de Manantali, profite du débit en partie régularisé du fleuve Sénégal pour produire une énergie à un coût de production réduit et sans aucun impact sur l’environnement puisque le seuil de dérivation permettant l’alimentation du canal d’amenée était un seuil déjà existant. Le site était précédemment équipé d’une usine hydroélectrique d’une puissance d’environ 600 kW (début 1920) obtenue en turbinant 5 m³/s soit aux alentours de 1% du débit moyen du fleuve³⁴. Le barrage de Félou est en activité depuis 2016.

Les chutes du fleuve Sénégal à Félou sont situées à environ 250 kilomètres à l’aval du barrage réservoir de Manantali. Le site est caractérisé par un dénivelé naturel d’environ 15 mètres et un rétrécissement substantiel de la vallée.

Félou est une centrale hydroélectrique de basse chute, située en rive gauche du fleuve Sénégal. Elle est équipée de 3 groupes turbo-alternateurs de type Bulbe d’une puissance unitaire de 20 MW, soit au total 60 MW. Sur la base de l’étude de faisabilité réalisée par le Consultant Coyne et Bellier, un débit d’équipement de 500 m³/s a été retenu pour chacun des groupes. La chute d’équipement est de 13.8 m

La production moyenne annuelle prévue est de 335 GWh. L’énergie est transportée sur environ 4 km par raccordement au poste de Kayes sur le réseau 225 kV.

5.4.1.3. Barrage de Diama

Le barrage de Diama, situé sur le fleuve Sénégal à 23 km en amont de St-Louis, est un ouvrage dont la fonction majeure est d’arrêter la remontée de la langue salée qui se propageait en période sèche à plus de 200 km en amont de l’embouchure, empêchant le développement des cultures de contre saison. Après mise en service en septembre 1985 et ayant obtenu le certificat d’entretien consacrant la réception définitive en mars 1988 cette contrainte majeure a disparu et le barrage a pour objectif :

³⁴ Source : <http://www.sogem-omvs.org/felou.html>

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

- d'empêcher la remontée, en période d'étiage, des eaux salées dans le delta et la basse vallée du fleuve Sénégal ;
- de permettre l'irrigation de 120 000 ha dans sa zone d'influence, en combinaison avec le barrage de Manantali ;
- de permettre la satisfaction des besoins en eau d'alimentation des centres ruraux et urbains ;
- d'améliorer les conditions de réalimentation des marigots et des dépressions liées au fleuve Sénégal, notamment le lac de Guiers, le lac R'kiz, la dépression de l'Aftout Es Sahel, le parc du Djoudj, le parc du Diawling, les défluent, en rive droite et en rive gauche, dans le delta et la basse vallée, et de réduire les hauteurs de pompage dans la zone d'influence de la retenue du barrage ;
- De maintenir un plan d'eau minimum dans le fleuve facilitant la navigation jusqu'à 300 km en amont.

Ce barrage a permis de créer une réserve d'eau à l'amont de 590 Mm³ avec un volume utile de 340 Mm³. L'eau stockée, douce en permanence, permet l'irrigation des périmètres en rives gauche et droite et l'alimentation humaine et animale. A la cote de 2,5 m IGN, la surface potentielle irrigable à l'amont de la retenue est de 120 000 ha. Toutes les zones humides, résultant du maintien du plan d'eau, jouent un rôle essentiel pour l'alimentation en eau potable, la pêche, l'élevage et la faune sauvage.

L'exploitation et la maintenance du barrage sont assurées depuis mai 1997 par la Société de Gestion et d'Exploitation de Diama (SOGED) qui a pris la relève des structures antérieures du Haut Commissariat de l'OMVS : la Cellule Provisoire d'Exploitation des Barrages de l'OMVS et l'Unité d'Exploitation du Barrage de Diama.

En tant que barrage au fil de l'eau, Diama ne permet pas de laminier les débits de crue afin de protéger la ville de Saint-Louis. Toute tentative de laminage est inefficace et peut s'avérer dangereuse.



Figure 102. Barrage de Diama (source : Artelia)

Associés au barrage de Diama (mis en service en Novembre 1985), les endiguements latéraux du fleuve Sénégal de Diama à Rosso, en rive droite et en rive gauche, permettent la fermeture de la

retenue de Diama et contrôlent le remplissage et la vidange des systèmes hydrauliques (défluent, marigots, lacs, dépressions, etc.) du delta, situés en amont de la retenue de Diama.

Ces endiguements latéraux assurent deux fonctions principales : la protection des populations contre les crues et la maîtrise de l’alimentation en eau des périmètres irrigués et des cuvettes situées dans le delta du fleuve.

Les travaux de construction de l’endiguement rive droite Diama – Rosso ont été réalisés en deux tranches de 1989 à 1995. Ancienne digue existante, l’endiguement rive gauche a été réhabilité en deux tranches de travaux de 1993 à 1995.

Le niveau de protection de ces endiguements correspond à celui de la ligne d’eau de référence équivalente au remous de la crue centennale à Diama augmentée d’une revanche de 0.5 m.

5.4.1.4. Commentaire sur le stockage d’eau

Le fonctionnement des réservoirs existants s’effectue en deux phases: une phase de remplissage durant l’hivernage et une phase de vidange en contre saison. La variation du stock des réservoirs dépend de la politique de gestion adoptée et des apports en eau du système. Le fleuve Sénégal débite près de 80% de son volume annuel entre juin et octobre, d’où l’intérêt de stocker une quantité suffisante durant cette période pour combler les demandes imprévues de la saison sèche. Par ailleurs, le volume utile total des réservoirs existants et projetés est de 16 Md m³. La capacité de stockage du réservoir de Manantali représente 51% de ce volume. Une attention particulière sera portée à ce dernier en raison de son emplacement en aval des deux autres sites potentiels de barrages importants de Koukoutamba et Boureya mais aussi de son rôle essentiel en termes de soutien des basses eaux au niveau de la vallée et du delta qui concentrent près de 90% de la consommation totale en eau.

5.4.2. Evaluation de la vulnérabilité des barrages de Diama, Félou et Manantali au changement climatique

5.4.2.1. Manantali

Une note concernant le soutien d’étiage à Bakel à hauteur de 300 m³/s a été réalisée en février 2000 par l’IRD suite à la demande de la Banque Mondiale. Dans cette note, l’objectif était de simuler la gestion du barrage de Manantali avec comme objectif le soutien d’étiage de 300 m³/s à Bakel tout en intégrant les consignes prescrites dans le manuel provisoire. Les résultats ont montré qu’il était impossible de garantir un soutien à 300 m³/s à Bakel 12 années sur 49 (débit nul ou très largement inférieur à 300 m³/s à Bakel, durant 1 à 5 mois consécutifs). La simulation était basée sur les apports en eau de la période 1950-1998. La même simulation sur les apports de la période 1950-1978 montre que l’objectif de soutien d’étiage à 300 m³/s est réalisable (avec seulement 12% d’années déficitaires dans le cas d’un soutien de crue). Un rehaussement de 5 m du barrage permet sur la période 1950-1978, de satisfaire continuellement le soutien à 300 m³/s à Bakel. C’est donc essentiellement à cause des apports en eau observés depuis 20 ans sur le haut bassin du Sénégal, que le soutien d’étiage à 300 m³/s dans le fleuve Sénégal apparaît aujourd’hui comme un objectif irréaliste.³⁵

L’étude a montré que le maintien d’un débit supérieur ou égal à 300 m³/s en permanence au niveau de Bakel, nécessite un volume théorique de réserve utile de 24,4 km³ au niveau de Manantali or le volume de la réserve utile est de 7.7 km³, soit un manque de 16.7km³.

Le soutien de crue est réalisé uniquement si la réserve en eau dans la retenue est supérieure à un seuil fixe. Or cette solution est bien adaptée aux cas où la réserve disponible est soit très grande soit très faible au moment de déclencher le soutien. Mais cette solution pose problème dans les cas d’un stock moyen proche du seuil, la décision prise peut s’avérer inopportune. Ce risque pourrait être limité avec l’apport d’une connaissance plus globale des apports. La prévision à

³⁵ Soutien de l’étiage du fleuve Sénégal à hauteur de 300 m³/s à partir du barrage de Manantali. Analyse des contraintes.

l'avance des débits journaliers sur le haut bassin permettrait de prendre une meilleure décision du soutien de crue mais apporterait également une meilleure gestion du barrage en termes de production d'énergie et de soutien d'étiage. Les prévisions permettraient d'estimer le stock disponible dans la retenue à la mi-octobre suite ou non au soutien de crue. Ces prévisions pourraient s'avérer indispensable pour faire face aux changements climatiques.

5.4.2.2. Félou

Les chutes du fleuve Sénégal à Félou sont situées à environ 250 kilomètres à l'aval du barrage réservoir de Manantali. Cet aménagement profite du débit en partie régularisé du fleuve Sénégal pour la production hydroélectrique.

La vulnérabilité de ce barrage s'exprime en terme de vulnérabilité de la production hydroélectrique et donc de capacité des apports à saturer les turbines. Cette vulnérabilité est liée à la pluviométrie et à la capacité de Manantali à réguler les débits du fleuve.

5.4.2.3. Diama

Le barrage de Diama a pour vocation (i) d'empêcher la remontée de l'eau salée, (ii) de protéger le delta contre les crues et (i) de stocker de l'eau douce utilisée notamment pour l'AEP et l'irrigation. La vulnérabilité de Diama s'exprime en termes de non satisfaction de ces fonctions.

Pour que la première fonction soit assurée, il est important que les organes du barrage soient en parfait état de marche ce à quoi veillent l'OMVS et la SOGED.

Il en est de même pour la deuxième fonction qui requiert un suivi et un entretien régulier des endiguements par l'OMVS et la SOGED.

Diama se montre surtout vulnérable vis-à-vis de sa troisième fonction, non pas en terme de quantité d'eau stockée, mais en terme de qualité d'eau. La retenue se couvre progressivement de plantes aquatiques envahissantes, notamment le typha, et aucune solution valable n'a encore été trouvée pour y remédier. Des maladies hydriques se sont développées avec la présence permanente de l'eau. Enfin, la qualité de l'eau risque de se dégrader avec le développement d'activités polluantes en amont : pollution des villes, pollutions hydroagricoles et surtout pollutions minières avec des métaux lourds.

5.4.3. Analyse des Modes de gestion

5.4.3.1. Règles de gestion du barrage de Manantali

Les principales règles de gestion du barrage ont été définies dans le manuel de gestion du barrage de Manantali, réalisé en 1999 par l'IRD (ORSTOM à l'époque). Ce manuel fixe les consignes de sécurité et de gestion. Ces règles ont été présentées dans la partie de description du barrage ci-avant.

5.4.3.1.1. Présentation des logiciels de gestion exploités par la SOGEM

La société SOGEM, qui est en charge de la gestion du barrage, utilise les modèles PROGEMAN et SIMULSEN pour gérer le barrage de Manantali en respectant les consignes fixées.

Le logiciel SIMULSEN est un modèle de simulation pure. Il permet d'évaluer l'effet de certaines règles de gestion de l'ouvrage sur la satisfaction des différents objectifs. Les paramètres utilisés par le logiciel sont les limites techniques de sécurité du barrage et du lac, le modèle de propagation du débit, les besoins en eau exprimés au niveau de Bakel, les limnigrammes limites à respecter dans la retenue et les données de crue des stations non contrôlées. Ce logiciel sert à préciser les règles de gestion du barrage.

Une fois fixées, ces règles sont utilisées dans le logiciel PROGEMAN pour optimiser la gestion en temps réel du barrage. Ce logiciel fait suite au logiciel PROGESEN. La première version du logiciel

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

ne pouvait prendre qu'un seul type de consigne de gestion, associée à un débit (à Bakel par exemple). Désormais, le logiciel PROGEMAN permet de prendre en compte les différentes consignes fixées en fonction des objectifs exprimés par les pays membres. Les consignes sont de différents types :

- A : Respect d'une limite maximale de cote ou de débit, définie à une station située à l'aval du barrage (laminage des crues) ;
- B : Respect d'une limite maximale du niveau du lac (sécurité de l'ouvrage, revanche pour laminage des crues) ;
- C : Respect d'une limite minimale de cote ou de débit, définie à une station située à l'aval du barrage (fourniture d'eau pour irrigation, navigation, soutien de crue) ;
- D : Respect d'une limite minimale de niveau du lac (sécurité de l'ouvrage, stock d'eau pour irrigation, navigation, soutien de crue) ;
- E : Production d'énergie.

Le logiciel conserve en permanence le détail du jeu de consignes qui peut être modifié par l'utilisateur avant chaque simulation. Le jeu de consigne est limité à 9 consignes au maximum parmi les 5 types de consignes détaillées ci-dessus.

Le logiciel PROGEMAN utilise des données instantanées pour permettre une gestion en temps réel. Ces données concernent :

- Les données hydrométriques (cote des stations) ; elles doivent être saisies le plus fréquemment possible ;
- Le réglage des vannes de surface : ce sont les pourcentages d'ouverture des vannes ; ces données sont à saisir le plus rapidement possible à chaque modification ;
- Le réglage des vannes de fond : ce sont les ouvertures verticales (en cm). De même que pour les réglages des vannes de surface, chaque changement doit être saisi dans le programme le plus rapidement possible ;
- Les débits turbinés et l'état du lac : trois variables sont concernées, le taux d'évaporation net sur la retenue (mm/jour), le niveau de surface libre de la retenue (m) et le débit turbiné (m^3/s). Le niveau du lac doit être saisi le plus fréquemment possible, et avant tout calcul de débit à lâcher. Le débit turbiné doit être saisi après chaque modification.

Pour chacune de ces données, la saisie s'effectue par tableau. Chaque tableau présente en permanence le contenu des 10 derniers enregistrements. Chaque enregistrement se présente de la même manière avec une date (format JJMMAAAA HH ou JJMMAAAA HHMN) et d'une série de valeurs ou de lacunes affectées aux variables du tableau.

Pour le calcul des débits à restituer ou les énergies à produire, la possibilité offerte par PROGEMAN est pour un seul pas de temps. Il est absolument nécessaire d'inclure le calcul des débits turbinés dans le logiciel avec comme données d'entrée les puissances instantanées (ou moyennées sur 1h) des dernières 24h ou 48h. A partir de ces données d'entrées, l'utilisateur peut utiliser plusieurs fonctions du logiciel :

- Calcul des débits prévisionnels des stations en aval :

Une partie du logiciel permet de calculer les débits moyens journaliers pour l'ensemble des stations hydrométriques gérées par le logiciel entre les jours J-10 et J+10. Cela permet de simuler l'effet d'un débit lâché sur les stations en aval.

Les différentes méthodes utilisées pour le calcul des débits sont :

- Le modèle de propagation : représentée suivant le modèle de Lamagat. Le principe consiste à évaluer la données aval (Av) et le temps de propagation (Tp) entre l'amont et l'aval. Le principe consiste à évaluer les apports ou pertes intermédiaires entre stations de l'amont et de l'aval, en fonction de conditions constatées à l'amont ;

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

- Le modèle de tarissement : ce modèle est appliqué lorsque l'utilisateur précise que le régime de tarissement est installé. Il n'est appliqué qu'en débit, et uniquement pour les stations réelles observées au régime d'écoulement naturel ;
- Le modèle autorégressif : il est appliqué à la place du modèle de tarissement. Il s'applique soit sur des cotes, soit sur des débits, et ne peut concerner que des stations réelles observées au régime d'écoulement naturel.
- Calcul du débit à lâcher :

Cette partie permet de calculer la fourchette de débit moyen journalier à lâcher du barrage en tenant compte à la fois de la situation hydrologique, du moment et des consignes de gestion retenues.

Ce calcul se fait en plusieurs étapes :

- Calcul de prévision de débit (présentée ci-dessus) sans valeur de débit lâché pour le jour J ;
- Définition des consignes relatives au respect d'une limite de cote ou débit à une station située à l'aval, au respect d'une limite de niveau dans la retenue, à la production d'énergie ;
- Prise en compte des consignes et de leur hiérarchie afin de déterminer la fourchette envisageable pour le débit total à lâcher du barrage ;
- Répartition du débit lâché préconisé et prévision des débits à l'aval, le logiciel tient compte du nombre de turbines disponibles et de la puissance maximale évacuable ;
- Calcul du réglage des vannes, le logiciel tient compte de la priorité accordée à une évacuation par les vannes de surface ou par les vannes de fond. Le premier calcul par défaut envisage l'utilisation de la totalité des vannes. L'utilisateur du logiciel a ensuite la possibilité de faire le calcul pour un nombre inférieur de vannes.
- Définition des paramètres optimaux de turbinage :

Cette partie du logiciel calcule les solutions optimales de turbinage en fonction du nombre de turbines disponibles et des indications fournies par l'utilisateur.

- Gestion en régime de tarissement

Le logiciel contient une procédure prenant en compte le cas d'une décroissance exponentielle régulière des apports dans la retenue (régime de tarissement). Cette procédure peut s'avérer utile dans le cadre du changement climatique.

La procédure permet soit :

- De fixer un débit sortant afin de prévoir à moyen terme le niveau de la retenue ;
- De fixer un objectif de puissance ;
- De fixer un objectif de niveau de la retenue à une date donnée.

Cette procédure ne permet pas de totalement simuler un scénario de décroissance des apports. En effet, il permet uniquement de prévoir :

- Le niveau de la retenue ;
- Le débit des apports dans la retenue ;
- Le débit sortant ;
- La puissance produite.

Cette fonction ne permet donc pas vraiment de prévoir l'effet sur les stations en aval du barrage ni d'optimiser la gestion future avec des données de prévision.

5.4.3.1.2. Analyse des logiciels

Le logiciel PROGEMAN permet une gestion adaptée en temps réel du barrage. Grâce à ces différentes fonctions, l'utilisateur peut optimiser à la fois la production d'électricité tout en respectant le lâché d'un débit minimal et le maintien d'un certain niveau d'eau dans la retenue (afin de garantir un soutien d'étiage en période sèche). L'utilisation de ce logiciel doit cependant être complétée avec l'utilisation d'un logiciel de modélisation tel que WEAP afin de s'assurer de répondre aux besoins en eaux pour l'irrigation, l'élevage, l'AEP... En effet, le logiciel PROGEMAN permet de simuler les débits à certaines stations en aval du barrage mais ne permet pas de s'assurer de l'adéquation besoins ressources. Or, cet aspect est primordial pour une gestion durable et partagée des ressources en eau.

Le choix du pas de temps journalier paraît le plus pertinent pour prendre en compte les fluctuations rapides observées sur le haut bassin en période de crue. Il semble assez peu pertinent de calculer un volume mensuel optimal à lâcher, en particulier si on veut respecter un débit à Bakel. L'inconvénient d'un tel pas de temps est qu'il est difficile de se projeter dans un scénario futur. En effet, les prévisions futures ne se font pas au pas de temps journalier mais plutôt mensuel ou annuel.

Les consignes sont préalablement définies par les trois pays en fonction d'un compromis sur la satisfaction probable de leurs objectifs. Elles sont alors appliquées de façon invariable par le gestionnaire de l'ouvrage, ce qui permet d'éviter tout malentendu sur la gestion du barrage et de maintenir une bonne entente entre les pays membres. Cette qualité de simplicité et de transparence des règles de gestion opérationnelle est indispensable.

Ces deux logiciels sont assez lourds à faire tourner et sont devenus progressivement obsolètes même si la SOGEM continue de les exploiter. La SOGEM prévoit de remplacer ces logiciels par des outils d'optimisation/simulation plus adaptés. A titre d'exemple, la SOGEM cite les problèmes et limitations suivants :

- Les logiciels ne sont plus adaptés aux environnements Windows actuels. Il faut passer par l'utilisation d'une machine virtuelle pour utiliser SIMULSEN (en JAVA) par exemple. PROGEMAN est toujours en DOS.
- Exploiter SIMULSEN est très lourd du fait que le logiciel n'offre qu'une simulation par lancement ; alors qu'il y a un besoin de réaliser plusieurs scénarii pour choisir (sur la base des critères d'équité de la Charte du Fleuve Sénégal) les scénarii les plus optimaux.
- Pour le calcul des débits à restituer ou les énergies à produire, la possibilité offerte par PROGEMAN est pour un seul pas de temps. Il est nécessaire d'inclure le calcul des débits turbinés dans le logiciel avec comme données d'entrée les puissances instantanées (ou moyennées sur 1h) des dernières 24h ou 48h.

5.4.3.2. Règles de gestion du barrage de Félou

Il s'agit d'un barrage au fil de l'eau, sans retenue. La gestion consiste à turbiner le débit qui se présente jusqu'à saturation de la capacité des turbines. L'excès de débit est déversé.

5.4.3.3. Règles de gestion du barrage de Diama

La société SOGED suit certaines consignes de gestion fixées à partir des objectifs du barrage de Diama et des règles de sécurité à respecter.

Les principales règles sont :

- Le maintien en amont d'un plan d'eau élevé le plus longtemps possible en période d'étiage (vers 2 m) ;
- Le maintien en amont à la cote 1.5m en période de crue, le débit moyen à évacuer doit rester inférieur à 1850 m³/s ;

- Respecter la règle de sécurité préconisée par le constructeur : le produit du débit par la dénivelée entre les plans d'eau amont et aval ne doit pas dépasser la limite de 1000 m⁴/s en régime établie (soit une limite de 143 m⁴/s par vanne).

La SOGED utilise le logiciel GESDIAM comme outil d'aide à la gestion en temps réel du barrage. Ce logiciel utilise les résultats présentés dans le « manuel de gestion du barrage de Diama ». La feuille est constituée de 3 pages distinctes dédiées respectivement aux valeurs instantanées, aux valeurs journalières et aux paramètres de modélisation. Pour chaque enregistrement de données, la feuille calcule automatiquement les variables suivantes :

- L'ouverture des vannes ;
- Le débit estimé juste avant et juste après la date de l'enregistrement ;
- Le débit prévu (estimation du débit moyen en régime établi) ;
- La valeur du produit débit par la dénivelée $Q^*(H_m - H_v)$ par vanne ouverte ;
- Un message « Danger » si le produit $Q^*(H_m - H_v)$ dépasse les 1000 m⁴/s ;
- Le volume lâché cumulé ;
- La cote prévue à l'aval.

Le manuel présente une partie pour chaque période cruciale de l'année :

- En période d'étiage, l'objectif est de rester le plus longtemps possible à un niveau élevé. L'ouverture des vannes reste donc réduite et leur fermeture est même très fréquente afin de stocker un volume important et de répondre aux objectifs de l'ouvrage.
- En fin de crue, l'objectif consiste à remonter le plan d'eau le plus tôt possible tout en ne prenant aucun risque de dépassement de la limite des 1000 m⁴/s. le rehaussement ne débute donc que lorsque :
 - Le maximum de crue est passé et les apports dans le plan d'eau amont sont en diminution (suivi des cotes à Podor et Rosso) ;
 - Le débit moyen à évacuer est inférieur à 1 242 m³/s.
- En début de période de crue, l'objectif consiste à maintenir le plus tard possible le plan d'eau amont avant de l'abaisser au niveau 1.5 m, sans risquer de dépasser les 1 000 m⁴/s. La SOGED utilise les valeurs des cotes en Bakel pour connaître la valeur d'abaissement du plan d'eau :
 - Tant que la cote à Bakel est inférieure à 386 cm, le niveau est maintenu à la cote 2 m ;
 - Si la cote 386 cm à Bakel est dépassée, le plan d'eau est abaissé à la cote 1.84 m ;
 - Si la cote 416 cm à Bakel est dépassée, le plan d'eau est abaissé à la cote 1.72 m ;
 - Si la cote 468 cm à Bakel est dépassée, le plan d'eau est abaissé à la cote 1.64 m ;
 - Si la cote 490 cm à Bakel est dépassée, le plan d'eau est abaissé à la cote 1.54 m ;
 - Si la cote 509 cm à Bakel est dépassée, le plan d'eau est abaissé à la cote 1.50 m.

La propagation des débits s'effectue assez rapidement. Dans le manuel de gestion, il est considéré que le temps de propagation entre Bakel et Diama est de l'ordre de 10 jours pour un débit d'environ 660 m³/s. Afin de conserver une marge de sécurité de deux jours, il est conseillé de pouvoir abaisser le niveau à la cote 1.5m en moins de 8 jours. Le manuel de gestion de Diama donne les périodes à partir desquelles le niveau d'eau ne peut plus être maintenu :

- au-dessus de 2,00 m entre le 2 juillet et le 18 août ;
- au-dessus de 1,54 m (quasi fin de l'abaissement) entre le 2 août et le 2 septembre.

Les valeurs des débits à la station de Rosso permettent à partir d'équations (relation de Manning et de la conservation des volumes), de connaître le débit en la station de Diama et ainsi d'anticiper les périodes de début et de fin de crues.

Le manuel présente également les erreurs de gestion à éviter :

- le laminage des débits de pointes de crue ;
- les manœuvres de chasse d'eau (à éviter lorsqu'il existe une dénivelée importante entre les plans d'eau amont et aval).

Pour la partie « suivi et gestion de la facturation et du recouvrement de la redevance sur les prélèvements de l'eau du fleuve Sénégal », la SOGED utilise la géomatique (logiciel SIG et télédétection).

5.4.3.3.1. Présentation des logiciels de gestion exploités par la SOGED

GESDIAM est une feuille de calcul Excel de gestion temps réel, exploitée pour constituer la base des données de manœuvre des vannes du barrage et le calcul des débits d'évacuation et des volumes écoulés.

GESDIAM a été développé par l'IRD en 2001 dans le cadre du POGR (Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs) et vient en appui du 'Manuel de gestion du barrage' de Diama mis à disposition de l'exploitant du barrage, la SOGED.

Le Manuel de gestion du barrage de Diama', très complet, est le document de référence du tableur GESDIAM. La notice d'utilisation du tableur GESDIAM est fournie en annexe de ce manuel.

COREDIA, également développé par l'IRD dans le cadre du POGR en 2001 pour calculer les courbes de remous de Diama, n'est plus exploité à la SOGED. Le manuel de formation de l'IRD fournit les bases théoriques du calcul des courbes de remous, évoque une feuille de calcul et présente des exemples de résultats de calcul de courbes de remous. Il n'est pas certain que ce tableur ait été conservé.

SOGED a par ailleurs introduit la géomatique dans son dispositif technique : recours au SIG et à l'imagerie satellite assorti de logiciels spécialisés (ArcGIS, ERDAS iMAGINE, etc.) pour toutes les questions relatives à la mission de la SOGED dont la gestion des ressources en eau et particulièrement le suivi et la gestion de la facturation et du recouvrement de la redevance sur les prélèvements de l'eau du fleuve Sénégal.

5.4.3.3.2. Analyse des logiciels de gestion exploités par la SOGED

Les feuilles Excel ont l'avantage d'être facilement portables d'un ordinateur à l'autre. Ainsi la SOGED a toujours la maîtrise du tableur GESDIAM développé en 2001.

Il est probable et regrettable que la SOGED ait perdu le tableur COREDIAM qui pourrait être très utile pour réaliser des simulations de lignes d'eau (courbes de remous) dans la retenue et à l'amont de celle-ci.

La SOGED, sollicitée à plusieurs reprises, n'a pas formulé d'expression détaillée des besoins pour l'évolution de ses outils. Elle est consciente qu'une refonte des outils serait souhaitable et attend des propositions d'amélioration.

5.4.3.4. Gestion coordonnée

Chaque réunion de la Commission Permanente des Eaux (CPE) commence par le bilan du programme de gestion établi lors de la réunion précédente et définit le programme de gestion futur, en tenant compte des besoins actualisés et des différentes contraintes liées au contexte

En tant que barrage au fil de l'eau, Diama a une capacité de stockage insuffisante pour pouvoir laminar une pointe de crue dans le but de protéger la ville de Saint-Louis. Toute tentative de laminage est à la fois inefficace et dangereuse, du fait qu'il se traduit par un rehaussement rapide du plan d'eau amont et de la courbe de remous, pouvant entraîner un risque de submersion des digues. La gestion des niveaux d'eau en amont de Diama avant la crue doit donc être anticipée et coordonnée avec Manantali pour éviter une aggravation des crues.

Sur la base de ces modèles et des données réelles, l'OMVS a mis au point grâce à l'étude du P.O.G.R. un système de gestion de la ressource pendant la crue utilisé chaque année suivant 3 étapes.

- Détermination des objectifs retenus pour la crue :
 - Soutien de crue : hydrogramme de la crue artificielle pour le soutien des cultures de décrue ;
 - Soutien d'étiage : le débit réel à lâcher à Bakel durant l'étiage. Il est déterminé par la CPE pour satisfaire les divers usages de chaque Etat (irrigation, alimentation en eau potable, etc.) ;
 - Remplissage de la retenue de Manantali : constitution d'une réserve suffisante pour permettre de garantir la production hydro-électrique ; la cote minimale à atteindre est estimée à 192 m IGN.
- Simulation numérique de l'effet de crue pour l'optimisation du soutien de crue. A l'aide du logiciel SIMULSEN, deux modes de soutien de crue, minimisant les lâchers non utilisables par les turbines sont alors simulés. Il s'agit :
 - Du soutien de crue à date fixe dans le cas où les données sur les autres affluents non contrôlés ne sont pas disponibles à temps,
 - Du soutien de crue à date mobile si les prévisions de débit à Gourbassi (Falémé) et à Oualia (Bakoye) sont disponibles au moins 10 jours avant. Le soutien de crue débute dès que les prévisions sur l'arrivée d'une pointe de crue dépassant un certain seuil permettent de limiter les volumes lâchés afin de garantir une meilleure production d'électricité.

Les prévisions de débit exactes à l'horizon 10 jours à Oualia et Gourbassi nécessitent un suivi d'un réseau de pluviomètres placés au niveau des 3 bassins versants des affluents du fleuve et avec transmission des données en temps réel et une prévision de débit par modèles hydrologiques et propagation de débit. Ce modèle de prévision reste à affiner. En attendant la mise en place d'un système permanent de suivi de la pluviométrie du haut-bassin, l'OMVS a eu à tester une méthode de prévision de débit par autocorrélation sur les données en temps réel de Diangola et Fadougou. Cependant les variations rapides de débits enregistrées dans le haut bassin font que la précision des prévisions obtenues est plutôt moyenne et ne dépasse pas 1 à 2 jours.

- Mise en œuvre du schéma de gestion retenu : utilisation du logiciel PROGEMAN pour déterminer les débits à lâcher quotidiennement pour satisfaire les objectifs de gestion fixés dans le « programme de gestion des barrages de Manantali et Diama »

La gestion optimale des ouvrages communs de l'OMVS est toutefois limitée par les difficultés liées à l'utilisation de logiciels obsolètes, de modèles non encore validés et de données insuffisantes et non actuelles. Les outils développés à ce jour se heurtent au fait que tous ont été calés avec des données du régime naturel du fleuve.

5.4.3.5. Tableau de bord

Le Tableau de bord³⁶ (TBR) est une base de données qui permet de faire le bilan des ressources en eau. Ce bilan comprend deux composantes :

- Les apports (pluie, écoulement)
- et les prélèvements (agriculture, mines, évapotranspiration, parcs et réserves, etc.).

Le TBR a été mis en œuvre en 2006³⁷. Il répondait à un objectif de suivi quantitatif de la ressource et des usages.

³⁶ Source : <http://portail-omvs.org/gestion-ressource-et-environnement/outils-gestion-et-suivi/tableau-bord>

³⁷ Source : Rapport SDAGE de Phase 2, Octobre 2010

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

A un premier niveau, l'outil a pour fonction de centraliser, organiser et synthétiser l'ensemble des données sur les ressources hydriques du fleuve et ses usages afin de diffuser l'information en temps réel ou légèrement différé pour les informations relatives aux ressources, à une fréquence saisonnière pour les usages et permettre son partage entre les principaux acteurs de la gestion.

Au-delà de ces fonctions de base (gestion, valorisation et diffusion des données), cet outil veut également apporter une aide à la décision grâce à sa capacité à effectuer des bilans besoins-ressources dans la configuration actuelle du bassin. Cette fonctionnalité permet d'établir deux indicateurs :

- Le TBR permet de calculer des bilans en volume sur le fleuve afin de comprendre comment se répartit en ordre de grandeur la ressource entre les différents usages (y compris, pertes ou phénomènes connexes). Pour cela, à partir de données mesurées, il reconstitue des influences non encore mesurées / mesurables de façon exhaustive sur le bassin (évaporation, évapotranspiration, pertes au niveau des cuvettes...),
- Le TBR propose des règles de gestion sur le bassin qui consistent en un arbitrage entre les usages : en début de campagne, sur la base de bilans prospectifs à partir de la connaissance du stock d'eau disponible dans la retenue de Manantali et de prévisions d'ordre statistique des apports, le modèle propose une affectation de la ressource aux différents usages. En particulier, il définit le niveau de la crue artificielle qu'il est possible de réaliser compte-tenu du stock d'eau sans pénaliser les autres usages comme l'hydro-électricité.

Un site web, accessible depuis le site de l'OMVS, a été créé pour la diffusion et la visualisation des données. L'OMVS s'est approprié cet outil au travers de formations réalisées en plusieurs étapes. Le plan de formation axé sur les trois points suivants se poursuivait encore en 2010.

Pour assurer la pérennité de l'outil, l'une des conditions fermes était l'ouverture et l'évolutivité de l'outil. Le TBR peut effectivement s'enrichir en termes de données ainsi qu'en fonctionnalités nouvelles. Par ailleurs, l'internalisation de l'utilisation de l'outil par des formations renforcées, échelonnées sur plusieurs années et proposées aux différents partenaires de la chaîne de collecte et de traitement du TBR visait à assurer l'utilisation opérationnelle et pérenne du produit.

Néanmoins, **force est de constater que cet outil n'est plus opérationnel** comme le Consultant a pu le constater en interviewant le staff technique de l'OMVS. L'outil n'a pas pu être présenté au Consultant. Ceci est très dommage car cet outil avait un réel potentiel.

5.4.3.6. Conclusion sur les modèles de gestion de l'OMVS

Le tableau récapitulatif des modèles de l'OMVS déjà présenté dans le paragraphe 3.1.1.4 est ici rappelé :

Tableau 73- Informations relatives aux modèles de gestion de l'OMVS

Nom du modèle	Objet	Détenteur	Observation
SIMULSEN	Modèle de gestion de Manantali	SOGEM	Utilisé par la SOGEM
PROGEMAN	Logiciel de gestion temps réel de Manantali	SOGEM	Utilisé par la SOGEM mais obsolète
GESDIAM	Logiciel de gestion temps réel de Diama	SOGED	Opérationnel à Diama
COREDAM	Logiciel de calcul de la courbe de remous de Diama	SOGED	Non opérationnel à Diama
Tableau de bord de la ressource (TBR)	Modèle d'allocation besoins-ressources qui fonctionne sur la base d'indicateurs choisis par l'OMVS	OMVS	Non opérationnel
Modèle pluie-débit du haut-bassin	Modèle pluie-débit du haut-bassin	OMVS	DHI - Non opérationnel (clé perdue)
Modèle(s) hydrologique(s) du	Modèle(s) hydrologique(s) du SDAGE	OMVS	SCP - Non utilisé

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

SDAGE			
-------	--	--	--

Il ressort de ce tableau et de l'analyse précédente que seuls les modèles de gestion opérationnelle des barrages sont exploités et opérationnels. Les modèles dont la vocation est de réaliser des études ne sont pas exploités et sont perdus. Ceci traduit que, dans sa configuration actuelle, l'OMVS :

- a vocation, à travers la SOGED et la SOGEM, à exploiter des barrages, ce qu'elle fait en utilisant les modèles SIMULSEN, PROGEMAN et GESDIAM ;
- exerce la maîtrise d'ouvrage de nombreuses études mais en réalise peu par elle-même.

Dans la configuration actuelle des compétences de l'OMVS, il ne semble pas opportun de vouloir réhabiliter les logiciels d'étude (TBR, modèle pluie-débit du haut bassin, modèles hydrologiques du SDAGE). Ces modèles pourraient éventuellement être ré-exploités par des bureaux d'études chargés de réaliser de nouvelles études, mais pour ce faire, il faudrait que l'OMVS puisse mettre à disposition des BE toutes les composantes permettant de les ré-exploiter ; il est peu probable que cette condition puisse être satisfaite. Dans l'état actuel, seuls les BE ayant développé ces modèles pourraient peut-être les ré-exploiter.

En revanche les outils à vocation opérationnelle ont montré toute leur pertinence pour une exploitation par l'OMVS à travers la SOGED et la SOGEM. Ces outils deviennent difficiles à exploiter du fait de l'obsolescence des systèmes d'exploitation qu'ils utilisent et des données anciennes des modèles. En outre ils ne sont pas adaptés à la situation liée à l'équipement progressif du bassin de nouveaux barrages. Des questions se posent sur la pertinence des pas de temps et du type de modèle à exploiter suivant les questions à résoudre. Il est donc recommandé un portage de ces modèles sur de nouveaux systèmes d'exploitation et de profiter du portage pour en améliorer les modèles, les fonctionnalités et les interfaces homme-machine. Au final il s'agit là d'une refonte de ces modèles. Ceci devra être fait en étroite collaboration avec les exploitants de la SOGED et de la SOGEM.

A très court terme, des améliorations peuvent être apportés aux outils de la SOGEM et de la SOGED et plus particulièrement ceux de la SOGEM pour lesquels l'expression des besoins de l'exploitant est assez claire.

Avec le développement de nouveaux barrages réservoirs dans le bassin amont, la gestion opérationnelle hydrique du BFS va se complexifier. Il faudra mettre en place un centre de coordination dont le rôle sera d'optimiser la gestion multiple de l'eau dans le bassin. Des logiciels performants existent sur le marché qui peuvent être exploités pour l'élaboration de l'outil nécessaire à cette gestion coordonnée. D'ici 2025 et la mise en route de nouveaux barrages réservoirs (Koukoutamba notamment) un tel outil devra être opérationnel. Il sera alors pertinent que cette échéance corresponde à une refonte des outils équipant Manantali et Diama assurant la cohérence avec le nouvel outil de coordination et l'outil de gestion qui équipera les nouveaux barrages-réservoirs.

Il est souhaitable, voire nécessaire, que d'ici 2025 le réseau hydroclimatique automatique du BFS soit mis en place (cf. projet Sénégal-HYCOS) et que les interfaces entre le réseau hydrométrique, les bases de données et les outils de gestions soient opérationnels.

5.5. MODELISATION RESSOURCES-BESOINS, SIMULATION DES SCENARIOS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE (T2.3)

5.5.1. Les logiciels de modélisation ressources-besoins

Le Bassin du fleuve Sénégal est constitué de plusieurs composantes : des réservoirs, des stations de pompage, des sites de demande en eau, des centrales hydroélectriques, des apports par différents affluents et d'autres phénomènes agissant sur les eaux de surface et les aquifères. La modélisation de ce système complexe peut nécessiter d'apporter des simplifications sur ces phénomènes interagissant et caractérisant le système. De nombreux modèles ont été créés pour

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

l'optimisation et la simulation des systèmes hydrographiques. Ces modèles ont la capacité d'évaluer la réponse du système face aux déséquilibres hydrologiques et d'identifier les conséquences de ces changements sur la disponibilité de l'eau dans les différents secteurs.

La mise en place du PGIRE II cherche à optimiser la gestion de l'eau afin de satisfaire tous les usagers et de garantir une utilisation durable de la ressource. Dans l'étude, nous utilisons uniquement des logiciels de modélisation permettant d'optimiser la gestion de l'eau.

Nous avons examiné les principaux logiciels de modélisation sur le marché :

- **AQUATOOL**³⁸ : est un logiciel développé par l'Université Polytechnique de Valencia (UPV). Il est couramment utilisé par plusieurs organismes de bassin de l'Espagne (et de l'étranger notamment l'Argentine, le Brésil, le Maroc, le Pérou...) pour l'étude de la gestion des ressources hydrographiques et plus particulièrement la prévision des stress hydriques susceptibles de se produire dans certains cours d'eau des pays. Ce logiciel a été conçu pour l'aide à la gestion de bassins complexes comprenant plusieurs réservoirs, aquifères et demandes.
- **MIKE BASIN** : est un outil professionnel d'aide à la décision dédié à la gestion de la ressource en eau développé par DHI. Il permet, à l'échelle d'un bassin versant, d'optimiser l'utilisation de la ressource eau en fonction des demandes et des contraintes techniques, économiques, sociales et politiques³⁹. MIKE BASIN permet de décrire les demandes multisectorielles (usage domestique, industrie, agriculture, production d'électricité, navigation, environnement...) ainsi que des règles de priorité entre chacune de ces utilisations. Chaque variable d'entrée peut être optimisée grâce à une macro de calcul adaptée définie dans le logiciel. Le concept mathématique de MIKE BASIN consiste à définir une solution stationnaire à chaque pas de temps. Il en résulte une grande souplesse dans l'utilisation de l'outil: rapidité des simulations, absence d'instabilités numériques, stockage d'un grand nombre de résultats...
- **MODSIM**⁴⁰ : est un modèle d'optimisation basé sur la simulation, développé pour l'étude multicritère des bassins hydrographiques. Ce modèle, jugé très efficace en termes de capacité de stockage des données, combine une technique d'optimisation hybride (MODSIM) à un algorithme d'optimisation méta-heuristique (PSO) pour proposer des politiques d'allocation économiquement efficaces ou équitables des ressources en eau⁴¹.
- **RIBASIM** : est un modèle de simulation développé par Delft Hydraulics qui convient bien à l'analyse des impacts de la mise en service de nouveaux aménagements sur l'hydrologie du bassin. Il permet d'évaluer une variété de mesures liées à la gestion opérationnelle des infrastructures et à la répartition des ressources entre les secteurs. L'outil calcule périodiquement le bilan volumique massique du système compte tenu des volumes entrants, des volumes sortants et des consignes de gestion prédéfinies. RIBASIM peut se lier à d'autres programmes tels que HYMOS ou DELWAQ afin de pouvoir élargir la gamme de variables analysées (qualité de l'eau...).
- **WEAP**⁴² (Water Evaluation And Planning System) : est un outil d'analyse de l'équilibre ressources besoins développé aux Etats-Unis par l'Institut Environnemental de Stockholm (SEI). Il fournit un cadre compréhensif, flexible et convivial pour la planification et l'analyse des politiques de répartition des ressources en eau entre différents usages. Il simule une large gamme de composantes naturelles et anthropiques des systèmes, y compris les eaux de surface, les eaux souterraines, la répartition multisectorielle des ressources en eau. C'est un outil parfaitement rôdé qui a été appliqué dans de nombreux pays et de nombreuses études relatives à l'évaluation des politiques de l'eau. Opérant sur les principes de l'équilibre ressources besoins, WEAP est applicable aux systèmes d'adduction d'eau municipaux et agricoles, à des zones de planification uniques ou pour des systèmes complexes de rivières

³⁸ Source : http://www.upv.es/aquatool/en/index_en.html

³⁹ Source : https://www.esrifrance.fr/sig2006/DHI_MIKEBASIN.html

⁴⁰ Source : <http://modsim.engr.colostate.edu/>

⁴¹ Source : Allocation optimale de l'eau dans le bassin versant du fleuve Sénégal- Ndèye Aïda Thiam, Université de Laval

⁴² Source : <http://www.weap21.org>

de grandes dimensions. De plus WEAP peut traiter une large gamme de questions : analyses sectorielles de la demande, préservation de l'eau, droit à l'eau et priorités d'allocation, simulation des eaux souterraines et de surface, gestion des retenues, production d'énergie hydroélectrique, suivi de pollutions, exigences des écosystèmes, mesures de vulnérabilité, analyse coût-bénéfice des projets.

WEAP est un logiciel tout à fait adapté à cette étude et parfaitement rodé pour la planification de la répartition des ressources en eau entre différents usagers et différents pays. De plus, le Consultant connaît bien ce logiciel. En effet, ARTELIA l'a déjà utilisé à plusieurs reprises dans ses études, notamment en 2006-2007 pour réaliser l'étude de la « Stratégie nationale de gestion et de développement des ressources en eau » au Qatar et en 2016 au Vietnam pour réaliser l'étude « Evaluation de l'impact cumulatif et optimisation de la gestion de l'eau dans le bassin de la rivière Ma ».

Le logiciel utilisé pour l'élaboration du PGIRE I était WEAP et d'autres études réalisées ont utilisé ce logiciel (rapport de la Banque Mondiale). Ce logiciel a donc plusieurs fois modélisé la gestion de l'eau sur le BFS. Il est donc plus logique de choisir le logiciel WEAP.

5.5.2. Présentation du logiciel retenu et de la méthodologie

5.5.2.1. Présentation du logiciel

WEAP est un outil d'analyse de l'équilibre ressources besoins développé aux Etats-Unis par l'Institut de l'Environnement de Stockholm (SEI) avec le soutien du « Hydrologic Engineering Center of the US Corps of Engineers ».

WEAP n'est pas un logiciel libre ; il fait l'objet de développements réguliers et d'une maintenance rigoureuse par SEI. Une licence d'utilisation peut être obtenue gratuitement par les organisations publiques des pays en voie de développement ; en revanche les bureaux d'étude des pays avancés doivent acheter une licence pour pouvoir l'exploiter.

C'est un outil parfaitement rôdé qui a été appliqué dans de nombreux pays et de nombreuses études relatives à l'évaluation des politiques de l'eau. Il fournit un cadre compréhensif, flexible et convivial pour la planification et l'analyse des politiques de répartition des ressources en eau entre différents usages. Il simule une large gamme de composantes naturelles et anthropiques des systèmes, y compris les eaux de surface, les eaux souterraines, la répartition multisectorielle des ressources en eau, la gestion des barrages réservoirs, la production hydroélectrique, etc.

Opérant sur les principes de l'équilibre ressources besoins, WEAP est applicable aux systèmes d'adduction d'eau municipaux et agricoles, à des zones de planification uniques ou pour des systèmes complexes de rivières de grandes dimensions. De plus WEAP peut traiter une large gamme de questions : analyses sectorielles de la demande, préservation de l'eau, droit à l'eau et priorités d'allocation, simulation des eaux souterraines et de surface, gestion des retenues, production d'énergie hydroélectrique, suivi de pollutions, exigences des écosystèmes, mesures de vulnérabilité, analyse coût-bénéfice des projets.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

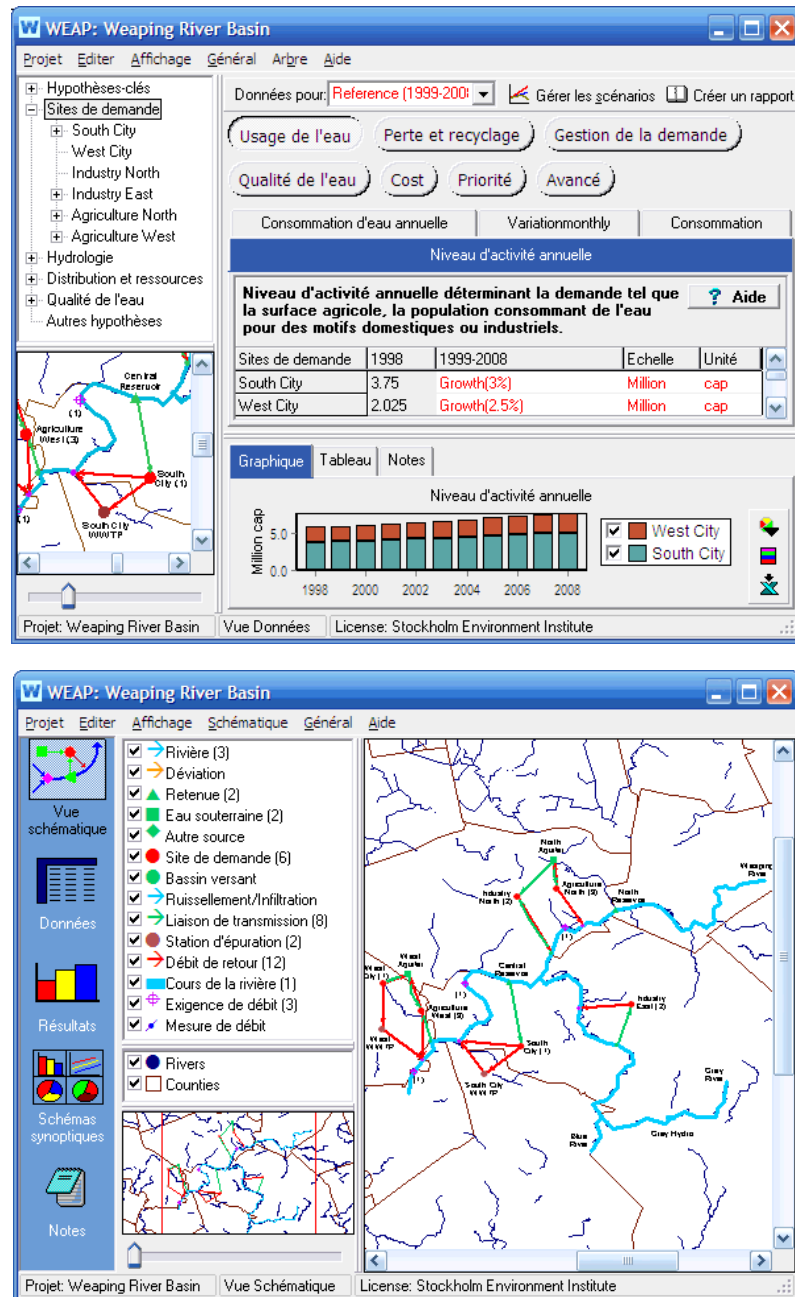


Figure 103. Interface du modèle WEAP (source : SEI)

Au moyen de WEAP nous préciserons les contours des scénarios proposés qui permettent de satisfaire les besoins et usages d’ici 10 ans (2025) et 35 ans (2050).

Nous déterminerons en particulier les conditions nécessaires pour que les besoins et usages restent satisfaits pendant la saison sèche en réalisant une évaluation de la résilience à un épisode de sécheresse ; inversement nous mettrons en évidence les périodes lorsque certains besoins ou usages pourraient ne pas être satisfaits.

La production d’électricité est actuellement la priorité des Etats membres de l’OMVS. Les consignes de gestion de la ressource vont continuer à refléter ce choix. Bien que la production d’hydroélectricité soit un usage non consommateur de l’eau –l’eau turbinée étant disponible pour les autres usages– elle requiert un débit minimum garanti toute l’année. Ce turbinage constant peut nuire à certaines activités, notamment la crue annuelle ce qui peut avoir des impacts important pour les cultures de décrue, mais également pour la santé de l’environnement du bassin.

Un des enjeux majeurs de gestion de l'environnement du bassin du fleuve est donc d'une part d'optimiser la disponibilité et la qualité de l'eau, et d'autre part de contenir la demande sans pour autant pénaliser les efforts de développement des pays riverains. Le modèle WEAP va donc essayer d'optimiser cette gestion tout en satisfaisant au mieux les exigences des pays et la protection de la ressource et de l'environnement.

Le modèle WEAP sera construit à l'échelle de l'ensemble du bassin du fleuve Sénégal.

5.5.2.2. Présentation du modèle

Le modèle a été construit au pas de temps mensuel. Ce pas de temps semble le plus approprié pour modéliser l'adéquation ressources besoins sur le bassin du fleuve Sénégal. Ce choix se justifie par la facilité d'obtenir des données de débits et de consommation d'eau au pas de temps mensuel. Ce logiciel va servir à définir un plan de gestion des ressources en eau en suggérant les règles de gestion et les mesures à prendre. En aucun cas, ce logiciel ne permet de définir les règles précises de gestion des barrages. Le choix du pas de temps mensuel est donc suffisant. Un « inconvénient » de ce pas de temps est la mauvaise représentation de la crue artificielle annuelle. En effet, à ce pas de temps, la crue générée est lissée sur le mois, il est donc impossible de la modéliser précisément, ce qui de toute façon n'était pas le but de l'étude.

Le modèle WEAP a été construit à l'échelle de l'ensemble du bassin du fleuve Sénégal. Au moyen de WEAP, nous préciserons les contours des scénarios proposés qui permettent de satisfaire les besoins et usages futurs.

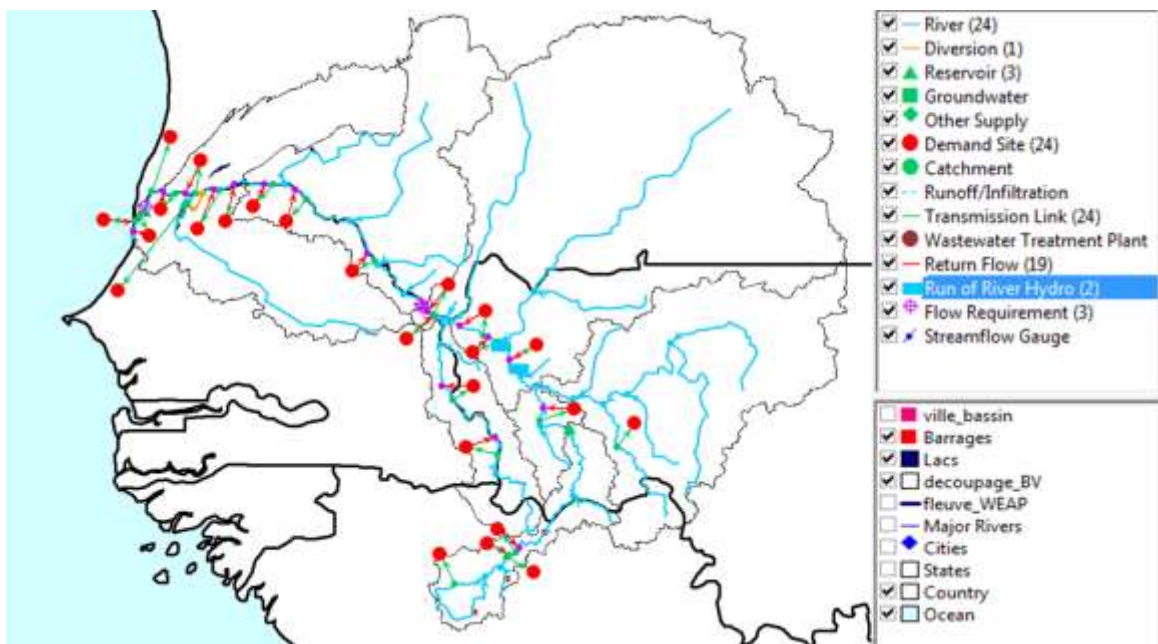


Figure 104. Architecture du modèle développé sur le BFS (source : ce rapport)

5.5.2.2.1. Les données hydrologiques

A. Les apports hydrologiques

a) En amont de Bakel

Les chroniques d'apports pour chaque sous bassin versant ont été générées à partir des chroniques de débits mesurés aux stations clés du bassin du Sénégal. Ces stations hydrométriques ont été présentées dans les parties 3.1.2.3 et 4.2.3 « Analyse des données de débits ». Ces stations sont gérées par l'OMVS et sont suivies régulièrement depuis 50 ans, fournissant ainsi des chroniques d'apports complètes et robustes. Les données mesurées au pas de temps journalier ont été agrégées au pas de temps mensuel.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Afin de faciliter la mise en œuvre du modèle, une station sur le fleuve Sénégal sera prise par sous bassin et si possible une station sur chaque affluent principal afin de connaître les apports latéraux. Des données en amont de Daka-Saidou permettraient, par exemple, une meilleure description des apports des sous-bassins versants alimentant les barrages de Balassa, Koukoutamba et de Boureya. Dans l'Actualisation de la Monographie Hydrologique du fleuve Sénégal, des valeurs des débits mensuels en amont de Daka-Saidou sur la Bafing ont été reconstituées sur la période 1904-2011 pour plusieurs stations situées sur différents affluents :

- La station de Sokotoro sur le Bafing (au niveau du barrage de Balassa) ;
- La station de Bebele sur le Téné (principal affluent du Bafing sur la partie amont à Daka Saidou) ;
- La station de Balabori sur la Bafing, en aval de la confluence avec le Téné et le bassin versant du Koukoutamba.

La série de débits de la station de Sokotoro va permettre de connaître les apports en eau au barrage de Balassa. La différence entre les débits de la station de Bebele et Sokotoro avec la station de Balabori va permettre d'avoir la chronique d'apports du bassin versant du Koukoutamba sur la période 1904-2011. Ces valeurs seront utilisées au pas de temps mensuel dans le modèle WEAP afin de mieux prendre en compte la recharge des réserves de Koukoutamba. Les apports mensuels pour le barrage de Boureya sont donnés par la station de Balabori.

Sur le SB4, la station intermédiaire de Gourbassi va permettre de connaître les apports pour le futur barrage de Gourbassi afin de mieux prendre en compte la variation du niveau d'eau dans sa retenue.

Sur le SB5, la station intermédiaire de Gouina va permettre d'avoir les apports pour le futur barrage de Gouina et pour le barrage de Félou (en amont de Bakel).

Aucun projet de barrage pris en compte dans le modèle n'est situé sur le Baoulé ou sur le Bakoye. Nous n'avons donc pas cherché à décrire plus spécifiquement ces deux affluents. La station d'Oualia en aval de leur confluence suffit pour le modèle. Des données détaillant des stations en amont d'Oualia sont présentées dans l'Actualisation de la Monographie Hydrologique du fleuve Sénégal.

Tableau 74 – Stations hydrométriques clés par sous bassin versant

Sous bassin	Station Hydrométrique clé	Cours d'eau	Période
SB1	Sokotoro	Bafing	1904-2011
SB1	Balabori	Bafing	1904-2011
SB1	Bafing Makana	Bafing	1903-2017
SB2	Dibia	Bafing	1903-2011
SB3	Oualia	Bakoye	1903-2017
SB4	Gourbassi	Falémé	1904-2011
SB4	Kidira	Falémé	1903-2017
SB5	Gouina	Sénégal	1904-2011
SB5	Bakel	Sénégal	1903-2017

Pour les affluents principaux tels que la Kolimbiné et le Karakoro, nous n'avons pas trouvé d'information sur les débits. Dans la monographie, ces affluents sont décrits comme peu abondants et à secs pendant 4 à 8 mois chaque année. L'arrêt des écoulements survient entre décembre et février et reprend à partir de juin ou juillet avec une période d'écoulement continu en août septembre. Pour combler l'absence de données, nous avons trouvé des données d'apports annuels dans la monographie et donc estimé dans le modèle WEAP leurs apports mensuels. L'impact de cette approximation est limité. En effet, les apports de ces affluents concernent

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

uniquement la saison des pluies, de juin à octobre principalement. Or durant cette période, la quantité d'eau n'est pas limitante pour les activités agricoles et en aval de ces affluents, il n'y a pas de production d'hydroélectricité.

b) En aval de Bakel

Pour le SB6 et le SB7, nous ne disposons pas d'une série complète de débits à Podor ou à Diama. La mise en service du barrage anti-sel de Diama en 1986 a complètement modifié le régime du fleuve Sénégal en aval. Il n'est donc pas possible de mener une étude hydrologique sur le régime du fleuve Sénégal à Podor ou à Diama.

En l'absence de données mesurées de débits sur les affluents en aval de Bakel, nous avons exploité les données reconstituées présentées dans le SDAGE- phase 3 : Schéma directeur.

- Bassins du Ghorfa et du Niorde : 316 millions de m³/an (débit moyen de 10 m³/s) ;
- Bassin du Gorgol : entre 255 et 565 millions de m³/an (valeur minimale retenue, soit un débit de 8 m³/s) ;
- Bassin du Ketchi/Aleg : 120 millions de m³/an (débit moyen de 3.8 m³/s) ;
- Système du lac de R'Kiz : 140 millions de m³/an (débit moyen de 4.4 m³/s) ;
- Bassins en aval de Rosso : 300 millions de m³/an (débit moyen de 9.5 m³/s).

La contribution de ces bassins représente seulement 5 à 6% de l'ensemble des apports du fleuve qui s'élèvent en moyenne à 18.6 milliards de m³/an à Bakel (sur la période 1950-2010).

Pour estimer les apports mensuels de ces affluents, nous avons cherché à utiliser un hydrogramme type afin de répartir au mieux ces apports tout au long de l'année.

Le Ghorfa, le Niorde et le Gorgol sont des affluents semi temporaires, ils sont à sec une partie de l'année : de novembre à mai généralement.

Tableau 75 – Répartition du débit pour l'Oued Ghorfa, le Niorde⁴³ et le Gorgol⁴⁴

		Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre
oued Ghorfa	Contribution	3%	13%	21%	37%	26%
	apport Mm ³	9.48	41.08	66.36	116.92	82.16
	débit (m ³ /s)	3.66	15.85	25.60	45.11	31.70
Niorde	Contribution	0.4%	4%	20%	54%	22%
	apport Mm ³	1.264	12.64	63.2	170.64	69.52
	débit (m ³ /s)	0.49	4.88	24.38	65.83	26.82
Gorgol	Contribution	3%	19%	42%	34%	3%
	apport Mm ³	11.21	79.14	170.46	138.28	10.91
	débit (m ³ /s)	4.32	30.53	65.76	53.35	4.21
Oued Kethi	Contribution	2%	12%	28%	42%	17%
	apport Mm ³	2.56	14.4	33.2	50	20.4
	débit (m ³ /s)	0.99	5.56	12.81	19.29	7.87

L'analyse de la dynamique de remplissage du lac de Mâle montre qu'à son remplissage maximum, durant la saison des pluies, il peut atteindre 13.7 Mm³. A la fin de la saison des pluies, les batardeaux du barrage sont ouverts, et commence alors une longue période de décrue vers le lac aval, qui peut durer plus de 7 mois selon le remplissage de la cuvette amont au départ.

⁴³ Etude hydrologique des oueds Ghorfa et Niorde et des Ouilos en amont de Kaédi, ORSTOM 1967

⁴⁴ Etude hydrologique des Gorgol, ORSTOM 1978

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****Tableau 76 – Dynamique de la superficie saisonnière du lac de Mâle⁴⁵**

Mois	Superficie (m ²)	Superficie (%)	Volume Mm ³
Juillet - Octobre	13 000 000	100%	13.65
Novembre - Janvier	6 500 000	50%	6.825
Février - Avril	3 000 000	23%	1.56975
Mai - Juin	80 000	0.6%	0.0094

On observe une diminution similaire sur le Lac d'Aleg. Malheureusement, nous n'avons pas de données suivant son évolution annuelle.

Le lac de Guiers a connu beaucoup de mutations dans le passé du fait de plusieurs aménagements et réaménagements. La gestion du lac de Guiers se divise en deux phases :

- La phase de remplissage de juin à mi-octobre, les vannes sont ouvertes pour permettre le remplissage par les eaux du fleuve via le canal de Tahouey ;
- La phase d'isolement de mi-octobre à début juin avec la fermeture des ouvrages de la Tahouey. Une des vannes reste ouverte pour permettre à la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) de pomper dans le lac pour l'irrigation.

Depuis la construction du barrage de Diama et de Manantali, les niveaux de remplissage du lac se sont améliorés et la phase d'isolement est plus longue. Le lac de Guiers est de plus en plus soumis aux variations de niveau du fleuve. Le rapport de Cogels de 1994 estime que les apports du Lac proviennent à 85% des apports fluviaux à travers le canal, à 7% des rejets des eaux de drainage et de 8% des précipitations.

Les apports du fleuve ne sont pas connus. En effet, les débits entrant dans le canal de Tahouey ne sont pas mesurés. Le volume entrant dépend de la cote au niveau de la prise d'eau, à Richard Toll. Dans le modèle, nous n'avons considéré aucun apport lors de la phase d'isolement. Lors de la phase de remplissage du lac, nous avons considéré un pourcentage du débit du fleuve entrant dans le canal de Tahouey pour alimenter le lac. Les apports annuels sont estimés à un peu plus de 570 Mm³ se répartissant sur les mois de janvier, juin, juillet, août, septembre et octobre. Le tableau ci-dessous montre les volumes mensuels moyens transférés du fleuve vers le lac.

Tableau 77 – Apports mensuels du fleuve vers le Lac de Guiers (source : Fonctionnement et bilan hydrologique du lac de Guiers en 1991)

Apports fleuve	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Mm ³	40.82	0.00	0.00	0.00	0.00	59.30	153.19	154.04	128.87	34.76	0.00	0.00
m ³ /s	15.24	0.00	0.00	0.00	0.00	22.88	57.19	57.51	49.72	13.41	0.00	0.00
Pourcentage du débit à Dagana	26%	0%	0%	0%	0%	26%	19%	7%	4%	1%	0%	0%

Pour intégrer ces transferts dans le modèle WEAP, nous avons estimé le pourcentage que ce débit représente par rapport au débit du fleuve (à Dagana). Les apports du fleuve dépendent ainsi de la quantité d'eau présente dans le fleuve Sénégal. Les données utilisées datent d'avant les années 2000, il se peut que, depuis, les apports par le canal de Tahouey soient différents mais faute de données, nous utiliserons ces données dans le modèle.

⁴⁵ Apport de l'analyse spatiale à l'étude du rôle des dépressions dans la dynamique hydrologique d'un bassin versant en milieu nord-sahélien : le cas du lac Mâle (Brakna, Mauritanie), thèse Jean Gassani, 2008

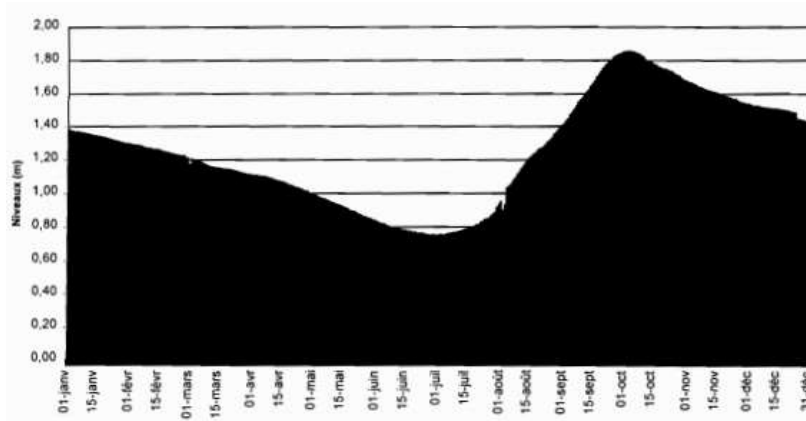


Figure 105. Niveaux moyens journaliers du lac de Guiers de 1985 à 1997⁴⁶

Le lac de Guiers est alimenté par la Tahouey, un des principaux défluent du Sénégal. Nous avons peu de données de débits de la Tahouey, seulement de 1999 à 2006.

c) Les estimations des apports futurs

Les chroniques d'apports exploitées sont, d'une part, les séries observées sur la période 1990-2010, appliquées en prédiction jusqu'à 2050 et, d'autre part, les séries observées sur la période 1970-1990 appliquées en prédiction sur la période 2050-2100.

B. Les pertes par évaporation

Les données pluviométriques ont été considérées pour estimer les volumes évaporés sur le cours du fleuve. L'OMVS en partenariat avec l'IRD a étudié en 2010 la dynamique de l'évaporation sur le BFS. Il est difficile de déterminer avec exactitude les volumes réellement perdus. Selon cette étude, l'OMVS estime que sur le haut bassin du Sénégal, les volumes évaporés peuvent être négligés à cause des fortes précipitations et de la température relativement basse.

Pour la partie basse du bassin du Sénégal, la vallée et le delta, l'estimation des volumes évaporés s'est basée sur les études d'optimisation de la gestion du réservoir de Manantali (Bader et al. 2000) et les études d'estimations des précipitations de la vallée menées par Albergel et al. (1994).

L'évaporation est minimale pendant la saison des pluies en raison de la baisse des températures et de l'humidité relativement élevée de l'air. Durant la saison sèche, entre les mois de mars et de mai, l'évaporation est maximale à cause de l'absence de précipitations, des fortes températures et de la vitesse élevée des vents. Sur le tronçon Bakel-Diama, les pertes moyennes mensuelles sont estimées à 30 m³/s⁴⁷.

Avec le changement climatique, les températures devraient augmenter, donc les pertes par évaporation devraient également augmenter. L'OMVS a fixé les pertes moyennes mensuelles sur ce même tronçon à 73 m³/s d'ici 2025. Ces pertes ont été évaluées à partir de taux d'évaporation donnés par Cogels et al. (1991) et de précipitations données par Albergel et al. (1994).

⁴⁶ Etude de l'évolution de la région du Lac de Guiers, apports de la télédétection au suivi du milieu, Souleymane Gueye

⁴⁷ Source : Gestion intégrée des ressources en eau du bassin du Sénégal. Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs, Jean Pierre Lamagat, Jean Claude Bader ; 2007

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 78 – Evaporation moyenne mensuelle sur le tronçon Bakel-Diama (source Bader et al. 2003)

	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Evaporation à Bakel (mm)	10	11,4	12,4	13,1	13,4	10,9	6,3	3,8	3,2	5,4	8,3	9,1
Débits évaporés (m³/s)	26,3	29,8	33,3	39,6	41,6	37,5	22,4	17,3	15,3	38,3	32,6	25,7
Prévision d'évaporation moyenne en 2025 (m³/s)	64,1	72,6	81,1	96,4	101,3	91,3	54,6	42,1	37,3	93,3	79,4	62,6

5.5.2.2.1. Caractéristiques des barrages

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

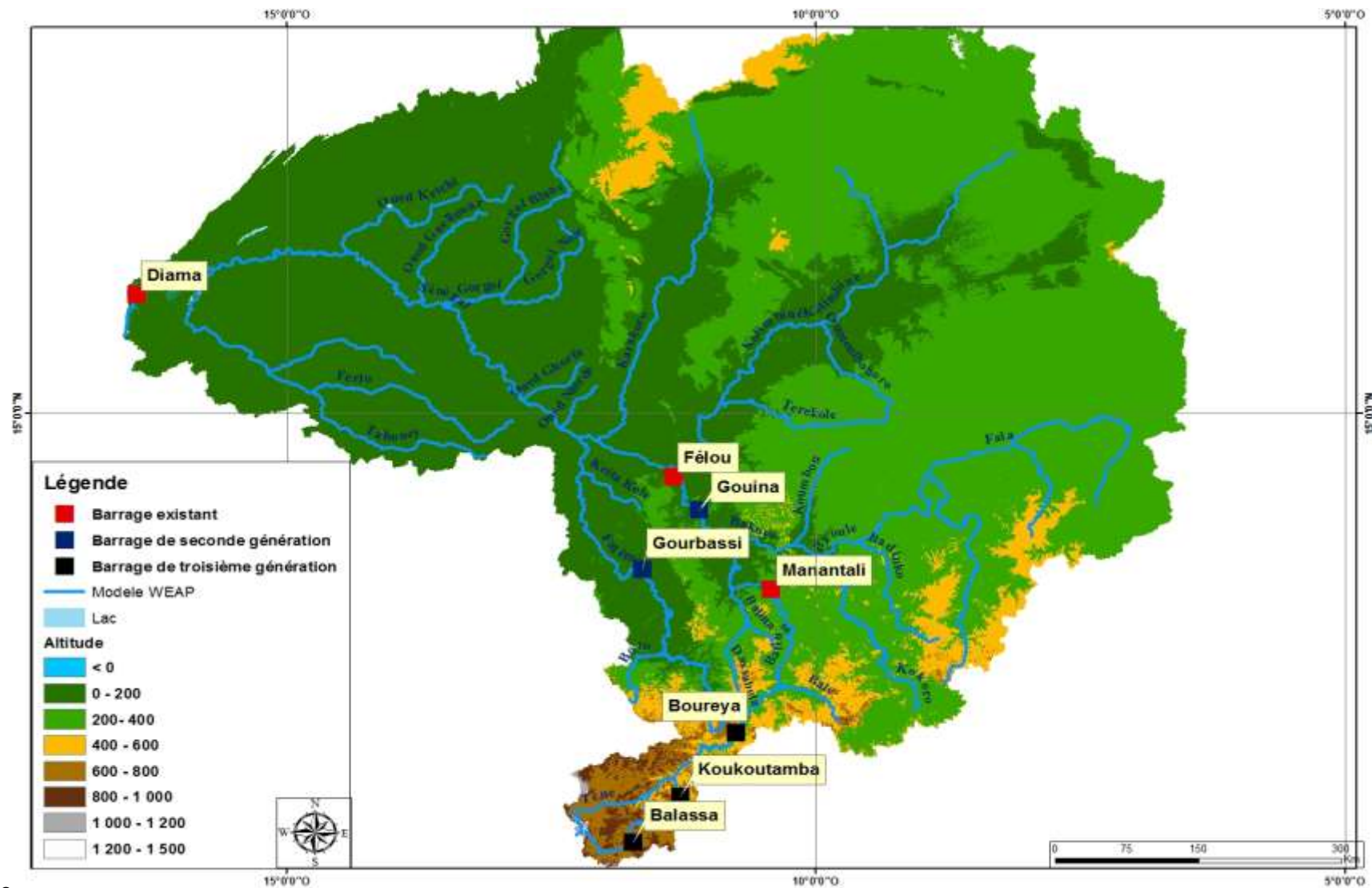


Figure 106. Présentation du modèle WEAP avec les affluents et les barrages considérés (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Lors de la réalisation du modèle WEAP, nous devons faire figurer tous les barrages hydroélectriques et les retenues d'eau actuels et en projets. Pour chacun des barrages, il est possible de renseigner plusieurs caractéristiques du barrage afin de prendre en compte son impact sur la gestion des ressources en eau. Pour les barrages hydro-électriques, il est possible de renseigner la puissance des turbines installées et leur capacité de turbinage. Avec ces informations, le logiciel pourra calculer, pour chaque année, la production hydroélectrique de chaque barrage.

Les barrages de Félou, Gouina et Goubassi sont dits de seconde génération. Alors que les barrages de Balassa, de Boureya et de Koukoutamba sont dits de 3^{ème} génération, les études d'avant-projet et de faisabilité sont en cours ainsi que la mobilisation des financements. La puissance installée ainsi que le volume total de la retenue ne sont donc pas fixés.

La réalisation des ouvrages de Boureya, Félou, Gouina, Goubassi et de Koukoutamba associée à la réalisation du schéma directeur régional de transport d'énergie et d'interconnexion permettra :

- d'exploiter environ 66%⁴⁸ de la puissance hydroélectrique totale du bassin, avec une capacité installée de 865 MW, soit une production moyenne de 3 300 GWh/an (avec le barrage de Balassa, l'utilisation du potentiel hydroélectrique de fleuve serait proche de 80%) ;
- de stocker près de 23 milliards de m³ d'eau, et d'atteindre ainsi une maîtrise quasi-totale (plus de 97%) des débits du fleuve Sénégal ;
- à terme, une économie annuelle d'environ 240 milliards de Francs CFA sur les factures pétrolières des Etats ;
- aux Etats de bénéficier des multiples avantages de l'interconnexion et des échanges d'énergie électrique.

La possibilité de combiner la réalisation d'un aménagement à Goubassi pour un stockage de 2,1 milliards de m³ d'eau sur la Falémé avec la réalisation d'un barrage à Galougo pour une retenue de 32 milliards de m³ d'eau sur le fleuve Sénégal semble ne plus être d'actualité.

Tableau 79 – Récapitulatif des caractéristiques de production hydroélectrique des barrages actuels et en projet (source : SDAGE et OMVS)

Site de barrage	Cours d'eau	Type de barrage	Volume total retenu (Md m ³)	Volume utile (Md m ³)	Puissance installée (MW)	Production moyenne (GWh/an)	Capacité de turbinage (m ³ /s)	Date de mise en marche
Balassa	Bafing	Au fil de l'eau	-	-	180.9	470.3	125	2025
Boureya	Bafing	Réservoirs	5.5	2.85	160.6	717.4	370	2020
Diama	Sénégal	Anti-sel	0.59	0.34	-	-	-	1985
Félou	Sénégal	Au fil de l'eau	-	-	60	320	500	2016
Gouina	Sénégal	Au fil de l'eau	-	-	140	500	700	2017
Goubassi	Falémé	Réservoirs	2.1	1.5	25	104	60	2025
Koukoutamba	Bafing	Réservoirs	3.6	2.9	280.9	858	400	2025
Manantali	Bafing	Réservoirs	11.3	8	200	800	491	1988

⁴⁸Source : <http://www.portail-omvs.org/infrastructure-regionale/barrages/projets-barrages>

FIGURE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

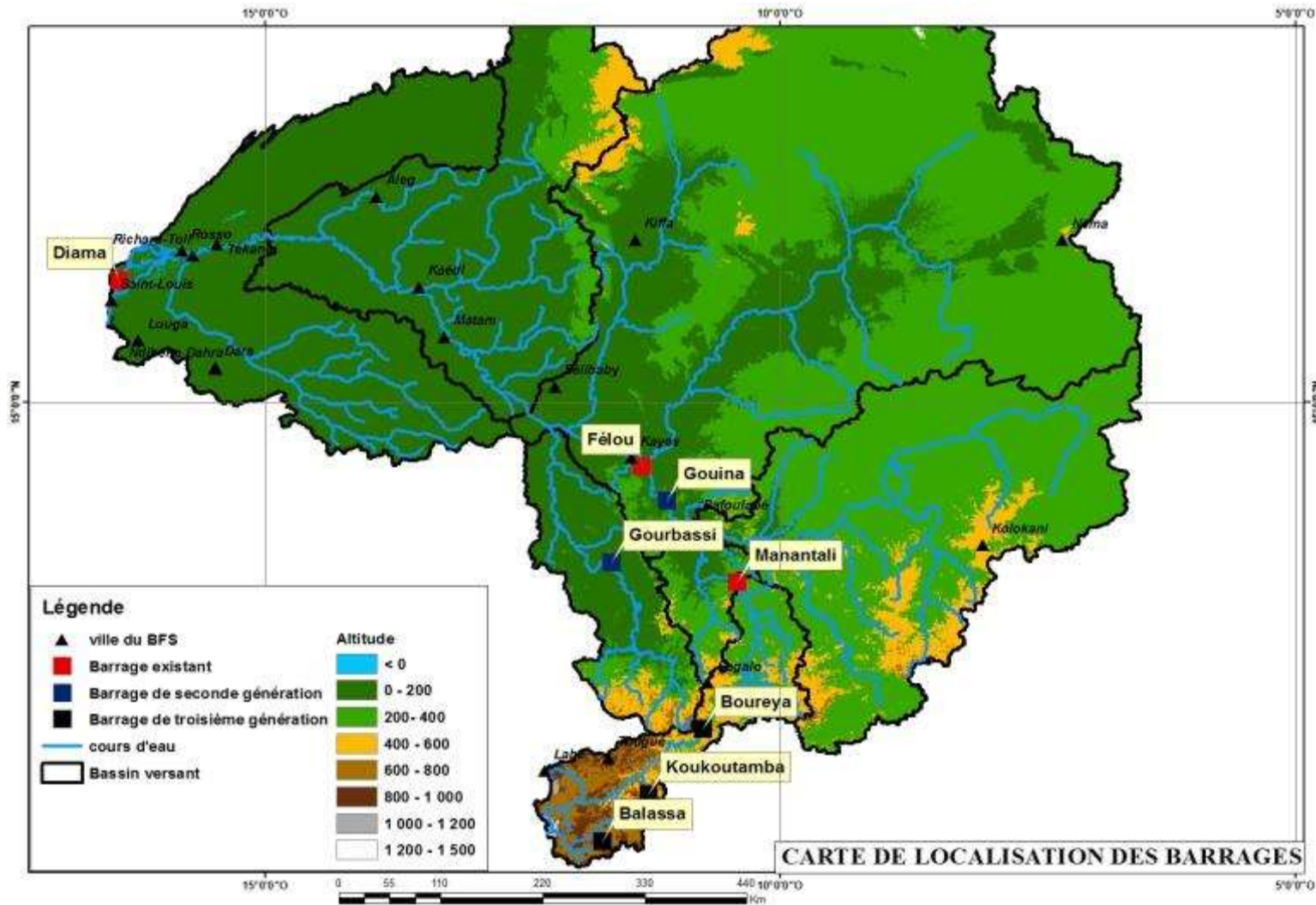


Figure 107. Carte de localisation des barrages existants et en projet dans le BFS (source : ce rapport)

Il est supposé, dans tous les scénarios calculés, que la puissance électrique qui peut être absorbée sur le réseau est toujours supérieure à la puissance installée au barrage. De plus, la retenue est supposée pleine au début de chaque calcul, pour la date de mise en fonctionnement du barrage.

Pour les barrages hydroélectriques, dans la partie ci-dessous, nous avons présenté les caractéristiques plus spécifiques des barrages : la relation hauteur-volume et hauteur-superficie et également les pertes mensuelles par évaporation. En effet, au vu de l'importance de certains réservoirs, les pertes nettes mensuelles par évaporation au niveau des barrages doivent être prises en compte dans le modèle, surtout que ces pertes se produisent principalement lors de la saison sèche. Pour les barrages de Balassa, de Félou et de Gouina, comme ils sont de type « fil de l'eau » et n'ont donc pas de réservoir, nous avons considéré les pertes nettes par évaporation à leur niveau comme étant nulles. Les valeurs utilisées dans le modèle sont les valeurs d'évaporation nette (évaporation moins les apports pluviométriques)

Dans le modèle, nous prenons également en compte les courbes de fonctionnement des barrages (ces figures sont présentées ci-dessous). Ces courbes, présentées dans les annexes de la phase 3 du SDAGE, servent à déterminer les niveaux de déstockage des réservoirs. Dans le modèle, ces courbes de fonctionnement sont prises en compte dans le scénario de référence ; elles sont utilisées comme indicateur. Selon les résultats obtenus, nous proposons différentes variantes pouvant modifier ces courbes de fonctionnement des réservoirs des barrages et ainsi proposons d'autres courbes de fonctionnement.

Ces courbes concernent uniquement les 4 barrages avec un réservoir. Sur les graphiques représentant les courbes de fonctionnement des réservoirs, on identifie :

- La courbe de sécurisation (bleue claire) qui représente le volume minimum qu'il faut conserver dans la retenue pour garantir les besoins définis prioritairement (AEP dans ce cas-ci) ;
- La courbe de protection (bleue foncée) qui représente le volume maximal à conserver dans la retenue pour pouvoir laminier la crue ;
- La courbe de turbinage (violette) qui est la courbe qui permet d'optimiser la production hydroélectrique, tout en tenant compte des besoins en eau à satisfaire à l'aval du barrage.

A. Balassa

Le site du barrage de Balassa est à 70 km environ au Sud-Est de Dabola, à 12 km environ à l'Est de la ville de Timbo et à 1,5 km environ en aval du confluent Sain (Hériko) Bafing. L'accès se fait à partir du sentier reliant le village Kilma au village Balassa.

Les coordonnées géographiques sont 10° 37' 15" N-S et 11°44' 45" E-O.

Les caractéristiques principales de l'ouvrage fixées en phase de Pré faisabilité (1982) sont les suivantes :

- Type de barrage: terre ;
- Cote de retenue normale (RN): 635 m ;
- Débit d'équipement : 125 m³/s ;
- Hauteur de chute : 190 m ;
- Puissance installée: 181 MW ;
- Productible moyen annuel : 470,3 GWh/an.

B. Boureya

Le site de l'aménagement de Boureya se trouve sur le fleuve Bafing, un des principaux affluents du fleuve Sénégal, en territoire guinéen, à 132 km de Dabola et à une trentaine de kilomètres à

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

l'amont de la frontière guinéo-malienne. Cet aménagement sera à buts multiples comportant un barrage haut de 64 mètres. La puissance installée prévue est d'environ 161 MW.

Les coordonnées de l'axe du barrage sont : 11°44' N et 10°45' W

Ces lois permettent de connaître le volume d'eau stocké en fonction de la hauteur. Elles seront intégrées dans le logiciel de modélisation.

Tableau 80 - Lois hauteur/volume et hauteur/surface de la retenue de Boureya (source : SDAGE)

Boureya :

H (m)	V (10 ⁶ m ³)	S (km ²)
322.0	0	0
335.0	474	21
340.0	565	20
345.0	661	20
350.0	798	23
355.0	1 016	35
360.0	1 352	57
364.0	1 730	86
368.0	2 228	127
370.5	2 650	159
371.0	2 691	166
374.0	3 239	214
377.0	3 882	271
380.0	4 627	338
383.0	5 500	420

La problématique des pertes par évaporation sur le lac de retenue de Boureya a été traitée également dans l'étude de faisabilité et d'avant-projet. On rappelle dans le tableau ci-dessous, les valeurs moyennes mensuelles de pertes brutes, apports et pertes nettes sur la retenue de Boureya.

Tableau 81 - Retenue de Boureya – pertes brutes, pertes nettes et apports – moyennes mensuelles

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
ETP Mensuelle (mm)	134	139	172	173	146	115	100	96	101	107	107	119	1510
Pluie Mensuelle (mm)	3	3	10	46	147	235	316	354	280	150	34	6	1584
Pertes nettes par évaporation (mm)	131	136	162	127	-1	-120	-216	-258	-179	-43	73	113	-74

Compte tenu des précipitations moyennes mensuelles enregistrées sur la zone, il est montré que les valeurs annuelles des pertes nettes sont négatives.

Un débit réservé de 10 m³/s est considéré pour l'aménagement. Cette valeur a été prise égale à celle définie dans le mode de gestion actuel de l'aménagement de Manantali, situé en aval de Boureya, sur le cours malien du Bafing. De plus, et du fait de la présence de l'usine en pied immédiat du barrage, la valeur de ce débit réservé n'a pas d'incidence en terme de productible puisqu'il est également turbiné.

Du point de vue agricole, le seul projet de développement actuellement à l'étude (et ce depuis de nombreuses années sans réelle avancée notable), est le PDRI/HGO (Projet de Développement Rural Intégré de la Haute Guinée Occidentale). Ce projet concerne cependant plutôt la région de

Dinguiraye/Kouroussa et ne prévoit que la mise en valeur de 1000 hectares de terres agricoles par l'irrigation.

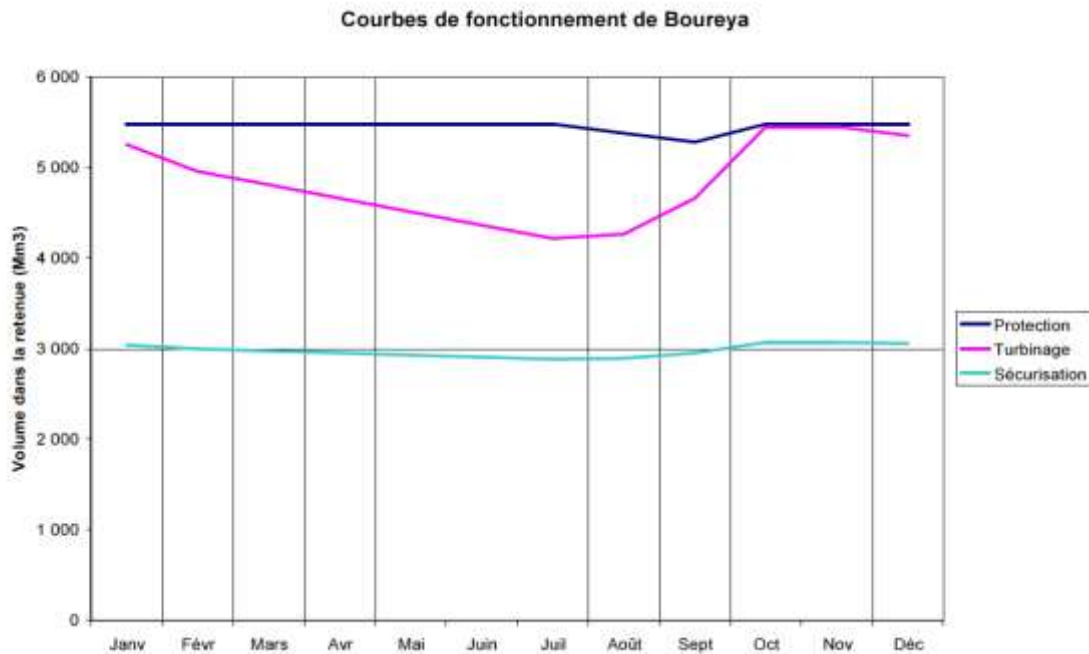


Figure 108. Courbes de fonctionnement du réservoir de Boureya (source : SDAGE)

C. Félou

Le barrage de Félou étant au fil de l'eau, il n'a pas de réservoir permettant de stocker de l'eau. Pour ce barrage, on peut considérer qu'il n'y a pas de pertes liées à l'évaporation de l'eau dans le réservoir. La hauteur de la chute est de 13.8m.

D. Gouina

Le barrage de Gouina est un projet datant des années 1980. L'aménagement hydro-électrique de Gouina se situe au niveau des chutes de Gouina sur le fleuve Sénégal à 70 km en amont de Kayes et 50 km en aval de Bafoulabé. Il se situe à 64km en amont des chutes de Félou.

Ce projet est un aménagement hydro-électrique construit au fil de l'eau. Le dénivelé naturel des chutes est de 15 m. Ce projet consiste à utiliser le potentiel de cette chute et à augmenter par la création d'un barrage la hauteur naturelle. Ce projet est prévu pour la fin de l'année 2017.

Gouina est une centrale hydroélectrique de basse chute, située en rive gauche du fleuve Sénégal. Elle est équipée de 3 groupes turbo-alternateurs Kaplan pour une puissance totale de 140 MW. Sur la base de l'étude de faisabilité réalisée par le Consultant Coyne et Bellier, un débit total à turbiner de 700 m³/s a été calculé pour une production annuelle de l'ordre de 600 GWh/an. La chute d'équipement est de 23 m.

Le barrage de Gouina étant eu fil de l'eau, il n'a pas de réservoir permettant de stocker de l'eau. Pour ce barrage, on peut considérer qu'il n'y a pas de pertes liées à l'évaporation de l'eau dans le réservoir.

E. Gourbassi

Le barrage de Gourbassi se situe au niveau de la ville de Gourbassi sur la Falémé à la frontière entre le Mali et le Sénégal.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Les données disponibles pour caractériser le volume disponible des retenues selon la cote d'eau dans le réservoir de Gourbassi sont peu disponibles. Les données ont donc une incertitude assez grande. L'étude d'avant-projet sur le barrage apportera plus de précisions. Le modèle pourra donc être actualisé avec les nouvelles informations sur le réservoir.

Pour les données d'évaporation au-dessus de la réserve, nous avons pris celles du barrage de Manantali.

Tableau 82 - Lois hauteur/volume et hauteur/surface de la retenue de Gourbassi (source : SDAGE)

Gourbassi :

H (m)	V (10 ⁶ m ³)	S (km ²)
64.0	0	0
67.5	600	30
78.0	1 195	46
81.0	1 349	67
84.0	1 496	94
86.0	1 595	114
88.0	1 698	137
90.0	1 807	163
91.0	1 865	177
92.0	1 925	192
93.0	1 989	208
93.7	2 022	216
94.0	2 056	225
95.5	2 100	250

Courbes de fonctionnement de Gourbassi

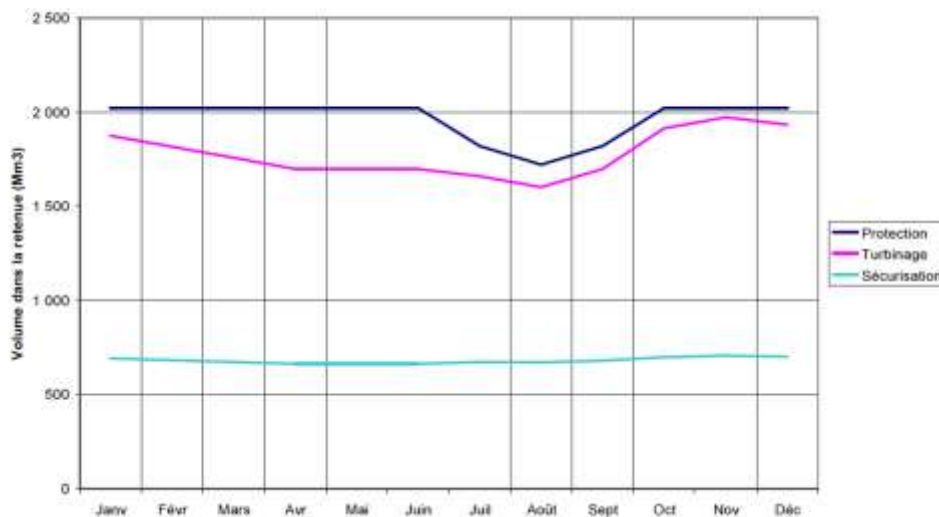


Figure 109. Courbes de fonctionnement du réservoir de Gourbassi (source : SDAGE)

F. Koukoutamba

Le barrage de Koukoutamba se situe sur le Bafing en territoire guinéen à 150 km en amont de la frontière séparant la Guinée et le Mali. Les études de faisabilité et APS ont été réalisées.

Les relations hauteur-volume et hauteur-surface du barrage de Koukoutamba ont été établies lors de la phase I de l'étude de faisabilité commandée par l'OMVS et réalisée par Coyne et Bellier

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 83 - Lois hauteur/volume et hauteur/surface de la retenue de Koukoutamba (source : SDAGE)

Koukoutamba :

H (m)	V (10 ⁶ m ³)	S (km ²)
459.8	0	0
490.0	75	8
500.0	100	10
508.0	298	23
516.0	497	43
524.2	700	70
527.0	934	81
532.0	1403	103
536.0	1875	124
540.0	2443	147
543.0	2937	166
546.0	3492	186
546.5	3600	192
549.5	4222	211

Les pertes nettes par évaporation sur la retenue de Koukoutamba ont été calculées dans le rapport de mise à jour des données hydrologiques réalisé par Coyne et Bellier (KTB-I01GE-RP001-B). Les valeurs mensuelles moyennes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 84- Retenue de Koukoutamba – pertes mensuelles nettes (source : Coyne et Bellier)

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Pertes nettes par évaporation (mm)	121	113	116	69	-33	-107	-197	-177	-87	21	103	120	62

Courbes de fonctionnement de Koukoutamba

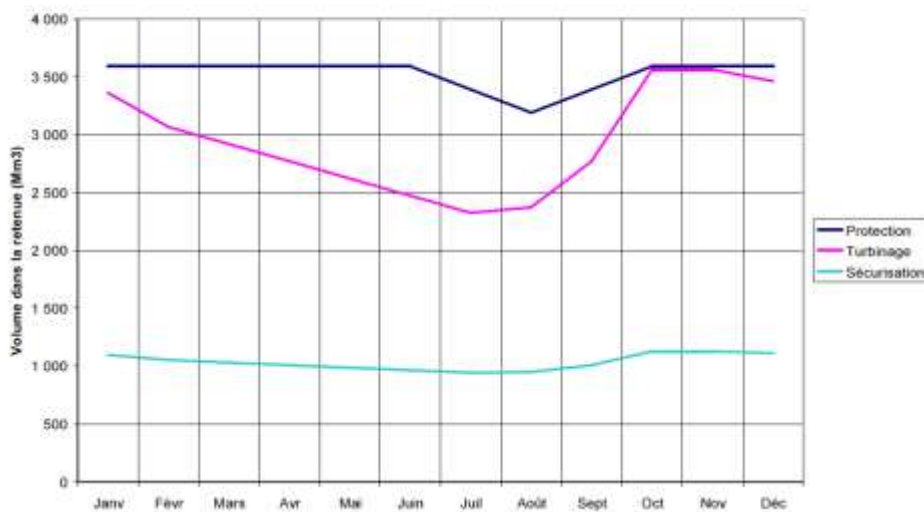


Figure 110. Courbes de fonctionnement du réservoir de Koukoutamba (source : SDAGE)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

G. Manantali

Dans le tableau ci-dessous sont présentées les relations hauteur/volume et hauteur/surface du barrage de Manantali.

Tableau 85 - Lois hauteur/volume et hauteur/surface de la retenue (source : SDAGE)

Manantali :

H (m)	V (10 ⁶ m ³)	S (km ²)
150.0	0	0
170.0	750	80
175.0	1310	144
180.0	2180	203
185.0	3330	259
190.0	4760	310
195.0	6430	357
200.0	8320	400
205.0	10420	440
208.0	11300	467
210.5	12710	475

Le taux d'évaporation nette au droit du barrage de Manantali est inclus dans le modèle afin de prendre en compte les volumes d'eau perdus par évaporation. Ces données sont présentées dans le tableau ci-dessous. Elles sont tirées de l'étude Programme d'Optimisation de Gestion des Réservoirs (POGR).

Tableau 86 - Retenue de Manantali – pertes mensuelles nettes (source : SDAGE)

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Pertes nettes par évaporation (mm)	156	184	234	234	204	98	-92	-181	-60	48	96	99

Courbes de fonctionnement de Manantali

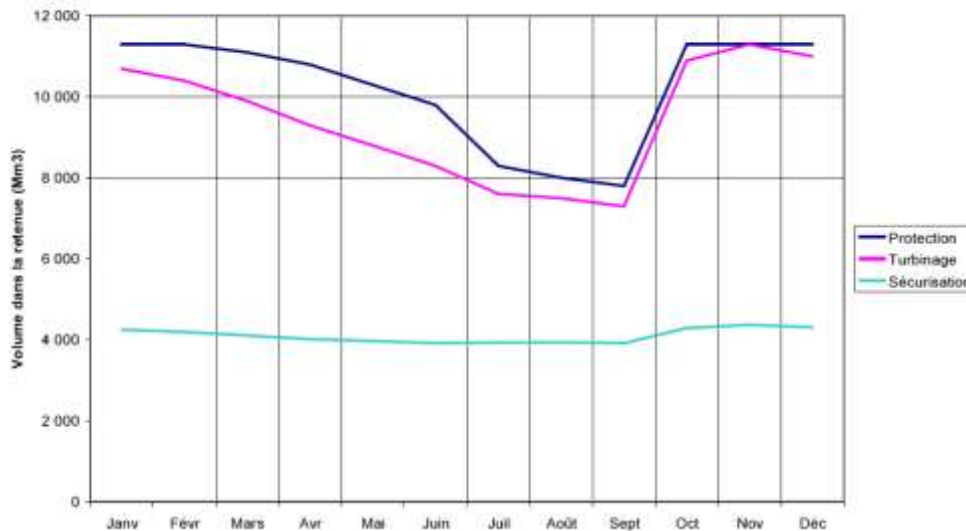


Figure 111. Courbes de fonctionnement du réservoir de Manantali (source : SDAGE)

5.5.2.2.2. Présentation des règles de gestion

Dans les règles de gestion des retenues (Manantali, Gourbassi, Boureya et Koukoutamba), nous avons imposé une courbe de protection contre les inondations, qui consiste à déstocker un volume suffisant avant l’arrivée de la crue afin de pouvoir amortir le pic de la crue. Ce déstockage se réalise sur les mois de Juillet à Septembre.

Le logiciel WEAP permet de définir pour chaque retenue :

- Le volume maximal de la retenue ;
- Le volume d’eau morte dans la retenue (volume d’eau morte) ;
- Une zone tampon, zone dans laquelle l’eau est disponible pour être lâchée. Un coefficient mensuel permet de définir la quantité d’eau disponible pour être lâchée. Ce coefficient varie entre 0 et 1.

Sur les mois de juillet à septembre, afin d’assurer une protection contre les crues, le volume maximal est diminué suffisamment pour permettre le stockage des eaux de crues.

Chaque scénario simulé est caractérisé par un certain nombre de consignes assorties de rangs de priorité, visant chacune à satisfaire un objectif de gestion dans l’immédiat ou à préserver le stock ou le volume vide nécessaire dans la retenue pour la satisfaction future de l’objectif.

Le logiciel WEAP permet de donner des priorités d’allocations mensuelles aux différents usages. Les priorités sont définies selon les objectifs de développement. En cas de sécheresse, le logiciel cherchera à satisfaire les demandes par ordre croissant de priorité et calculera la part de demande non satisfaite pour chaque secteur.

Le plan d’eau de Manantali est maintenu entre les cotes 187.00 et 210,50 m, correspondant respectivement à des volumes stockés de 3,6 et 12,8 Milliards de m³.

La gestion se fait sur le suivi en temps quasi réel des stations d’Oualia (Bakoye), de Gourbassi (Falémé), de Bakel (Sénégal) et de Daka-Saidou (Bafing).

Les consignes du barrage imposent de

- Lâcher un débit suffisamment faible pour ne pas dépasser un débit maximal de sécurité (laminage des fortes crues à Bakel) ;
- Lâcher un débit suffisamment fort pour préserver un volume suffisant bas dans la retenue, permettant le laminage de crue ;
- Lâcher un débit suffisamment faible pour préserver un stock d’eau suffisant dans la retenue, permettant la satisfaction future de l’objectif de soutien de débit ou de production de puissance.
- Lâcher un débit suffisant pour atteindre un hydrogramme objectif minimal à Bakel (soutien de crue pour les cultures de décrue).

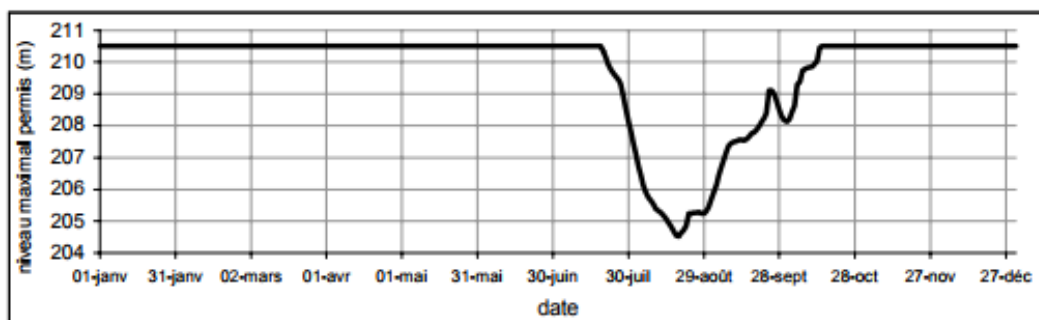


Figure 112. Niveau maximal à respecter dans la retenue pour permettre de laminier les crues du Sénégal à Bakel à 4 500 m³/s, (source : POGR⁴⁹)

Pour le réservoir de Manantali, le laminage des crues ne nécessite pas de vider totalement le réservoir. Le réservoir se vide progressivement à partir de fin juillet pour atteindre mi-août sa cote la plus basse de 204 m (soit un volume d’environ 10 Milliard de m³). Le réservoir se remplit progressivement à partir de fin août pour être plein fin septembre. Dans le logiciel WEAP, pour le laminage des crues, nous considérerons donc tout le mois d’août à une côte de 204m avec un remplissage progressif en septembre.

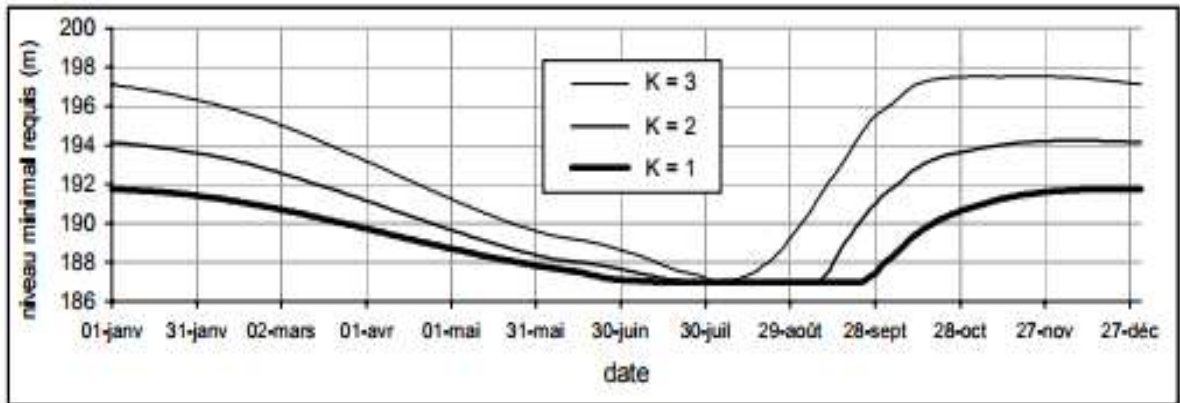


Figure 113. Niveau minimal à respecter dans la retenue pour permettre d'effectuer le soutien d'étiage désiré (pour des besoins en irrigation égaux à k = un, deux ou trois fois les besoins actuels) (source : POGR⁵⁰)

Pour le soutien d'étiage, nous suivrons la courbe K=1 pour le scénario de base. Nous intégrerons au logiciel WEAP, le niveau d'eau minimal à respecter pour chaque mois.

Pour les trois autres barrages réservoirs (Boureya, Gourbassi et Koukoutamba), nous n'avons pas de consignes de gestion. Nous nous baserons sur le même principe de gestion que le réservoir de Manantali :

- Garder un niveau suffisamment important dans les réservoirs pour soutenir le débit d'étiage ;
- Garder un volume vide suffisant dans la retenue pour permettre le laminage des crues.

5.5.2.2.3. Présentation des besoins en eau

Pour les besoins en eau pour l'irrigation, les valeurs ont été calculées au pas de temps mensuel afin de prendre en compte la variabilité saisonnière des besoins. On remarque que les besoins sont plus importants pendant la saison des pluies lorsque l'eau est présente en grande quantité dans le fleuve.

⁴⁹ Gestion intégrée des ressources en eau du bassin du Sénégal. Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs, Jean-Claude Bader, 2007

⁵⁰ Gestion intégrée des ressources en eau du bassin du Sénégal. Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs, Jean-Claude Bader, 2007

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****Tableau 87 – Besoins actuels et futurs pour l'irrigation (Mm³) (source : SDAGE)**

Besoins actuels (Mm ³) - 2010													
Bassin versant	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Tot
1	0.4	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3
2	0.0	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	3.0	2.9	3.2	2.9	0.4	0.0	13
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
5	20.6	24.0	26.2	6.1	0.1	0.0	1.4	2.4	1.7	1.5	16.5	17.4	118
6	5.4	9.0	29.8	32.1	17.1	11.7	40.1	58.2	40.3	38.3	11.4	5.4	299
7	27.8	29.5	76.7	82.9	67.4	59.4	132.7	188.8	134.0	129.3	49.5	27.8	1006
Total	54.1	62.9	133.4	121.4	84.8	71.3	177.5	252.6	179.5	172.3	78.1	50.9	1439
Besoins projection 2025 (Mm ³) - hypothèse 2 intensité cultivable de 130 %													
Bassin versant	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Tot
1	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	58	58	58	58	58	11.3	369
2	1	1	1	1	1	1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	1	30
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	7.5	225
6	48.2	48.2	48.2	48.2	48.2	48.2	195.2	195.2	195.2	195.2	195.2	48.2	1313
7	141.4	141.4	141.4	141.4	141.4	141.4	454.4	454.4	454.4	454.4	454.4	141.4	3262
Total	209.4	209.4	209.4	209.4	209.4	209.4	746.5	746.5	746.5	746.5	746.5	209.4	5198
Besoins projection 2075 (Mm ³) - hypothèse 1 intensité cultivable de 160 %													
Bassin versant	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Tot
1	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	22.6	448
2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.0	37
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
5	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	14.3	272
6	86.8	86.8	86.8	86.8	86.8	86.8	195.2	195.2	195.2	195.2	195.2	86.8	1583
7	254.5	254.5	254.5	254.5	254.5	254.5	454.4	454.4	454.4	454.4	454.4	254.5	4054
Total	380.1	380.1	380.1	380.1	380.1	380.1	746.5	746.5	746.5	746.5	746.5	380.1	6393

Pour les projections des besoins en eau pour l'irrigation présentés ci-dessus, nous avons repris deux hypothèses énoncées dans le SDAGE. Les deux hypothèses considèrent des surfaces cultivables identiques mais la première hypothèse considère une intensité cultivable de 130% alors que la seconde hypothèse considère une intensité cultivable de 160%. Cela représente une augmentation de 23% de la demande en eau pour l'irrigation en 50 ans.

Les besoins pour l'AEP, les industries et mines sont considérés constants tout au long de l'année. En utilisant le tableau ci-dessous, les besoins mensuels en eau peuvent être calculés pour ces secteurs sur chaque sous bassin. Faute de données, nous avons considéré les prélèvements en eau pour l'élevage constants au cours d'une année.

Pour les demandes en eau en projection 2025, les estimatifs présentés ci-dessous sont issus du SDAGE. Concernant la projection 2075, les demandes en eau AEP sont considérées avec une croissance annuelle de la population de 2%. Nous ferons l'hypothèse que les demandes en eau des mines et des élevages resteront sensiblement constantes entre 2025 et 2075.

Pour les besoins en AEP, le modèle prend uniquement en compte les prélèvements dans le fleuve. Aucun prélèvement dans les réserves souterraines n'a été pris en compte.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 88 – Synthèse des besoins annuels actuels (2010) et en projection 2025 et 2075 pour les usages en AEP, élevage et industrie minière⁵¹

Usage de l'eau	Secteur	Demande actuelle (Mm ³)	Demande en projection 2025 (Mm ³)	Demande en projection 2075 (Mm ³)
Utilisations consommatrices	Agriculture irriguée	1441	5198	6393
	Elevage	61	84	84
	AEP	85	132	356
	Mines/Industries	13	232	232
Sous-total	Utilisations consommatrices	1600	5646	7065
Utilisations non consommatrices	Hydroélectricité	6300 ^(a)	8800 ^(b)	8800 ^(b)
	Navigation	-	630 ^(c)	630 ^(c)
Besoins environnementaux	Culture de décrue	4500 ^(d)	4500 ^(d)	4500 ^(d)
	Objectif de Débit Biologique optimal	8130 ^(e)	8130 ^(e)	8130 ^(e)
	Objectif de Débit Biologique	6000 ^(f)	6000 ^(f)	6000 ^(f)
	Débit sanitaire	1640 ^(g)	1640 ^(g)	1640 ^(g)

Note :

- (a) Sur la base du débit minimum de 200 m³/s garanti pour Manantali ;
- (b) En prenant en compte le débit garanti pour Gourbassi (80 m³/s) ;
- (c) Sur la base d'un débit régularisé à 300 m³/s, mais ne représentant que 20 m³/s en plus du débit minimum requis pour la production d'électricité (280 m³/s) ;
- (d) Hydrogramme POGR retenu dans le SDAGE permettant d'inonder 50 000 ha
- (e) Crue optimale sur la période août-septembre à Bakel sur la base de l'étude de ROCHE internationale ;
- (f) Crue théorique sur la période août-septembre à Bakel sur la base de l'étude POGR
- (g) Correspondant au 10% du module

⁵¹ Source : Utilisation des données du SDAGE pour les activités consommatrices d'eau et de l'Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière du Bassin du Fleuve Sénégal pour les besoins environnementaux et les activités non consommatrices d'eau

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Les besoins en eau de l'écosystème du fleuve Sénégal n'ont pas fait l'objet d'une étude systématique. L'obligation d'un « débit sanitaire » représentant 10% du débit moyen annuel a été instaurée par l'OMVS. Ce débit minimum se réfère à la quantité minimale d'eau qui doit être laissée toute l'année dans le lit du fleuve afin d'éviter l'arrêt des écoulements, la discontinuité du flux, ce qui affecterait les mouvements d'espèces telles que les poissons (Niasse & Cherlet, 2015). Ainsi pour les besoins environnementaux, en plus du soutien de crue, nous avons estimé qu'il est important de laisser un débit minimal dans le cours d'eau afin de préserver les écosystèmes aquatiques. Ce débit environnemental correspond à 10% du module à Bakel, soit à environ 52 m³/s.

Roche International a estimé, en prenant en compte les besoins de la faune ichtyologique entre l'aval de Manantali et la retenue de Diama, qu'il fallait reproduire une crue naturelle avec un débit de pointe à 3000 m³/s à Bakel pendant une vingtaine de jours entre août et septembre. Cela nécessite de lâcher un volume d'eau de plus 8 milliards de m³ entre août et septembre (Roche International⁵², 2000). Une telle crue permet la recharge des nappes profondes, l'approvisionnement en eau des mares, des forêts, l'entretien du lit du fleuve et en même temps la culture de décrue sur des dizaines de milliers d'hectares. Une telle crue correspond à un débit moyen de 1500 m³/s pour les mois d'août et de septembre.

La demande en eau pour la navigation est donc à additionner avec la demande en eau nécessaire à la production d'électricité. Ces activités n'étant pas consommatrices d'eau, les demandes correspondent à des lâchers obligatoires au niveau des barrages afin de garantir un débit minimal pour la navigation et pour la production d'électricité. Ici la demande pour l'hydroélectricité ne prend en compte que la production des barrages de Manantali et de Goubassi.

Le pas de temps mensuel ne permet pas de vraiment prendre en compte les lâchers du barrage de Manantali pour la crue artificielle. Pour prendre en compte le soutien à la crue artificielle, nous utiliserons les valeurs des débits mensuels d'août et septembre afin d'estimer les surfaces inondées. En effet, plusieurs études ont été réalisées sur les volumes lâchés et les surfaces immergées dont l'étude du POGR réalisée par le CIRAD. Pour calculer la surface, nous calculerons le volume mensuel lâché à Bakel puis nous le comparerons à la somme des volumes journaliers présentés dans l'étude des POGR.

Tableau 89 – Correspondance entre les volumes de crue minimum à Bakel et les superficies potentiellement cultivables pour les cultures de décrue (Source : IRD)

Superficies cultures décrue (ha)	45 000	50 000	55 000	60 000	65 000	70 000	75 000
Submersion 30j	4 308	4 523	4 826	5 090	5 363	5 652	6 317
Submersion 25j	4 184	4 428	4 661	4 904	5 166	5 444	5 751

A partir de ce tableau et du volume mensuel simulé à Bakel, la surface potentiellement cultivable en décrue pourra être estimée.

En considérant toutes ces hypothèses de crues artificielles, nous considérons deux types d'exigence de débit à Bakel pour permettre une culture de décrue de l'ordre de 50 000 ha :

- La crue artificielle selon ROCHE avec un débit de 1 512 m³/s en moyenne sur les mois d'août et Septembre,
- Et la crue artificielle selon POGR avec un débit moyen de 878 m³/s sur les mois d'août et Septembre.

⁵² Roche International, 2000 ; Tractebel et al. 2013 ; Bader et Cauchy, 2013

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

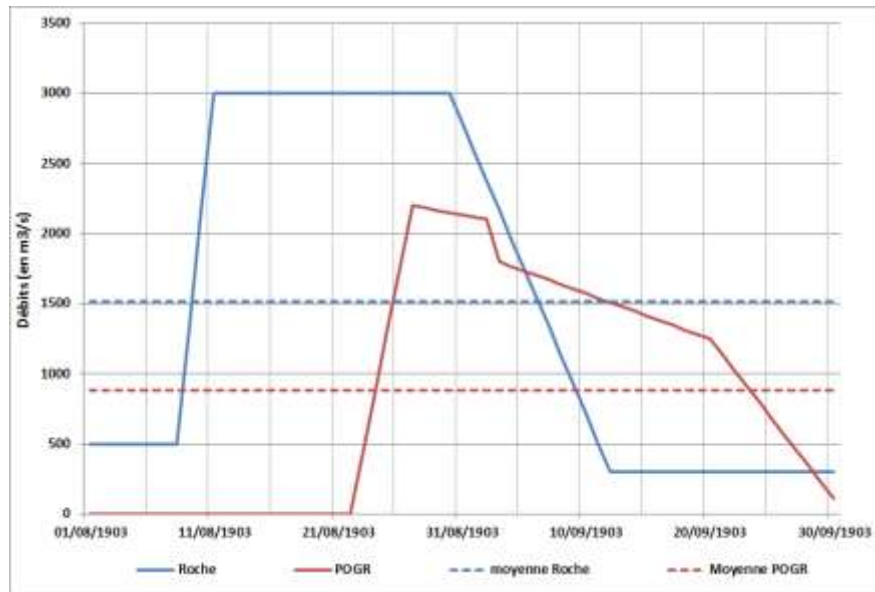


Figure 114. Hydrogramme de crue optimisé proposé par ROCHE, volume 8 Mdm³, et dans le POGR qui répond à un objectif de culture de décrue sur 50 000 ha – Volume : 4.5 Mdm³ (source : ce rapport)

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

5.5.2.4. Présentation des scénarios

Tableau 90 – Synthèse des Scénarios modélisés dans WEAP.

	Scénario "Actuel"		Scénario "Impact des ouvrages"		Scénario "Projection 2025"	Scénario "Projection 2075"	Scénario "4 Barrages Projection 2025"
	Période sèche	Période humide	Période sèche	Période humide	Période humide	Période sèche	Période humide
Barrages	Manantali - Barrage Réservoir Felou - Barrage mobile de rivière (sans réservoir) Diama - Barrage anti sel (à l'aval du Fleuve Sénégal) Gouina - Barrage Mobile de Rivière prévu en 2018		Manantali - Barrage Réservoir Felou - Barrage Mobile de Rivière (sans réservoir) Diama - Barrage anti-sel (à l'aval du Fleuve Sénégal) Gouina - Barrage Mobile de Rivière prévu en 2018 Boureya - Barrage Réservoir prévu en 2020 Koukoutamba - Barrage Réservoir prévu à l'horizon 2025 Goubassi - Barrage Réservoir prévu à l'horizon 2025 Balassa - Barrage Mobile de Rivière prévu à l'horizon 2025		Manantali - Barrage Réservoir Felou - Barrage Mobile de Rivière (sans réservoir) Diama - Barrage anti-sel (à l'aval du Fleuve Sénégal) Gouina - Barrage Mobile de Rivière prévu en 2018 Boureya - Barrage Réservoir prévu en 2020 Koukoutamba - Barrage Réservoir prévu à l'horizon 2025 Goubassi - Barrage Réservoir prévu à l'horizon 2025 Balassa - Barrage Mobile de Rivière prévu à l'horizon 2025	Manantali - Barrage Réservoir Felou - Barrage Mobile de Rivière (sans réservoir) Diama - Barrage anti-sel (à l'aval du Fleuve Sénégal) Gouina - Barrage Mobile de Rivière prévu en 2018 Boureya - Barrage Réservoir prévu en 2020 Koukoutamba - Barrage Réservoir prévu à l'horizon 2025 Goubassi - Barrage Réservoir prévu à l'horizon 2025 Balassa - Barrage Mobile de Rivière prévu à l'horizon 2025	Manantali - Barrage Réservoir Felou - Barrage mobile de rivière (sans réservoir) Diama - Barrage anti sel (à l'aval du Fleuve Sénégal) Gouina - Barrage Mobile de Rivière prévu en 2018
Demande en eau	Estimation des besoins en eau 2010		Estimation des besoins en eau 2010		Estimation des besoins en eau horizon 2025	Estimation des besoins en eau horizon 2075	Estimation des besoins en eau horizon 2025
Apports en eau	1970-1990	1990-2010	1970-1990	1990-2010	1990-2010 - considérée comme la projection sur les années 2010 - 2050	1970-1990 - considérée comme la projection sur les années 2050 - 2100	1990-2010 - considérée comme la projection sur les années 2010 - 2050
Crue artificielle	Crue de POGR + Navigation						
Priorité Haute	AEP						
Priorité Moyenne	Débit environnemental						

A. Barrages

Concernant la gestion de la ressource en eau, deux configurations ont été envisagées :

- Configuration de référence avec quatre barrages correspondant à la situation ‘actuelle’
 - Barrage de Diama à l’aval du bassin ;
 - Pas de construction de nouveau barrage régulateur (Manantali uniquement) ;
 - Mise en service de Félou, puis de Gouina en 2018.
- Configuration huit barrages avec la mise en place de quatre nouveaux ouvrages sur le bassin :
 - Mise en service de trois nouveaux barrages réservoirs : Boureya en 2020 puis Koukoutamba et Goubassi à l’horizon 2025 ;
 - Mise en service de Balassa en 2025.

Les dates de mise en service des barrages dans les simulations restent théoriques. Eu égard aux projets en cours, en 2025 en réalité il n’y aurait que 5 barrages opérationnels, Koukoutamba venant se rajouter aux quatre barrages existants. Les simulations n’ont pas pour objectif de représenter exactement la situation des aménagements en 2025 ou en 2075. Elles permettent de sentir une situation à venir et à cet effet plusieurs simulations sont réalisées croisant la demande actuelle et les demandes futures avec deux situations d’équipement du bassin : 4 et 8 barrages.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Ainsi les scénarios suivants ont été testés : 4 barrages et demande actuelle (2010), 4 barrages et demande future 2025, 8 barrages et demande actuelle, 8 barrages et demande future 2025, 8 barrages et demande future 2075.

B. Demande en eau

Afin d'étudier l'ensemble des possibilités, les simulations ont été réalisées pour chaque scénario climatique en prenant en compte les besoins actuels et les besoins en eau horizon 2025 et horizon 2075 (comme présentés dans le chapitre 5.5.2.2.3) pour évaluer la vulnérabilité des différents secteurs socioéconomiques. Le tableau ci-dessous synthétise les sources et les différents modes d'estimations de ces besoins en eau.

Tableau 91 – Synthèse des besoins en eau 'Actuel', 'Projection 2025' et 'Projection 2075' tel que paramétrés dans WEAP.

Demande en eau	"Actuel"	"Projection 2025"	"Projection 2075"
Irrigation	Source SDAGE - Estimatif pour l'année 2010	Hypothèse 2 du SDAGE avec une intensité culturale de 130%	Hypothèse 1 du SDAGE avec une intensité culturale de 160%
AEP	Source SDAGE - Estimatif pour l'année 2010	Projection 2025 du SDAGE	Projection 2075 à partir des estimations de 2025 avec une croissance globale de 2% par an.
Elevage	Source SDAGE - Estimatif pour l'année 2010	Projection 2025 du SDAGE	Projection 2025 du SDAGE
Mines et industries	Source SDAGE - Estimatif pour l'année 2010	Projection long terme du SDAGE	Projection long terme du SDAGE

C. Apports en Eau

Comme présenté dans la partie 4.4.4.1, en raison des prédictions climatiques, deux typologies de climats ont été analysées :

- La première, couvrant la période 2010-2050 pour laquelle la pluviométrie repart à la hausse, se réfère à une situation 'période humide'. Les apports utilisés pour ce scénario sont ceux de la période 1990-2010.
- La seconde couvre la période 2050-2100 pour laquelle les prédictions d'apports sont à la baisse et rappelle la sécheresse des années 1970-1990. Ce sont donc les apports de la période 1970-1990 qui seront utilisés.

Il ne faut pas perdre de vue, ce faisant, les limites de l'approche de modélisation mise en œuvre. Les chroniques d'apports retenues des deux périodes humide et sèche sont peut-être moins affectées par la variabilité de la pluie que ce qui est à attendre dans le futur. En particulier la propension au rétrécissement de la saison pluvieuse et au déplacement du pic pluvieux vers la fin de la mousson est peu rendu dans les chroniques hydrologiques passées. Néanmoins, l'exercice de modélisation porte avant tout sur des cumuls mensuels puis annuels qui lissent de toutes façons les effets de la variabilité des précipitations.

D. Crue Artificielle

Une crue artificielle est paramétrée dans le modèle WEAP (Figure 115). Pour représenter au mieux la crue artificielle actuellement appliquée à Bakel, nous considérons que :

- Sur les mois d'Aout à Septembre, un besoin de 878 m³/s (Crue de POGR) est nécessaire.
- Sur les mois d'Octobre à Juillet, un débit minimum pour la navigation de 300 m³/s est préconisé.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

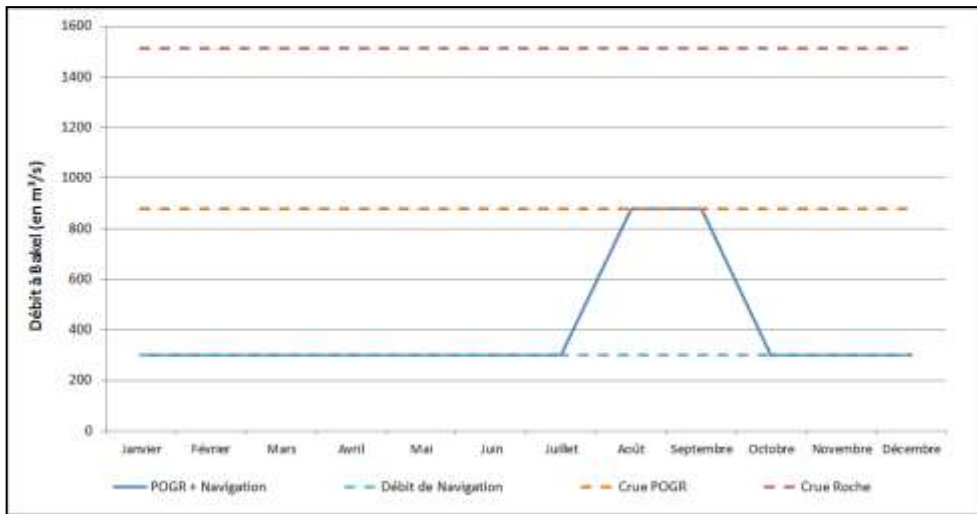


Figure 115. Crue artificielle (nommée POGR et Navigation) telle que paramétrée dans le modèle WEAP (source : ce rapport)

E. Priorisation des besoins en eau.

Pour le scénario de référence de la gestion des ressources en eau, la priorité principale est la satisfaction de la demande en eau potable (AEP). Puis avec une priorité moyenne, le maintien du débit environnemental (de 52 m³/s à Bakel) est préconisé. Enfin tous les autres besoins en eau sont considérés avec une priorité basse.

Tableau 92 – Priorisation des besoins en eau telle que paramétrée dans WEAP.

		Priorisation de référence
Barrages	Production hydroélectricité	Basse
Demande en eau	AEP	Haute
	Irrigation	Basse
	Cheptel	Basse
	Mines	Basse
Débits minimaux	Crue artificielle	Basse
	Navigation	Basse
	Debit environnemental	Moyenne

F. Scénarios complémentaires.

Pour vérifier l’impact de la priorisation des besoins en eau sur la gestion globale des ressources en eau du BFS, plusieurs scénarios complémentaires sont proposés et analysés.

La configuration de 8 barrages pour une demande en eau projetée en 2025 sur une période « humide » (apports de 1990-2010) est considérée comme la modélisation de base pour ces scénarios complémentaires.

En partant du modèle de base, seules les priorisations des besoins en eau sont modifiées. Les scénarios complémentaires permettront ainsi de vérifier l’impact d’une priorisation :

- De l’hydroélectricité ;
- De la culture de décrue ;
- De la satisfaction de l’irrigation, et ;

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

- Du maintien du débit de navigation.

Tableau 93 – Priorisation des besoins en eau pour les scénarios complémentaires telle que paramétrée dans WEAP.

		Priorisation de référence	Priorisation "Hydro électricité"	Priorisation "Crue artificielle"	Priorisation "Irrigation"	Priorisation "Navigation"	Priorisation "Hydroélectricité et Irrigation"
Barrages	Production hydroélectricité	Basse	Moyenne	Basse	Basse	Basse	Moyenne
Demande en eau	AEP	Haute	Haute	Haute	Haute	Haute	Haute
	Irrigation	Basse	Basse	Basse	Moyenne	Basse	Moyenne
	Cheptel	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse
	Mines	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse	Basse
Débits minimaux	Crue artificielle	Basse	Basse	Moyenne	Basse	Basse	Basse
	Navigation	Basse	Basse	Basse	Basse	Moyenne	Basse
	Debit environnemental	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne

5.5.3. Analyse des résultats

Pour comparer les scénarios entre eux, plusieurs indicateurs ont été sélectionnés et hiérarchisés par ordre de priorité :

- Le pourcentage de satisfaction sur les demandes en eau pour l'AEP ;
- Le soutien du débit d'étiage et le respect du débit minimum à Bakel pour l'environnement ;
- Le volume minimum garanti pour la crue artificielle ;
- Le volume alloué pour l'irrigation et le pourcentage de satisfaction des demandes en eau de l'irrigation ;
- Le pourcentage de satisfaction sur les demandes en eau pour les mines, industries et l'élevage ;
- La production annuelle totale d'électricité et la production totale assurée 9 années sur 10 ;
- Le respect de la consigne de débit minimum à Bakel pour la navigation ;
- La protection contre les crues et le respect du débit maximum à Bakel (4500 m³/s) ;
- Le soutien du débit d'étiage et le respect du débit minimum à Diama pour éviter les remontées d'eaux salines en aval du barrage.

Nous nous sommes également intéressés au cycle de remplissage-vidange des réservoirs de Manantali et de Diama.

Les simulations ont été réalisées, pour chaque scénario climatique, sur une période de 20 ans. La première année constituant une année de 'chauffe' afin de constituer les stocks initiaux. Les retenues sont considérées comme pleines en début de simulation.

Les résultats présentés seront moyennés à partir de ces périodes d'étude pour fournir des résultats aux échelles mensuelle interannuelle d'une part et annuelle d'autre part

5.5.3.1. Analyse de la demande pour les besoins actuels et futurs

Pour l'ensemble des scénarios climatiques ou de gestion de la ressource, la demande totale en besoins actuels est de 1,60 Md m³/an contre :

- 5,65 Md m³/an en projection 2025 (soit environ 3.5 fois supérieure).
- 7,07 Md m³/an en projection 2075 (soit environ 4.4 fois supérieure).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

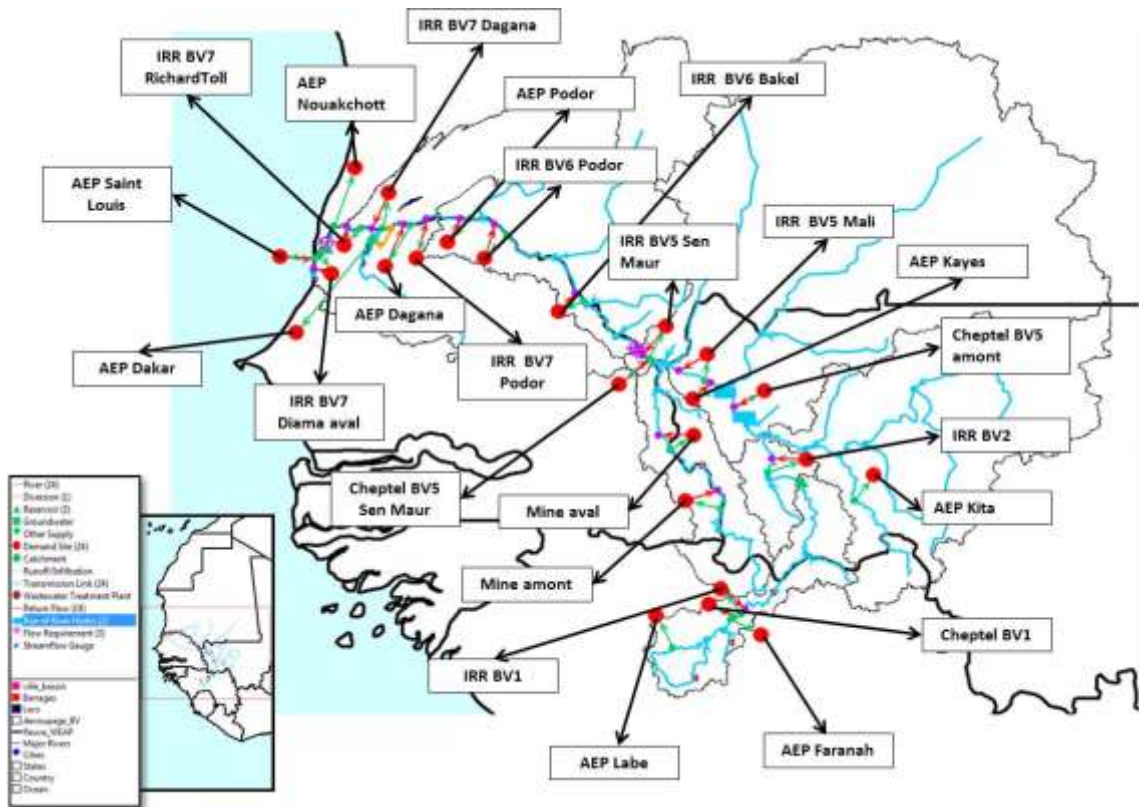


Figure 116. Localisation des sites de demande en eau tel que paramétrés dans le modèle WEAP (source : ce rapport)

Le Tableau 94 donne les contributions de chaque usage à la demande annuelle. Les demandes les plus fortes se situent à l’aval du bassin du fleuve Sénégal (BV7 et BV6) pour l’irrigation (Figure 116). L’AEP le plus demandeur est sans surprise Dakar.

On observe que les demandes en irrigation à l’amont du BFS augmentent sensiblement entre les besoins actuels (0,19 % de la demande annuelle actuelle) et les besoins en projection 2025 (6,54% de la demande annuelle).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****Tableau 94 – Contribution à la demande annuelle par usage pour les besoins actuels et en projection 2025 et 2075.**

	Scénario "Actuel"		Scénario "Projection 2025"		Scénario "Projection 2075"	
	Demande en eau (en Mm ³ /an)	Contribution à la demande annuelle	Demande en eau (en Mm ³ /an)	Contribution à la demande annuelle	Demande en eau (en Mm ³ /an)	Contribution à la demande annuelle
IRR_BV7_Dagana_Richard	435.0	27.19%	1096.6	19.42%	1442.7	20.42%
IRR_BV7_RichardToll	412.0	25.75%	1537.5	27.23%	1853.9	26.24%
IRR_Bv6_Podor	271.0	16.94%	1173.7	20.79%	1415.1	20.03%
IRR_BV7_Podor_dagana	141.0	8.81%	552.6	9.79%	666.3	9.43%
IRR_Bv5_Mali	115.0	7.19%	207.8	3.68%	251.3	3.56%
AEP Dakar_Gnit	37.7	2.36%	47.1	0.83%	126.7	1.79%
Cheptel_BV5_amont	32.9	2.06%	44.8	0.79%	44.8	0.63%
AEP Nouakchott_Rosso	32.0	2.00%	62.9	1.11%	169.4	2.40%
IRR_BV6_Bakel	28.0	1.75%	139.7	2.47%	168.3	2.38%
IRR_BV7_Diama_aval	19.0	1.19%	75.1	1.33%	90.8	1.28%
Cheptel_BV5_Sen_maur	15.3	0.95%	20.8	0.37%	20.8	0.29%
IRR_BV2	13.3	0.83%	29.5	0.52%	36.5	0.52%
Cheptel_BV1	13.2	0.83%	18.0	0.32%	18.0	0.25%
Mine_amont	12.7	0.80%	224.7	3.98%	224.7	3.18%
AEP Saint Louis	4.8	0.30%	7.2	0.13%	19.3	0.27%
AEP Kayes	3.5	0.22%	5.2	0.09%	14.1	0.20%
IRR_BV5_Sen_Maur	3.4	0.21%	16.7	0.30%	20.5	0.29%
AEP_Faranah	3.3	0.21%	5.0	0.09%	13.5	0.19%
IRR_BV1	3.0	0.19%	369.1	6.54%	448.2	6.34%
AEP_Labe	1.3	0.08%	2.0	0.04%	5.4	0.08%
AEP Dagana_Richard Toll	0.9	0.06%	1.3	0.02%	3.6	0.05%
AEP_Kita	0.8	0.05%	1.3	0.02%	3.4	0.05%
Mine_Aval	0.4	0.03%	7.5	0.13%	7.5	0.11%
AEP_Podor	0.2	0.01%	0.3	0.00%	0.7	0.01%
Sum	1600	100%	5646	100%	7065	100%

5.5.3.1. Scénarios de référence**5.5.3.1.1. Satisfaction de la demande****A. Etude de la période humide (données hydro-climatologiques de 1990-2010)**

Pour cette partie d'analyse, nous considérons les données hydro-climatologiques sur la 1990-2010 (considérée comme une période « humide »). Pour simplifier la lecture des résultats, les différents scénarios analysés sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 95 – Synthèse des scénarios analysés sur la période humide.

Scénarios de gestion	"Période Humide - 4 barrages - Demande actuelle"	"Période Humide - 4 barrages - Demande 2025"	"Période Humide - 8 barrages - Demande actuelle"	"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"
Gestion de la ressource	4 Barrages	4 Barrages	8 Barrages	8 Barrages
Demande en eau	Actuelle (sur la base de 2010)	En projection 2025	Actuelle (sur la base de 2010)	En projection 2025

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

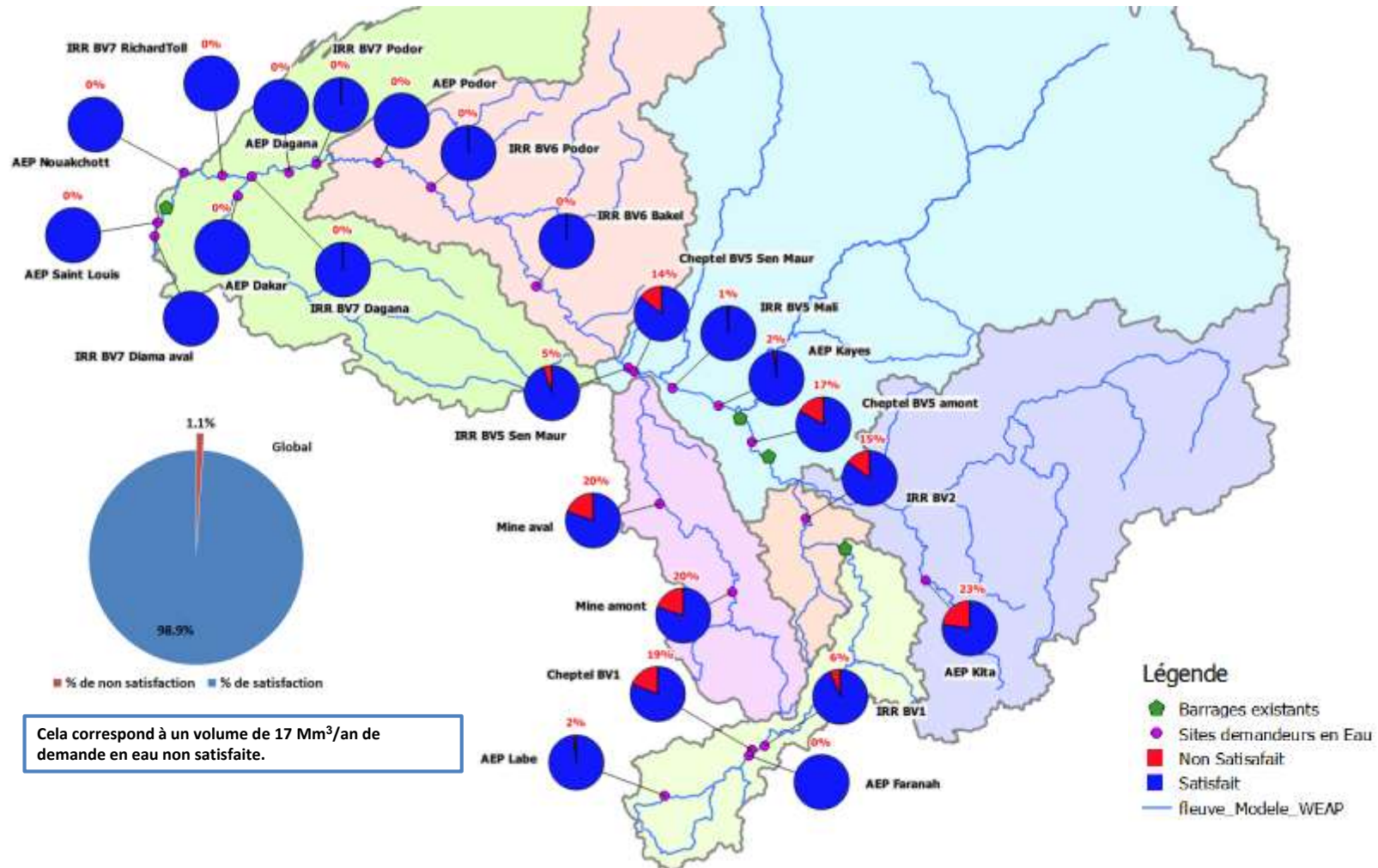


Figure 117. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence 4 barrages – besoins actuels pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

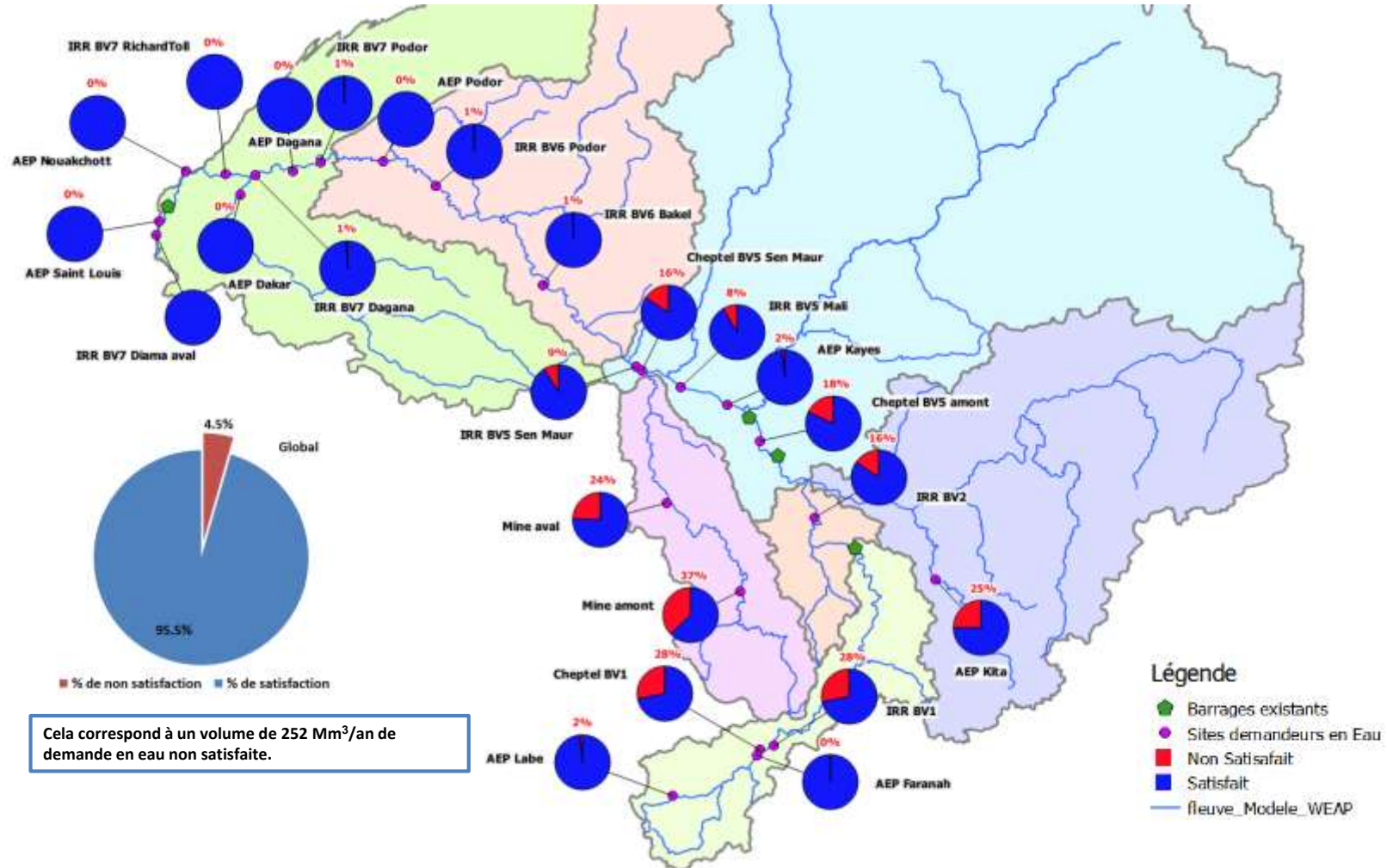
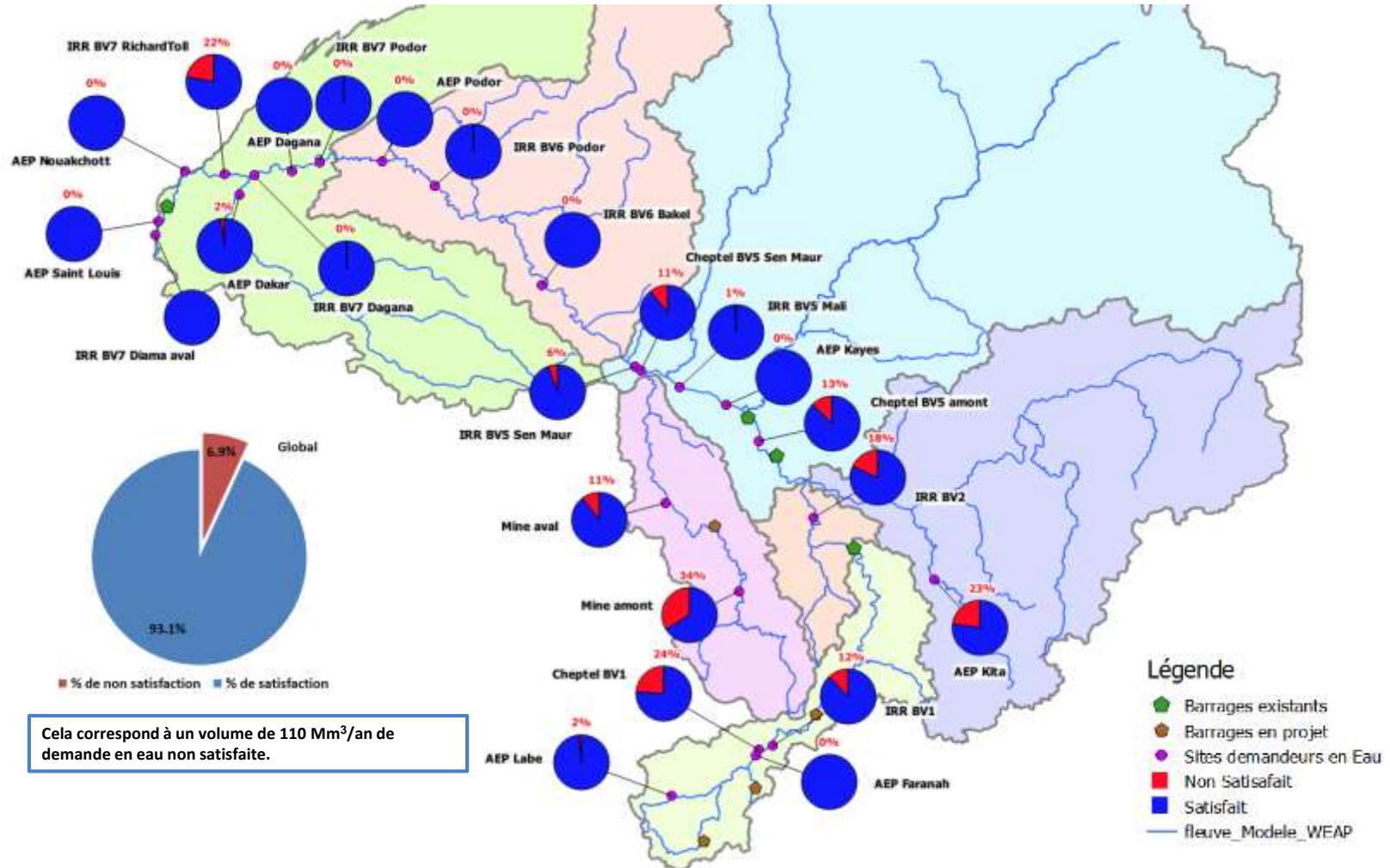


Figure 118. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence 4 barrages – besoins 2025 pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE



Cela correspond à un volume de 110 Mm³/an de demande en eau non satisfaite.

Figure 119. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins actuels pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

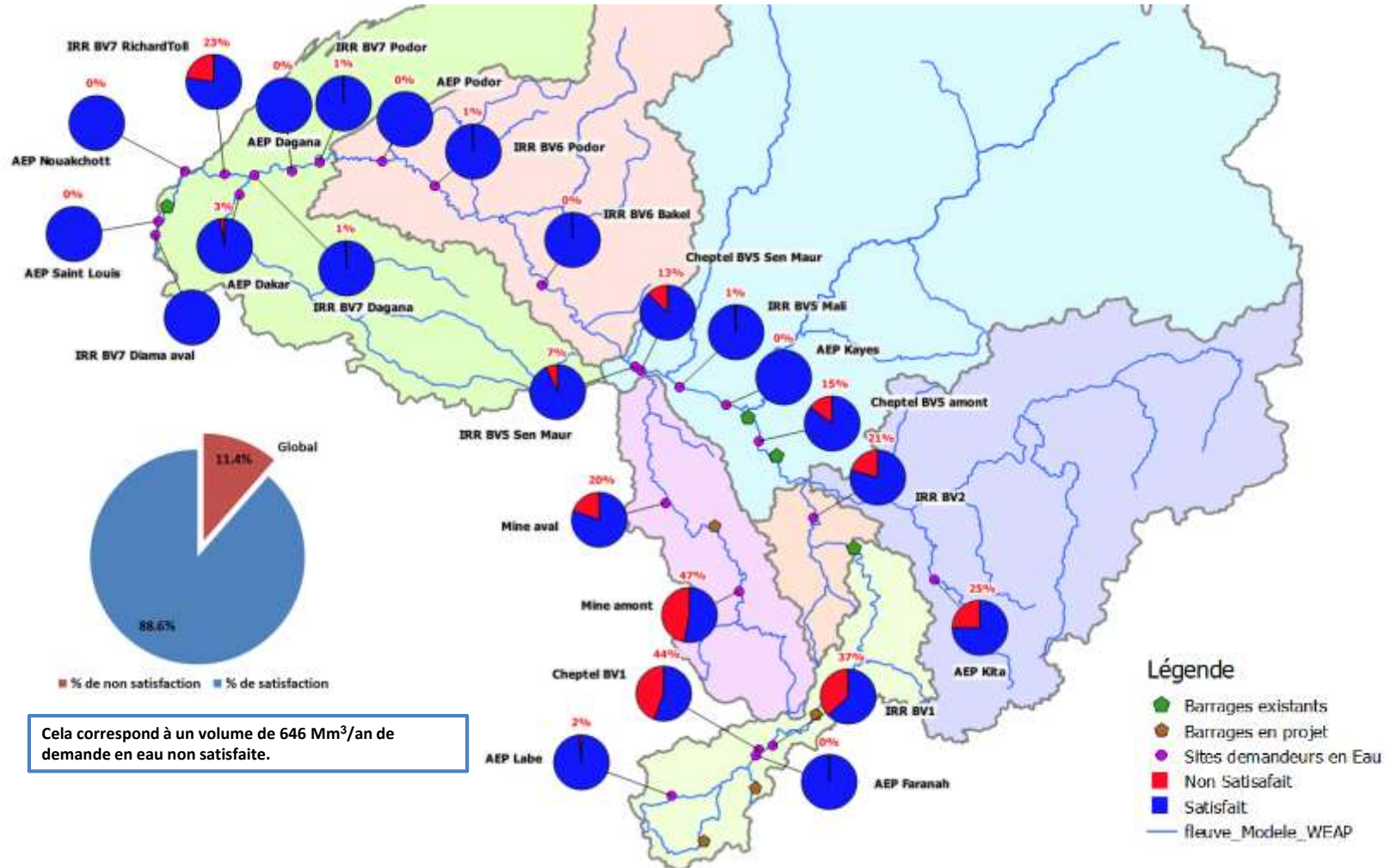


Figure 120. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins 2025 pour la période humide

a) Scénario de gestion "Période Humide - 4 barrages - Demande actuelle"

Les demandes moyennes annuelles non satisfaites avec le scénario de gestion de la ressource de référence (avec le seul barrage régulateur de Manantali) pour les besoins actuels sont de 17 Mm³/an (soit 1% de la demande annuelle totale des besoins « actuels »).

La Figure 117 représente la répartition de la demande non satisfaite pour les différents usages pour le scénario de gestion de la ressource de référence. On remarque qu'une grande part de la demande non satisfaite pour les besoins actuels avec 4 barrages avec une pluviométrie importante sont situés à l'amont du bassin versant du Fleuve Sénégal.

b) Scénario de gestion "Période Humide - 4 barrages - Demande 2025"

Pour ce scénario de gestion avec des besoins en eau en projection 2025 et en configuration de gestion de la ressource avec 4 barrages, les demandes moyennes annuelles non satisfaites sont de **252 Mm³/an (5% de la demande annuelle totale des besoins « en projection 2025 »)**. Une attention particulière doit être portée sur ce résultat car la demande en eau en projection 2025 est plus de trois fois plus élevée que la demande actuelle. Ainsi, pour ce scénario, les demandes moyennes annuelles non satisfaites représentent 16% de la demande annuelle totale des besoins « actuels ».

Les résultats pour ce scénario sont très proches de ceux observés avec les besoins actuels avec néanmoins une augmentation du taux de non satisfaction de la demande en eau pour tous les usages. La Figure 118 représente la répartition de la demande non satisfaite pour les différents usages pour le scénario de gestion de la ressource 4 barrages pour des besoins en projection 2025. Il apparaît qu'avec cette gestion de la ressource, la quasi-totalité des demandes en eau potable sont pleinement satisfaites (demande en eau satisfaite à plus de 95%). Néanmoins certains usages ne sont pas totalement satisfaits comme :

- en AEP :
 - À Kita avec une non satisfaction de 0.3 Mm³/an sur les 1.3 Mm³/an demandés ;
- en irrigation :
 - Sur le BV1 avec une non satisfaction de 104.2 Mm³/an sur les 368.1 Mm³/an demandés ;
 - Sur le BV7 à Dagana Richard avec une non satisfaction de 10.5 Mm³/an sur les 1097 Mm³/an demandés et ;
 - Sur le BV5 au Mali avec une non satisfaction de 17.6 Mm³/an sur les 208 Mm³/an demandés.
- Pour l'ensemble des cheptels et particulièrement les cheptels du BV1 avec une non satisfaction de 5.1 Mm³/an sur les 18.0 Mm³/an demandés
- et les Mines amont avec une non satisfaction de 83.4 Mm³/an sur les 224.7 Mm³/an demandés.

On remarque qu'une grande partie de la demande non satisfaite pour les besoins en projection 2025 est due à l'exploitation des mines (34% de la demande non satisfaite). Le développement de cet usage très consommateur d'eau devra être encadré.

c) Scénario de gestion "Période Humide - 8 barrages - Demande actuelle"

Ce scénario permet de comparer les résultats à ceux du précédent où seul le nombre de barrages est modifié, toutes choses égales par ailleurs. Même s'il est peu réaliste vis-à-vis de la demande en eau, il permet de 'sentir' l'impact des barrages.

Pour mieux se rendre compte de l'impact de la mise en place de 4 nouveaux barrages sur le bassin du fleuve Sénégal, il est important de se rappeler les volumes d'eau impliqués dans la gestion de ces retenues (Figure 121).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Le Tableau 96 fait la synthèse des variations de réserve mensuelles pour les 8 barrages du fleuve Sénégal. Les cases surlignées en vert représentent une diminution du volume de la retenue. Les cases surlignées en rouges concernent une augmentation du volume de la retenue. Au global, il apparaît que sur les mois d'Octobre à Mai, les retenues ont tendance à se vider. La saison des pluies de Juin à Septembre est par contre très sollicitée pour le remplissage des retenues. Il est à rappeler que les mois d'Août et de Septembre sont également fortement sollicités pour la crue artificielle.

Tableau 96 – Synthèse des variations de réserve mensuelle des barrages-réservoirs du BFS.

Variation de réserve (en M m ³)	Koukoutamba	Boureya	Gourbassi	Manantali	Diana	Impact entre la configuration 8 barrages et 4 barrages.
Janvier	-47	-336	-140	-506	0	-523
Février	0	-396	-136	-485	0	-533
Mars	-4	-406	-117	-508	0	-527
Avril	-2	-290	-43	-592	0	-335
Mai	5	-62	-9	-468	0	-66
Juin	29	101	2	-177	0	132
Juillet	73	436	102	25	-184	611
Aout	75	880	374	764	-138	1329
Septembre	219	630	108	1018	138	957
Octobre	77	-160	7	1050	184	-76
Novembre	-188	-269	-50	162	0	-506
Décembre	-237	-128	-98	-285	0	-463

La mise en place de retenues supplémentaires traduit également une augmentation de l'évaporation brute. Dans la modélisation WEAP, l'indicateur utilisé est l'évaporation nette, c'est-à-dire l'évaporation brute moins le volume de pluie collectée. Le Tableau 97 synthétise les volumes d'eau impliqués dans l'évaporation nette. Les valeurs positives (surlignées en rouge) signifient que les pertes par évaporation de la retenue sont plus importantes que l'apport pluviométrique, et inversement pour les valeurs négatives (surlignées en vert).

On constate qu'avec le passage de la configuration 4 barrages à 8 barrages, les mois de novembre à mai sont impactés par une perte en évaporation plus importante.

Tableau 97 – Synthèse des évaporations nettes mensuelles des barrages-réservoirs du BFS.

Evaporation nette (en M m ³)	Koukoutamba	Boureya	Gourbassi	Manantali	Diana	Impact entre la configuration 8 barrages et 4 barrages.
Janvier	21	33	9	60	64	62
Février	19	32	10	69	68	61
Mars	19	35	12	86	61	66
Avril	11	25	12	83	26	48
Mai	-5	0	10	68	-22	4
Juin	-18	-22	5	32	-55	-35
Juillet	-35	-39	-5	-30	-94	-79
Aout	-33	-54	-9	-59	0	-96
Septembre	-16	-45	-2	-20	0	-63
Octobre	4	-12	2	18	0	-6
Novembre	19	20	4	37	0	43
Décembre	22	29	5	39	0	55

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

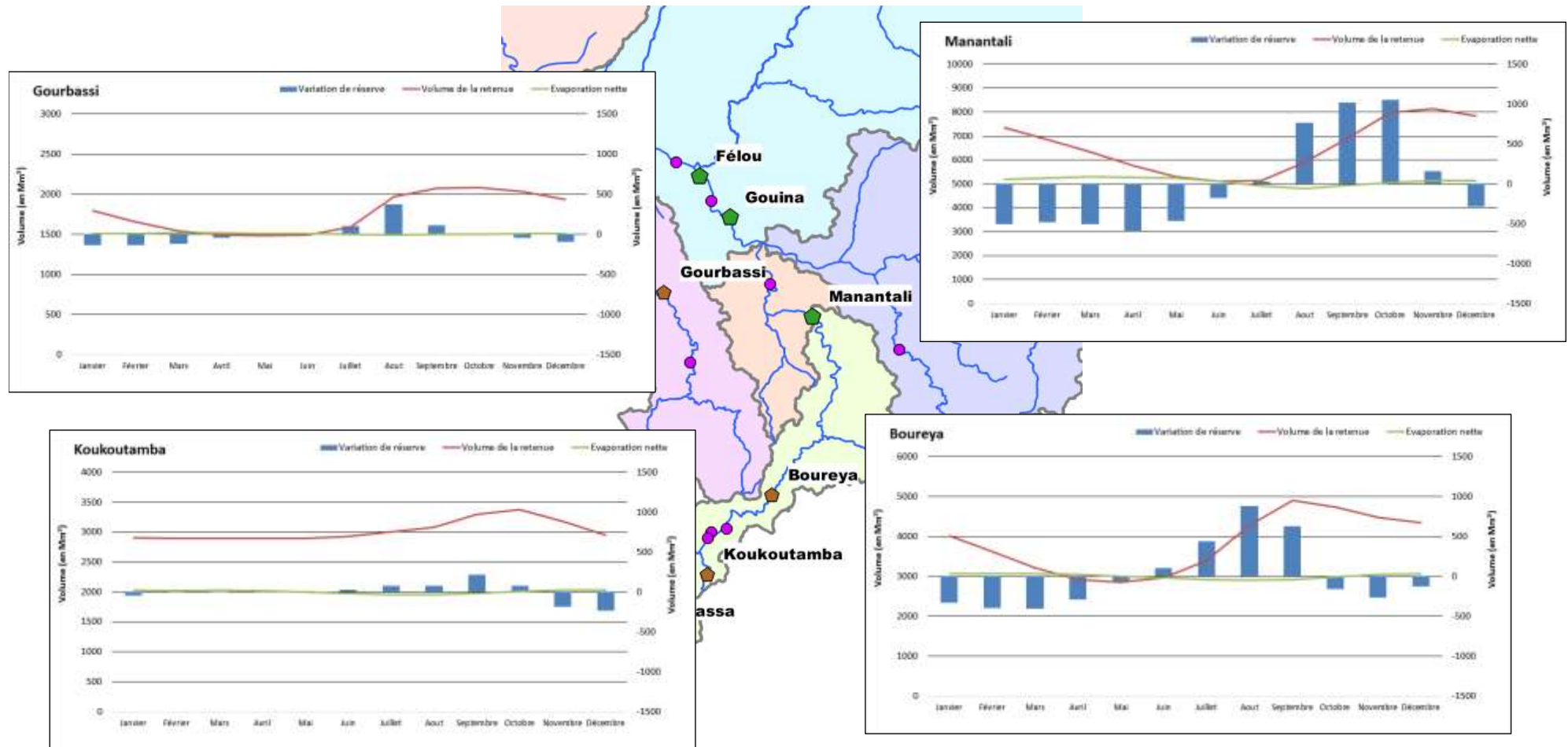


Figure 121. Fonctionnement global des retenues des barrages amont – besoins actuels pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Pour le scénario de gestion huit barrages (ajout de trois barrages régulateurs : Boureya, Koukoutamba et Gourbassi et d'un barrage au fil de l'eau : Balassa), les demandes moyennes annuelles non satisfaites sont de **110 Mm³/an (7 % de la demande annuelle totale des besoins « actuels »)**, ce qui représente une augmentation non négligeable de la non satisfaction de la demande en eau par rapport à la configuration 4 barrages.

Cet écart est essentiellement dû à la demande en eau du BV7 Richard Toll situé à l'aval du BFS. Avec la configuration « 4 barrages » la demande en eau du BV7 à Richard Toll était pleinement satisfaite. Avec la mise en place des « 8 barrages », cet usage présente une non satisfaction de 91.1 Mm³/an. Dans une moindre mesure, la demande en eau AEP de Dakar Gnit présente une non satisfaction de la demande en eau de 2.5% ce qui correspond à 0.9 Mm³/an. Avec « 4 barrages » cette non satisfaction était de 0%.

Pour mieux se rendre compte de l'impact du passage d'une configuration de 4 barrages à 8 barrages avec une demande en eau actuelle sur le bassin du fleuve Sénégal, le Tableau 98 présente les écarts entre les volumes d'eau non satisfaits pour une configuration 4 barrages et 8 barrages (les résultats négatifs présentent donc un impact positif de la configuration 8 barrages et inversement les résultats positifs présentent une dégradation de la satisfaction de la demande en eau).

Tableau 98 – Non-satisfaction de la demande par usage pour les scénarios de gestion de référence 4 barrages et 8 barrages au pas de temps mensuel.

Ecart entre configuration 4 barrages et 8 barrages (en Mm ³)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
AEP Dagana_Richard Toll	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AEP Dakar_Gnit	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
AEP Kayes	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06
AEP Neouakchott_Rosso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AEP Saint Louis	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AEP Faranah	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AEP Kita	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AEP Labé	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AEP Podor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BV1	0.00	-0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.06	0.06	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.17
BV5_Sen_Maur	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.06	0.00	0.01	0.08	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.01
BV6_Bakel	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01
BV7_Dagana_Richard	0.00	0.00	0.00	-0.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.20
BV7_Diama_aval	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BV7_Podor_dagana	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09
BV7_RichardToll	0.00	0.94	27.46	26.17	21.51	15.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.13
Bv2	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.11	-0.02	-0.06	0.55	0.06	-0.07	0.00	0.00	0.48
Bv5_Mali	0.00	0.00	0.35	-0.25	0.00	0.00	0.04	0.38	-0.02	-0.02	0.00	0.00	-0.19
Bv6_Podor	0.00	0.00	0.00	-0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.20
Cheptel_BV1	0.00	-0.03	0.05	0.29	-0.15	-0.01	0.22	0.23	0.02	-0.03	0.00	0.00	0.65
Mine_Aval	0.00	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.04
Mine_amont	0.00	0.05	0.24	0.31	0.04	0.31	0.70	0.04	0.01	0.04	0.00	0.00	1.73
cheptel_BV5_Sen_maur	0.00	0.00	-0.02	-0.06	-0.73	-0.07	0.04	0.25	0.02	-0.02	0.00	0.00	-0.34
cheptel_BV5_amont	0.00	0.00	-0.04	-0.12	-1.59	-0.22	-0.01	0.53	0.05	0.06	0.00	0.00	-1.34
Sum	0.00	1.96	27.34	25.71	18.96	15.45	1.00	2.12	0.19	-0.19	0.00	0.00	92.51

Ainsi concernant les demande en eau AEP, la nouvelle configuration avec 8 barrages n'a que peu d'impact. L'AEP Kayes est amélioré sur les mois d'avril à juin (période sèche) grâce au soutien d'étiage des retenues. Par contre, l'AEP Dakar Gnit est dégradée sur le mois de février lorsque les stocks des retenues sont encore importants.

A l'amont du bassin versant du Sénégal, on retrouve des usages en eau pénalisés par la mise en place des nouveaux barrages. Nous citerons tout particulièrement la demande en eau pour l'Irrigation du BV1 et du BV2. Pour le BV1, cette dégradation de la satisfaction de la demande en eau pour l'irrigation est constatée aussi bien sur les mois de mars à avril (où les stocks des retenues sont relativement faibles) que sur la période d'août à septembre (où les cultures de décrues sont préconisées). Pour le BV2, la demande en eau pour l'irrigation est davantage satisfaite sur les mois d'avril à juillet alors que celle-ci est plus largement dégradée sur les mois d'août à octobre.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

A l'aval, et comme déjà énoncé précédemment, la demande en eau pour l'irrigation du BV7 Richard Toll est fortement dégradée en particulier sur la période de février à juin, période durant laquelle les usages à l'amont ont été particulièrement favorisés.

Le Tableau 99 présente l'écart entre la configuration 4 barrages et 8 barrages du cumul de satisfaction des demandes en eau à l'amont de la demande en eau pour l'irrigation du BV7 Richard Toll. Les valeurs positives (en rouge) représentent une augmentation de la non satisfaction des usages avec la mise en place des 8 barrages et inversement pour les valeurs négatives (en vert).

La dégradation de la satisfaction de la demande en eau est surtout sur les mois de Juillet à Octobre, cela correspond à la période de remplissage des retenues.

En ce qui concerne la demande en eau pour l'irrigation du BV7 Richard Toll, les mois fortement dégradés concernent essentiellement les mois où les pertes en évaporation nette sont les plus importantes et qui ont augmenté avec la mise en place des 3 nouveaux barrages réservoirs. De plus, pendant cette période, les usages à l'amont ont tendance à être mieux satisfaits avec la configuration 8 barrages qu'avec 4 barrages.

Tableau 99 – Non-satisfaction de la demande globale à l'amont du prélèvement pour l'irrigation Richard Toll et un rappel pour cet usage uniquement pour les scénarios de gestion de référence 4 barrages et 8 barrages au pas de temps mensuel.

en Mm ³	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Ecart entre configuration 4 barrages et 8 barrages sur tous les usages à l'amont de l'IRR BV7 Richard Toll	0.00	1.02	-0.12	-0.46	-2.55	-0.02	1.00	2.12	0.19	0.19	0.00	0.00
Variations de réserve de toutes les retenues sauf Diama (configuration 8 barrages)	-1090	-1017	-1095	-927	-534	-45	617	2093	1975	-975	-344	-746
Evaporation nette de toutes les retenues sauf Diama (configuration 8 barrages)	122	130	152	130	73	-3	-308	-155	-83	12	80	94
Variation de l'évaporation nette de toutes les retenues sauf Diama (configuration 8 barrages Vs 4 barrages)	62	61	66	48	4	-35	-79	-96	-63	-6	43	55
BV7_RichardToll	0.00	0.54	27.46	26.17	21.51	-15.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variations de réserve de la retenue de Diama (configuration 8 barrages)	0	0	0	0	0	0	-104	-138	138	104	0	0
Evaporation nette de la retenue de Diama (configuration de 8 barrages)	64	68	61	26	-22	-55	-94	0	0	0	0	0

Par contre, certains usages situés au centre du bassin versant, à l'aval du barrage de Manantali voient leurs taux de satisfaction à la demande en eau s'améliorer, en particulier durant la période sèche (de Mars à Juillet) avec le soutien des nouveaux barrages-réservoirs.

d) Scénario de gestion "Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"

Pour ce scénario de gestion avec des besoins en eau en projection 2025 et en configuration de gestion de la ressource avec 8 barrages, les demandes moyennes annuelles non satisfaites sont de **646 Mm³/an (11% de la demande annuelle totale des besoins « en projection 2025 »)**. Une attention particulière doit être portée sur ce résultat car la demande en eau en projection 2025 est plus de trois fois plus élevée que la demande actuelle. Ainsi, pour ce scénario, les demandes moyennes annuelles non satisfaites représentent 40% de la demande annuelle totale des besoins « actuels ».

Les résultats pour ce scénario sont très proches de ceux observés avec les besoins actuels avec néanmoins une augmentation du taux de non satisfaction de la demande en eau pour tous les usages.

Par rapport à la configuration avec 4 barrages, les taux de non satisfaction de la demande en eau sont à nouveau plus importants. La demande en eau est à nouveau pénalisée à l'aval du bassin

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

versant du fleuve Sénégal avec en particulier la demande en eau du BV7 Richard Toll (avec 350 Mm³/an non satisfaits). Les usages à l'amont sont également plus pénalisés avec cette configuration de 8 barrages. Par contre, les usages situés au centre du BFS ont tendance à être plus satisfaits avec la configuration 8 barrages qu'avec 4 barrages.

B. Etude de la période sèche (données hydro-climatologique de 1970-1990)

Pour cette partie d'analyse, nous considérons les données hydro climatologiques sur la 1970 - 1990 (considérée comme une période « sèche »). Pour simplifier la lecture des résultats, les différents scénarios analysés sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 100 – Synthèse des scénarios analysés sur la période sèche.

Scénarios de gestion	"Période Sèche - 4 barrages - Demande actuelle"	"Période Sèche - 8 barrages - Demande actuelle"	"Période Sèche - 8 barrages - Demande 2075"
Gestion de la ressource	4 Barrages	8 Barrages	8 Barrages
Demande en eau	Actuelle (sur la base de 2010)	Actuelle (sur la base de 2010)	En projection 2075

a) Scénario de gestion "Période Sèche - 4 barrages - Demande actuelle"

Les demandes moyennes annuelles non satisfaites avec le scénario de gestion de la ressource de référence (avec le seul barrage régulateur de Manantali) pour les besoins actuels sont de 111 Mm³/an (soit 7% de la demande annuelle totale des besoins « actuels »).

La Figure 122 représente la répartition de la demande non satisfaite pour les différents usages pour le scénario de gestion de la ressource de référence. On remarque qu'une grande part de la demande non satisfaite pour les besoins actuels avec 4 barrages et avec une pluviométrie faible sont situés à l'amont et au centre du bassin versant du Fleuve Sénégal. Par rapport à la période humide, ces taux de non satisfaction sont plus importants et surtout plus répandus.

b) Scénario de gestion "Période Sèche - 8 barrages - Demande actuelle"

Ce scénario permet de comparer les résultats à ceux du précédent où seul le nombre de barrages est modifié, toutes choses égales par ailleurs. Même s'il est peu réaliste vis-à-vis de la demande en eau, il permet de 'sentir' l'impact des barrages.

Pour le scénario de gestion huit barrages (ajout de trois barrages régulateurs : Boureya, Koukoutamba et Gourbassi et d'un barrage au fil de l'eau : Balassa), les demandes moyennes annuelles non satisfaites sont de **208 Mm³/an** (13% de la demande annuelle totale des besoins « actuels »).

La Figure 123 représente la répartition de la demande non satisfaite pour les différents usages pour le scénario de gestion de la ressource huit barrages. Il apparaît qu'avec la mise en place des 4 nouveaux barrages, la répartition spatio-temporelle de la ressource en eau est plus homogène. On remarque tout de même que la mise en place de ces structures a un impact non uniforme sur les usages. En effet, certains usages à l'amont comme les cheptels et l'irrigation voient leur taux de satisfaction en eau fortement se dégrader. Par exemple l'usage pour l'irrigation du BV1 passe d'un taux de non satisfaction de 15% à 29%.

D'une manière générale, les demandes en eau pour l'AEP sont globalement satisfaites. Concernant les cheptels et les mines, le taux de non satisfaction est toujours supérieur à 20%. Enfin pour l'irrigation ces résultats sont plus disparates. Les demandes en eau pour l'irrigation sont pénalisées à l'aval du BFS et à l'amont. Les usages situés au centre du bassin (à l'aval de Félou) sont quant à eux bien desservis. Des usages sont marqués par des taux de non satisfaction bien plus importants, comme :

- en AEP à Kita avec une non satisfaction de 0.2 Mm³/an sur les 0.8 Mm³/an demandés ;

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

- en irrigation avec le BV7 Richard Toll avec une non satisfaction de 108 Mm³/an sur les 412 Mm³/an demandés ;
- pour les cheptels du BV1 avec une non satisfaction de 5.3 Mm³/an sur les 13.2 Mm³/an demandés
- et les Mines amont avec une non satisfaction de 9.0 Mm³/an sur les 12.7 Mm³/an demandés.

Il est à noter que pour cette nouvelle configuration avec 8 barrages :

- Une part importante (près de 87%) des demandes moyennes annuelles non satisfaites sont issues des usages de l'irrigation, en particulier, sur le BV7 Richard Toll.
- L'AEP de Dakar Gnit présente aussi une non satisfaction de la demande en eau de l'ordre de 8 %. Avec la gestion de référence quatre barrages, cette non satisfaction était de 0%.

c) Scénario de gestion "Période Sèche - 8 barrages - Demande 2075"

Pour ce dernier scénario de gestion avec des besoins en eau en projection 2075 et en configuration de gestion de la ressource avec 8 barrages, les demandes moyennes annuelles non satisfaites sont de **1 394 Mm³/an (20 % de la demande annuelle totale des besoins « en projection 2075 »)**. Une attention particulière doit être portée sur ce résultat car la demande en eau en projection 2075 est plus de quatre fois plus élevée que la demande actuelle. Ainsi pour ce scénario, les demandes moyennes annuelles non satisfaites représentent **87%** de la demande annuelle totale des besoins « actuels ».

La Figure 121 représente la répartition de la demande non satisfaite pour les différents usages pour le scénario de gestion de la ressource huit barrages avec les besoins en eau en projection 2075. Les résultats pour ce scénario sont très proches de ceux observés avec les besoins actuels avec néanmoins une augmentation du taux de non satisfaction de la demande en eau pour tous les usages. Des usages sont marqués par des taux de non satisfaction encore plus importants, comme :

- en AEP :
 - à Kita avec une non satisfaction de 1.1 Mm³/an sur les 3.4 Mm³/an demandés ;
- en irrigation :
 - Sur le BV7 Richard Toll avec une non satisfaction de 491 Mm³/an sur les 1 854 Mm³/an demandés
 - Sur le BV1 avec une non satisfaction de 226 Mm³/an sur les 448 Mm³/an demandés ;
 - A Dagana Richard avec une non satisfaction de 208 Mm³/an sur les 434 Mm³/an demandés ;
 - Sur le BV6 à Podor avec une non satisfaction de 177 Mm³/an sur les 270 Mm³/an demandés.
- et les Mines amont avec une non satisfaction de 130 Mm³/an sur les 225 Mm³/an demandés.

Il est à noter que pour cette nouvelle configuration avec 8 barrages :

- Une part importante (près de 87%) des demandes moyennes annuelles non satisfaites sont issues des usages de l'irrigation.
- Une part non négligeable de la demande non satisfaite est due aux mines en amont du bassin (10% de la demande non satisfaite globale).

Notons que ce scénario est le plus pessimiste combinant une pluviométrie faible avec une forte demande en eau provenant de l'irrigation et des mines.

FIGURE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

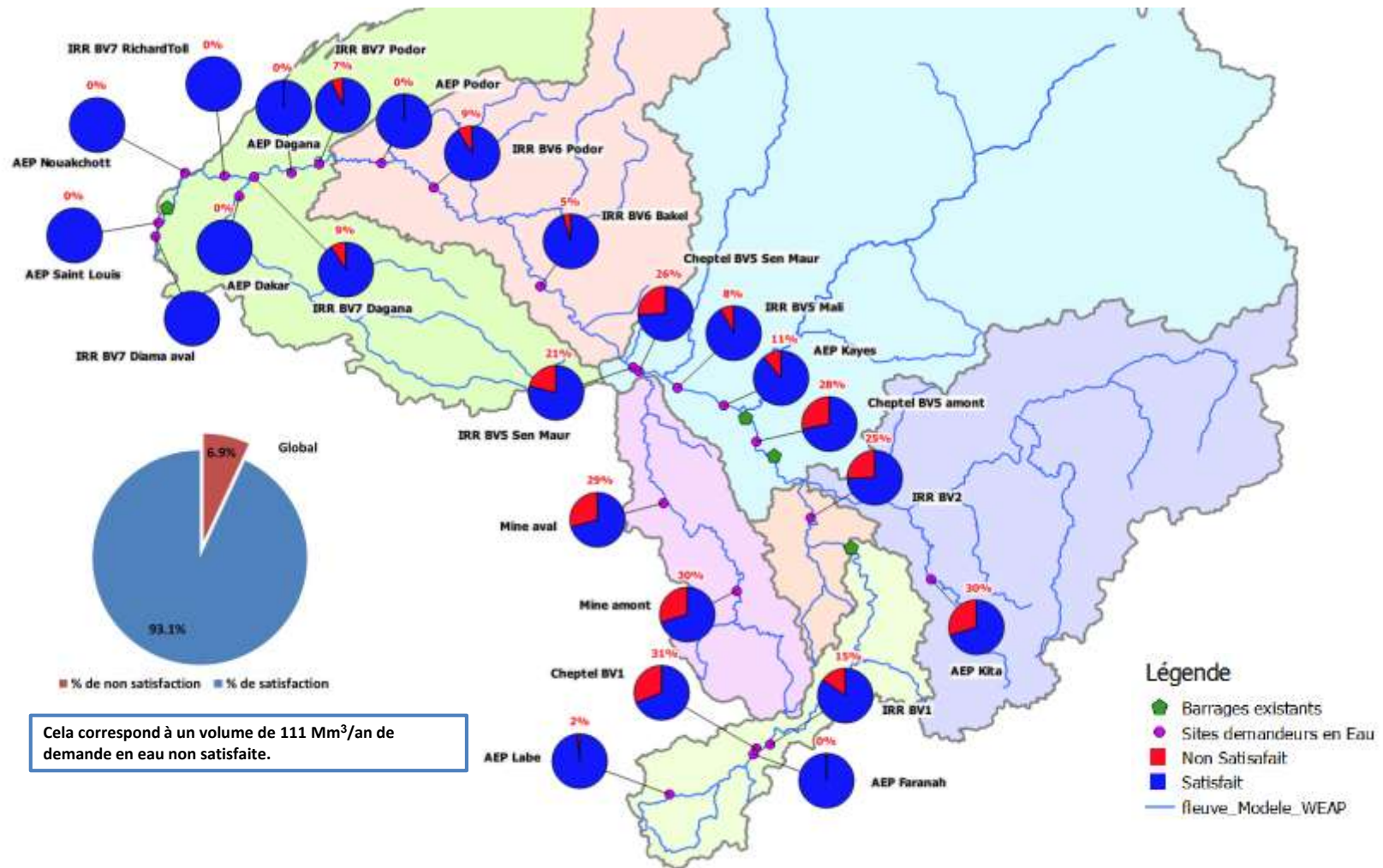
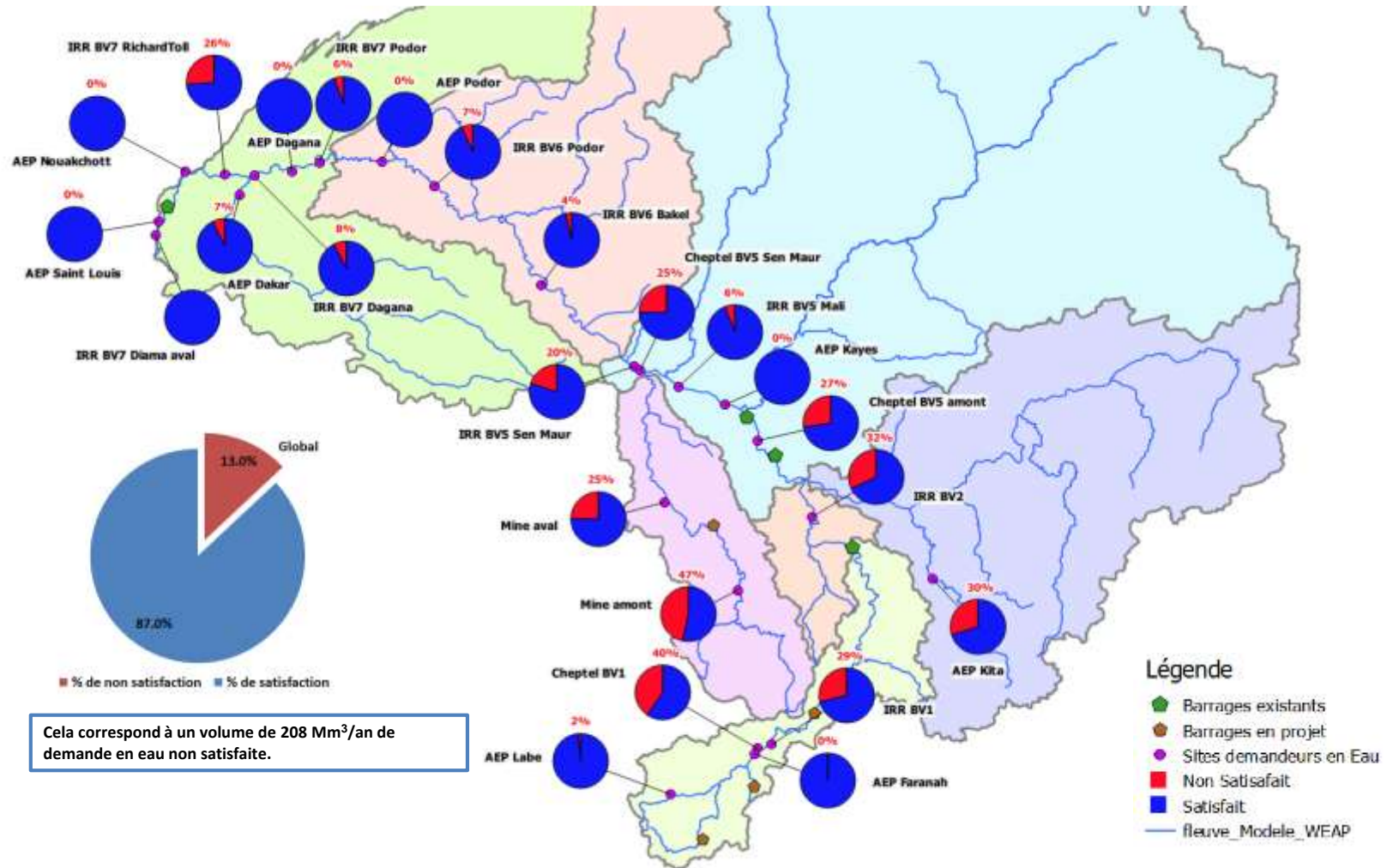


Figure 122. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de référence quatre barrages – besoins actuels pour la période sèche

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE



Cela correspond à un volume de 208 Mm³/an de demande en eau non satisfaite.

Figure 123. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins actuels pour la période sèche

FIGURE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

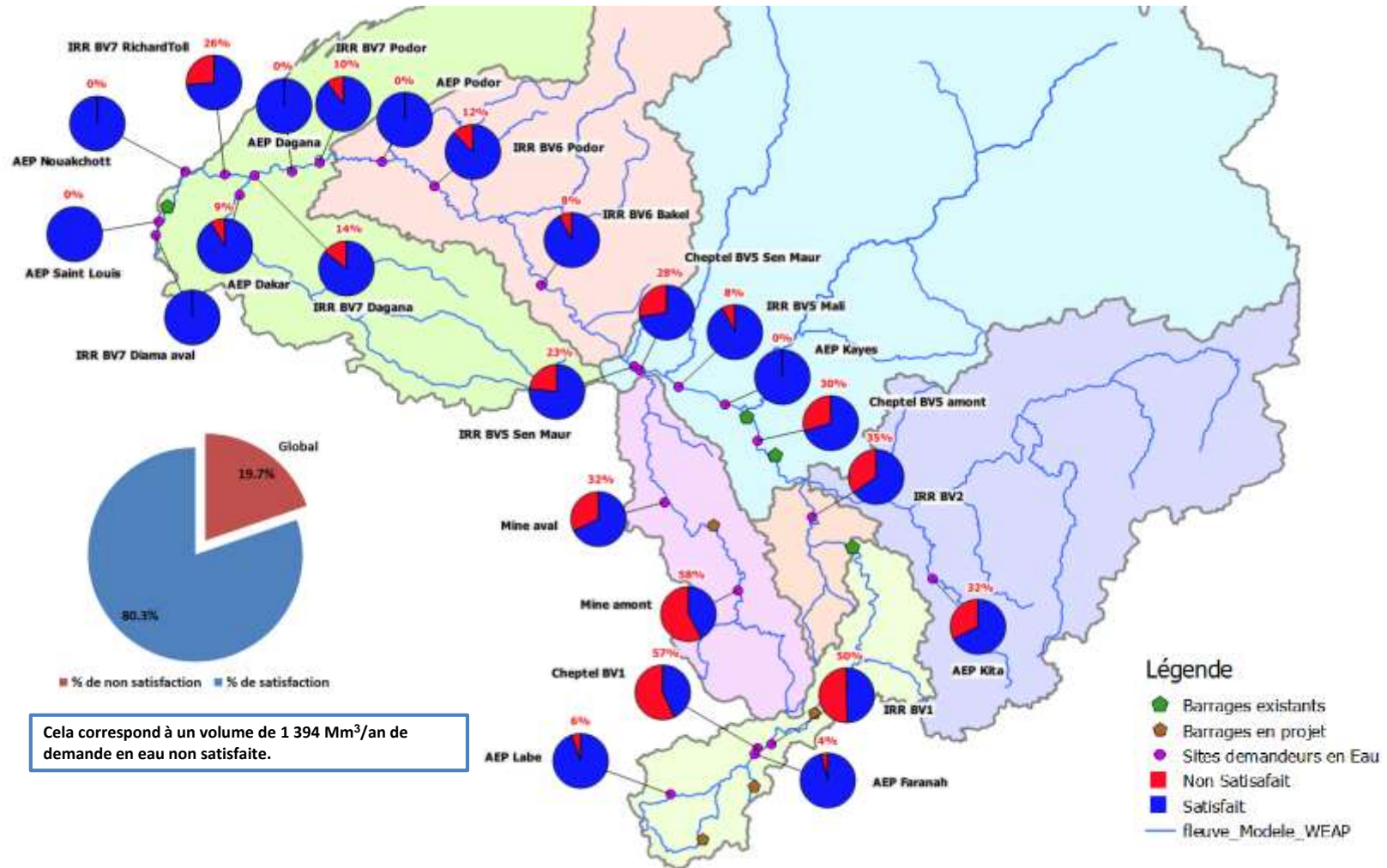


Figure 124. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages – besoins 2075 pour la période sèche

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

C. Bilan

Il est également intéressant de quantifier la satisfaction de la demande par usage. Pour cela le tableau ci-dessous représente les volumes d'eau moyens annuels non satisfaits par usage ainsi que la proportion de non satisfaction. Ces résultats sont présentés pour les différents scénarios analysés précédemment.

Tableau 101 – Non-satisfaction de la demande par usage pour les scénarios de gestion de référence 4 barrages et huit barrages ; besoins actuels et en projection 2025 et 2075 ; sur la période humide et la période sèche

Usage	"Période Sèche - 4 barrages - Demande actuelle"		"Période Humide - 4 barrages - Demande actuelle"		"Période Humide - 4 barrages - Demande 2025"		"Période Sèche - 8 barrages - Demande actuelle"		"Période Humide - 8 barrages - Demande actuelle"		"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"		"Période Sèche - 8 barrages - Demande 2075"	
	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an
Demande Non satisfaite														
AEP Dagana_Richard Toll	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.1%	0.0
AEP Dakar_Gnit	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	7.5%	2.8	2.5%	0.9	2.8%	1.3	8.7%	11.0
AEP Kayes	10.9%	0.4	1.7%	0.1	1.7%	0.1	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.1%	0.0
AEP Nouakchott_Rosso	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.1%	0.1
AEP Saint Louis	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP_Faranah	0.1%	0.0	0.0%	0.0	0.1%	0.0	0.2%	0.0	0.0%	0.0	0.1%	0.0	3.9%	0.5
AEP_Kita	29.7%	0.2	22.7%	0.2	25.1%	0.3	29.7%	0.2	22.7%	0.2	25.1%	0.3	32.2%	1.1
AEP_Labe	1.8%	0.0	1.7%	0.0	1.8%	0.0	1.8%	0.0	1.7%	0.0	1.7%	0.0	5.6%	0.3
AEP_Podor	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.1%	0.0
IRR BV1	15.0%	0.5	6.3%	0.2	28.2%	104.2	28.9%	0.9	12.1%	0.4	37.1%	136.9	50.3%	225.6
IRR BV5_Sen_Maur	21.2%	0.7	5.3%	0.2	8.8%	1.5	20.1%	0.7	5.6%	0.2	7.0%	1.2	23.3%	4.8
IRR BV6_Bakel	4.8%	1.3	0.0%	0.0	0.6%	0.9	3.7%	1.0	0.0%	0.0	0.4%	0.6	7.6%	12.7
IRR BV7_Dagana_Richard	9.2%	40.0	0.1%	0.3	1.0%	10.5	7.5%	32.7	0.0%	0.1	0.9%	10.2	14.4%	207.7
IRR BV7_Diama_aval	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.3%	0.3
IRR BV7_Podor_dagana	7.2%	10.2	0.1%	0.1	0.6%	3.5	5.6%	7.9	0.0%	0.0	0.6%	3.6	10.2%	67.9
IRR BV7_RichardToll	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	26.2%	107.8	22.1%	91.1	22.8%	350.4	26.5%	491.1
IRR Bv2	25.4%	3.4	14.8%	2.0	15.5%	4.6	32.0%	4.2	18.4%	2.4	20.7%	6.1	34.6%	12.6
IRR Bv5_Mali	7.8%	9.0	0.9%	1.0	8.5%	17.6	6.0%	6.9	0.7%	0.9	1.0%	2.2	7.7%	19.4
IRR Bv6_Podor	8.9%	24.0	0.1%	0.2	0.6%	7.3	6.9%	18.7	0.0%	0.0	0.8%	9.5	12.5%	176.7
Cheptel_BV1	31.0%	4.1	19.2%	2.5	28.2%	5.1	40.4%	5.3	24.1%	3.2	44.5%	8.0	57.0%	10.3
Mine_Aval	29.4%	0.1	19.8%	0.1	24.4%	1.8	24.7%	0.1	10.5%	0.0	19.8%	1.5	32.1%	2.4
Mine_amont	29.6%	3.8	20.0%	2.5	37.1%	83.4	46.6%	5.9	33.7%	4.3	46.9%	105.4	57.9%	130.0
Cheptel_BV5_Sen_maur	25.6%	3.9	14.3%	2.2	15.9%	3.3	24.9%	3.8	10.7%	1.6	12.7%	2.6	27.6%	5.7
Cheptel_BV5_amont	28.2%	9.3	16.8%	5.5	18.1%	8.1	27.4%	9.0	12.7%	4.2	14.7%	6.6	29.8%	13.3
Somme	6.9%	110.9	1.1%	17.0	4.5%	252.2	13.0%	208.1	6.9%	109.6	11.4%	646.4	19.7%	1393.6

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

Pour une visualisation plus simple de ce tableau, les cases dont le taux de non satisfaction est inférieur à 5% sont surlignées en vert et les cases dont le taux de non satisfaction est supérieur à 20% sont surlignées en orange. Les cinq volumes d'eau non satisfaits les plus importants sont qualifiés en surlignant les chiffres en rouge.

Globalement, la non-satisfaction de la demande est fortement augmentée en considérant des données hydro-climatologiques considérées comme période « sèche » par rapport à une période de pluviométrie importante. En particulier lors de la période dite sèche, les usages de l'irrigation sont fortement impactés.

Le scénario huit barrages permet de mettre en évidence l'impact des ouvrages régulateurs sur le BFS. Les demandes sont satisfaites pour la plupart des usages AEP pendant la période humide. Seuls certains usages en irrigation à l'aval et à l'amont du BFS sont pénalisés par cette nouvelle configuration. Les demandes pendant la période sèche ne sont pas totalement satisfaites pour la plupart des usages mais les usages favorisés par la configuration 8 barrages le sont tout particulièrement durant un épisode de faible pluviométrie. Les demandes pour l'AEP à Kita, l'irrigation et les cheptels du BV1 et les Mines amont sont les seuls usages qui présentent systématiquement un fort taux de non satisfaction de la demande en eau.

Les mines à l'amont du bassin constituent le secteur pour lequel les demandes sont peu satisfaites avec la configuration huit barrages. Ces mines, situées uniquement sur la Falémé, représentent une activité industrielle importante dans la région. Des solutions doivent être trouvées afin de ne pas impacter qualitativement et quantitativement les écosystèmes aquatiques sur la Falémé. En effet, le secteur minier est un secteur utilisant des produits nocifs pour l'environnement et pouvant contaminer les eaux. A ce niveau-là, nous pouvons donc déjà proposer des solutions afin de diminuer les besoins en eau du secteur minier. Ces solutions consistent majoritairement à une réutilisation maximale des eaux prélevées dans le fleuve et à une dépollution de celles-ci.

Enfin, le Tableau 102 présente la synthèse des résultats de simulation en termes de demandes totales et non satisfaites pour les besoins actuels et en projection 2025 et 2075, pour la période humide et la période sèche, ceci pour les deux scénarios de gestion de la ressource : référence 4 barrages et 8 barrages.

Tableau 102 – Demandes totales et non satisfaites, en volume (Mm³) et pourcentage de la demande totale, pour les besoins actuels et futurs selon les différents scénarios climatiques et de gestion de la ressource (référence quatre barrages et huit barrages)

	Besoins actuels			Besoins 2025			Besoins 2075	
	Besoins (Mm ³ /an)	Non satisfaction des besoins (Mm ³ /an et %)		Besoins (Mm ³ /an)	Non satisfaction des besoins (Mm ³ /an et %)		Besoins (Mm ³ /an)	Non satisfaction des besoins (Mm ³ /an et %)
		Référence 4 barrages	8 barrages		Référence 4 barrages	8 barrages		8 barrages
Période humide	1600	17	110	5646	252	646	7065	
		1%	7%		5%	11%		
Période sèche		111	208					1394
		7%	13%					20%

5.5.3.1.2. Production hydroélectrique

La production hydroélectrique des différents ouvrages a été étudiée pour les deux scénarios de gestion de la ressource :

- Pour le scénario de référence quatre barrages : barrages de Manantali, Félou et Gouina (NB. pas de production hydroélectrique à Diama);
- Pour le scénario huit barrages : barrages de Manantali, Boureya, Goubassi, Koukoutamba, Balassa, Félou, Gouina (NB. pas de production hydroélectrique à Diama).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****A. Scénario de référence (4 barrages)**

Le Tableau 103 donne la production hydroélectrique mensuelle moyenne pour le scénario de gestion de référence (quatre barrages) les besoins actuels et avec les besoins en projection 2025 en considérant une période sèche (données hydro-climatologiques 1970-1990) et une période humide (données hydro-climatologiques 1990-2010). Les barrages hydroélectriques pris en considération dans ce scénario sont Manantali, Félou et Gouina.

Tableau 103 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion de référence (quatre barrages) - besoins actuels - sur la période humide et la période sèche.

Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh)	Configuration 4 barrages											
	Besoins actuels								Besoins 2025			
	Période sèche (1970-1990)				Période humide (1990-2010)				Période humide (1990-2010)			
	Félou	Gouina	Manantali	Somme	Félou	Gouina	Manantali	somme	Félou	Gouina	Manantali	Somme
janvier	36	60	113	209	35	59	115	209	35	59	114	208
février	34	56	105	195	35	59	111	205	35	59	111	204
mars	29	49	89	167	34	58	104	196	34	57	102	192
avril	13	22	42	77	31	53	91	176	29	50	85	165
mai	4	7	14	24	7	12	18	38	7	12	16	35
juin	7	14	17	37	10	18	20	49	10	18	19	47
juillet	20	35	22	77	23	40	29	92	23	39	27	89
août	43	82	46	171	48	97	54	199	48	96	52	196
septembre	46	93	80	218	49	110	122	280	49	109	111	269
octobre	27	46	38	111	31	54	47	132	31	53	46	131
novembre	35	59	101	195	35	59	101	196	35	59	101	196
décembre	35	58	110	203	35	59	110	204	35	59	110	203
Somme	329	581	775	1684	375	677	922	1974	371	669	895	1935

Le seul barrage de Manantali représente plus de 46% de la production hydroélectrique du bassin. On remarque que le minimum de production sur le bassin se produit en mai, mois de fin de la saison sèche, avec une production hydroélectrique de 38 GWh pour la période humide et 24 GWh pour la période sèche.

La production hydroélectrique totale annuelle moyenne avec les besoins actuels du bassin et sur la période humide est de 1 974 GWh soit 17% de plus que pendant la période sèche. Les baisses de productions annuelles pour les barrages de Félou, Gouina et Manantali sont respectivement de 14%, 17% et 19%.

En considérant les besoins en eau 2025, une baisse de 2% de la production hydroélectrique du bassin est observée. Ce qui représente une baisse faible du rendement au vu de la forte augmentation de la demande en eau appliquée dans la projection 2025.

B. Scénario huit barrages

Le scénario huit barrages considère la mise en eau de trois nouveaux barrages régulateurs (Boureya, Koukoutamba et Gourbassi) et d'un barrage au fil de l'eau (Balassa). La capacité de production hydroélectrique sur le bassin est donc significativement augmentée.

a) Période humide

L'analyse se base dans un premier temps sur la période humide. La production hydroélectrique annuelle moyenne est étudiée avec les besoins actuels et avec les besoins en projection 2025 pour voir dans quelle mesure l'augmentation des besoins en eau pour les usages tels que l'AEP, l'irrigation, les mines ou l'élevage jouent sur cette production hydroélectrique.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****Tableau 104 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins actuels et en projection 2025 sur la période humide.**

Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh)	Configuration 8 barrages															
	Besoins actuels								Besoins projection 2025							
	Période humide (1990-2010)															
	Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum	Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum
janvier	6	61	34	58	10	17	110	297	6	61	34	59	10	17	109	296
février	2	59	34	58	9	4	108	276	2	58	34	59	9	4	108	274
mars	1	56	34	59	7	1	104	262	1	54	34	58	6	1	102	256
avril	0	40	33	56	2	0	98	229	0	29	33	56	1	1	96	216
mai	1	14	22	38	0	3	61	139	1	9	19	33	0	3	51	116
juin	10	4	12	20	0	7	24	77	10	4	11	19	0	7	21	73
juillet	52	15	22	38	3	37	27	194	52	15	22	37	2	37	25	190
août	137	79	47	96	9	122	61	550	137	82	46	93	9	122	56	546
septembre	142	113	48	107	12	98	73	592	142	109	48	106	12	101	67	585
octobre	92	158	30	52	13	61	41	447	92	157	30	51	12	60	41	443
novembre	38	125	35	60	11	72	100	441	38	116	35	60	11	72	100	432
décembre	15	73	35	59	10	65	109	365	15	67	35	59	10	63	108	358
Somme	497	795	386	701	87	489	915	3870	497	761	381	690	83	489	884	3784

La production hydroélectrique totale annuelle moyenne avec les besoins actuels du bassin est de 3 870 GWh dont 2 199 GWh pour les barrages de Boureya, Koukoutamba et Manantali soit 57% de la production hydroélectrique du bassin. On remarque que le minimum de production sur le bassin se produit en juin, mois de fin de la saison sèche, avec une production hydroélectrique totale de 77 GWh sur le bassin.

Avec les besoins en projection 2025, la production hydroélectrique annuelle moyenne est affectée par rapport aux besoins actuels (-86 GWh soit -2% de la production annuelle moyenne). L'augmentation des besoins n'influence pas de la même façon l'ensemble des barrages. Ainsi, on observe des baisses de productions annuelles pour les barrages de Boureya, Férou, Gouina, Gourbassi et Manantali de respectivement de 4%, 1%, 2%, 5% et 3%. Au contraire, la gestion des barrages, telle que paramétrée dans le modèle, conduit à une stagnation de la production hydroélectrique annuelle moyenne pour les barrages de Koukoutamba et de Balassa.

On peut également s'intéresser à la différence de production entre les deux scénarios de gestion de la ressource et comparer la production hydroélectrique des ouvrages de Férou, Gouina et Manantali avant et après ajout des nouveaux barrages régulateurs. Pour ces trois ouvrages déjà existants, en considérant les besoins actuels, l'évolution de la production hydroélectrique est minime avec une augmentation de la production annuelle moyenne de 3 % pour Férou, Gouina et une diminution de la production annuelle moyenne de 1% pour Manantali. On remarque également que la production hydroélectrique est plus importante lors de la saison sèche (mois d'Avril à Juillet) grâce au soutien des retenues à l'amont.

b) Période sèche

Cette fois l'analyse se base sur la période sèche. La production hydroélectrique annuelle moyenne est étudiée entre les besoins actuels et les besoins en projection 2075 pour voir dans quelle mesure l'augmentation des besoins en eau pour les usages tels que l'AEP, l'irrigation, les mines ou l'élevage jouent sur cette production hydroélectrique.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****Tableau 105 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins actuels et en projection 2075 sur la période sèche.**

Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh)	Configuration 8 barrages															
	Besoins actuels								Besoins projection 2075							
	Période sèche (1970-2010)															
	Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum	Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum
janvier	6	60	35	58	8	10	111	288	6	58	35	58	8	9	110	284
février	2	44	34	57	6	4	107	255	2	35	34	57	7	4	105	243
mars	2	23	31	52	5	1	95	210	2	21	29	49	4	3	88	195
avril	1	18	19	31	1	2	58	130	1	15	17	28	1	2	53	116
mai	2	10	8	14	0	4	27	66	2	8	7	12	0	4	22	55
juin	12	9	7	11	0	8	14	60	12	9	6	10	0	8	13	58
juillet	48	32	17	29	2	40	15	184	48	32	17	28	2	40	14	182
août	122	85	40	73	9	112	34	473	122	85	39	72	8	112	33	471
septembre	130	102	42	80	11	85	50	500	130	100	42	80	10	86	48	496
octobre	81	140	25	42	10	51	32	380	81	138	25	41	10	52	31	377
novembre	35	96	35	59	10	70	102	407	35	89	35	59	10	70	102	399
décembre	14	66	35	58	9	34	110	326	14	63	35	58	9	32	109	321
Somme	454	685	328	565	70	422	754	3279	454	652	320	552	68	422	727	3196

La production hydroélectrique totale annuelle moyenne avec les besoins actuels du bassin est de 3 279 GWh dont 1 862 GWh pour les barrages de Boureya, Koukoutamba et Manantali soit 57% de la production hydroélectrique du bassin. Les résultats sont cohérents avec ceux de la période humide mais avec une diminution de près de 15% du productible global. On remarque que le minimum de production sur le bassin se produit en juin, mois de fin de la saison sèche, avec une production hydroélectrique totale de 60 GWh sur le bassin (ce qui représente une baisse de 22% par rapport à une production hydroélectrique du mois de juin sur la période humide).

Avec les besoins en projection 2075, la production hydroélectrique annuelle moyenne est affectée par rapport aux besoins actuels (-82 GWh soit -3% de la production annuelle moyenne). L'augmentation des besoins n'influence pas de la même façon l'ensemble des barrages. Ainsi, on observe des baisses de productions annuelles pour les barrages de Boureya, Férou, Gouina, Gourbassi et Manantali de respectivement de 5%, 2%, 2%, 3% et 4%. Au contraire, la gestion des barrages, telle que paramétrée dans le modèle, conduit à une stagnation de la production hydroélectrique annuelle moyenne pour les barrages de Koukoutamba et de Balassa.

On peut également s'intéresser à la différence de production entre les deux scénarios de gestion de la ressource et comparer la production hydroélectrique des ouvrages de Férou, Gouina et Manantali avant et après ajout des nouveaux barrages régulateurs. Pour ces trois ouvrages déjà existants, en considérant les besoins actuels, l'évolution de la production hydroélectrique est minime avec une stagnation de la production hydroélectrique pour Férou et diminution de la production annuelle moyenne de 3% pour Gouina et Manantali. Il est à noter que la répartition mensuelle de la production est plus stable avec la configuration huit barrages qu'avec quatre barrages.

C. Bilan

Le Tableau 106 synthétise la production hydroélectrique annuelle moyenne sur la période de simulation pour l'ensemble des scénarios étudiés. Entre période sèche et période humide, la baisse de production est d'environ 15% quel que soit le scénario de gestion étudié.

Tableau 106 – Production hydroélectrique annuelle moyenne (en GWh) pour l’ensemble des scénarios étudiés

Production hydroélectrique annuelle moyenne	Besoins actuels		Besoins 2025		Besoins 2075
	Référence 4 Barrages	8 barrages	Référence 4 Barrages	8 barrages	8 barrages
Période humide (en GWh)	1 974	3 870	1 935	3 784	
Période sèche (en GWh)	1 684	3 279			3 196

5.5.3.1.3. Remplissage des réservoirs

A. Manantali

a) Etude de la période humide

Nous avons étudié l’évolution temporelle du volume stocké dans le réservoir de Manantali pour les différents scénarios de gestion de la ressource (référence quatre barrages et huit barrages) avec une demande en besoins actuels et une demande en besoins en projection 2025. La Figure 125 représente cette évolution. Comme nous pouvons nous en apercevoir, le volume stocké oscille entre les niveaux de remplissage minimum et maximum fixés en paramètres (respectivement 3,3 Md m³ et 11,3 Md m³).

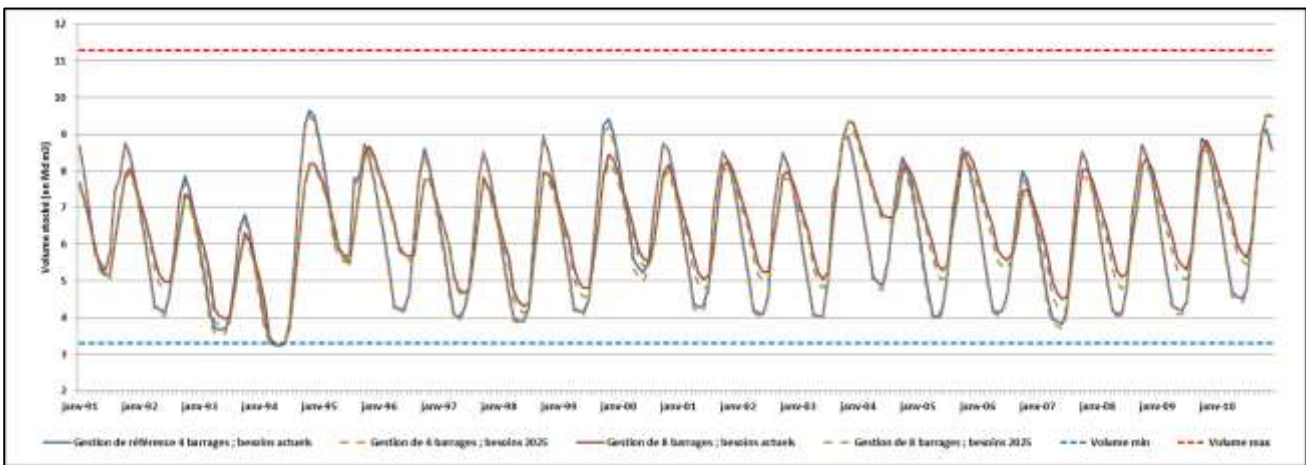


Figure 125. Volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les 4 scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025

Le niveau minimal de stockage n’est atteint que 1 années sur la période de simulation (1991-2010) pour le scénario de référence (4 barrages) avec les besoins actuels et 1 année pour les scénarios avec huit barrages. Cela fait suite à une année particulièrement sèche en 1992 à l’amont du bassin (pluie annuelle d’environ 250 mm à Bafing Makana) qui a conduit à un remplissage moindre du réservoir et donc à une pénurie d’eau au cours des années 1993 et 1994. Le niveau maximal de stockage du réservoir n’est jamais atteint et on observe que le maximum de remplissage s’est produit en fin d’année 1994 après une saison des pluies bien arrosée (environ 1 000 mm en 1994 à Bafing Makana).

Les différences relatives à l’augmentation des besoins sont faibles quel que soit le scénario de gestion de la ressource (4 ou 8 barrages). Pour le modèle de gestion de référence (4 barrages), on observe des baisses du volume stocké en période de basses eaux (d’avril à juillet) et de fortes

augmentations lors des hautes eaux (septembre-octobre) du lac de Manantali lorsque la demande est plus élevée. Ces baisses sont un peu moins importantes si on considère le scénario huit barrages. Cela peut s'expliquer par une régulation plus contrainte de la retenue en fonction des autres barrages à l'amont.

La prise en compte de nouveaux ouvrages régulateurs sur le bassin permet de stocker un volume plus important dans le réservoir mais également de décaler dans le temps le stock. Ainsi, le maximum de stockage se produit principalement de novembre à décembre avec le scénario huit barrages.

b) *Etude de la période sèche*

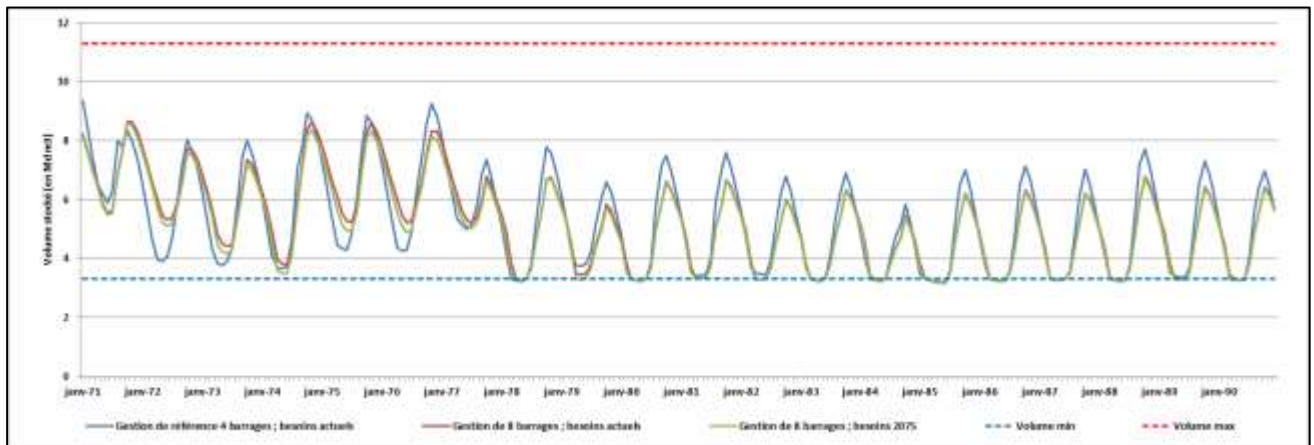


Figure 126. Volume stocké (Mdm³) dans le réservoir de Manantali en période sèche sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2075

L'évolution temporelle du volume stocké dans le réservoir de Manantali pour les deux scénarios de gestion de la ressource (référence quatre barrages et huit barrages) avec une demande en besoins actuels et une demande en besoins en projection 2075 pour une période sèche type 1970 - 1990 est représentée sur la Figure 126. Le volume stocké oscille entre les niveaux de remplissage minimum et maximum fixés en paramètres (respectivement 3.3 Mdm³ et 11.3 Mdm³).

On remarque que le niveau minimal de stockage est atteint très régulièrement sur la période de simulation (1971-1990) pour l'ensemble des scénarios étudiés. Seules les années 1974 à 1977 maintiennent un niveau d'eau supérieur au niveau minimum requis en période de basses eaux du réservoir (avril-juillet). Cela fait suite à des années particulièrement humides en 1974 et 1975 à l'amont du bassin avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 1 420 mm à Bafing Makana qui a conduit à un remplissage plus important du réservoir. Le niveau maximal de stockage du réservoir n'est jamais atteint.

Les différences sur le volume moyen stocké relatives à l'augmentation des besoins sont mineures quel que soit le scénario de gestion de la ressource (4 ou 8 barrages).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

c) *Bilan*

Le Tableau 107 permet d’avoir un ordre de grandeur du volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali sur la période de simulation.

La prise en compte de nouveaux ouvrages régulateurs sur le bassin en période sèche conduit à un stockage très légèrement moins important dans le réservoir de Manantali alors que l’inverse est observé en période humide.

Dans le cas de huit barrages, le volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali diminue en période humide avec les besoins de 2025 et en période sèche avec les besoins de 2075. La gestion des différentes demandes en eau a donc des incidences sur le stockage.

Tableau 107 – Volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali pour l’ensemble des scénarios étudiés

Volume moyen stocké	Besoins actuels		Besoins 2025		Besoins 2075
	Référence 4 Barrages	8 barrages	Référence 4 Barrages	8 barrages	8 barrages
Période humide (en Md m ³ /an)	6.42	6.65	6.31	6,48	
Période sèche (en Md m ³ /an)	5.54	5.41			5.30

B. Diama

Nous nous sommes également intéressés au volume stocké dans le réservoir du barrage de Diama. Ce barrage, construit pour éviter les remontées salines, a créé un réservoir de 0.59 Md m³ dont la consigne consiste en un réservoir plein une majeure partie de l’année pour pourvoir aux demandes d’irrigation et d’AEP. Le volume stocké est inférieur de juillet à septembre pour permettre d’amortir la crue de la saison humide.

a) *Etude de la période humide (2011-2050)*

Les évolutions temporelles des volumes stockés dans le réservoir de Diama sur une période humide de 20 ans proche de ce que pourrait être la période 1990-2010 ont été tracées pour la demande actuelle et en projection 2025 sur la Figure 127.

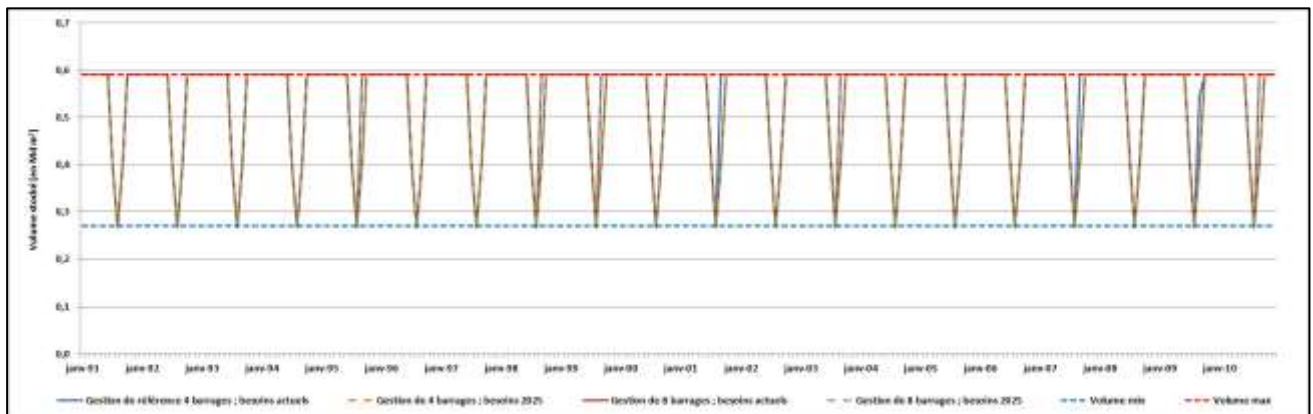


Figure 127. Volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Diama sur une période humide de 20 ans pour les scénarios de gestion de la ressource de Référence 4 barrages et Huit barrages - besoins actuels et en projection 2025

On remarque que la consigne est respectée la plupart du temps sur l’ensemble de la période étudiée. L’analyse de la satisfaction de la demande (partie 5.5.3.1.1) montre d’ailleurs que les demandes à l’aval du bassin sont satisfaites.

Avec l’ajout de quatre barrages à l’amont du bassin, le débit est régulé à Diama et la consigne est parfaitement respectée sur l’ensemble de la période simulée.

b) Etude de la période sèche

Les évolutions temporelles des volumes stockés dans le réservoir de Diama sur une période sèche de 20 ans proche de ce que pourrait être la période 1970 - 1990 ont été tracées pour la demande actuelle et en projection 2075 sur la Figure 128.

On remarque qu’en période sèche, la consigne n’est pas complètement respectée.

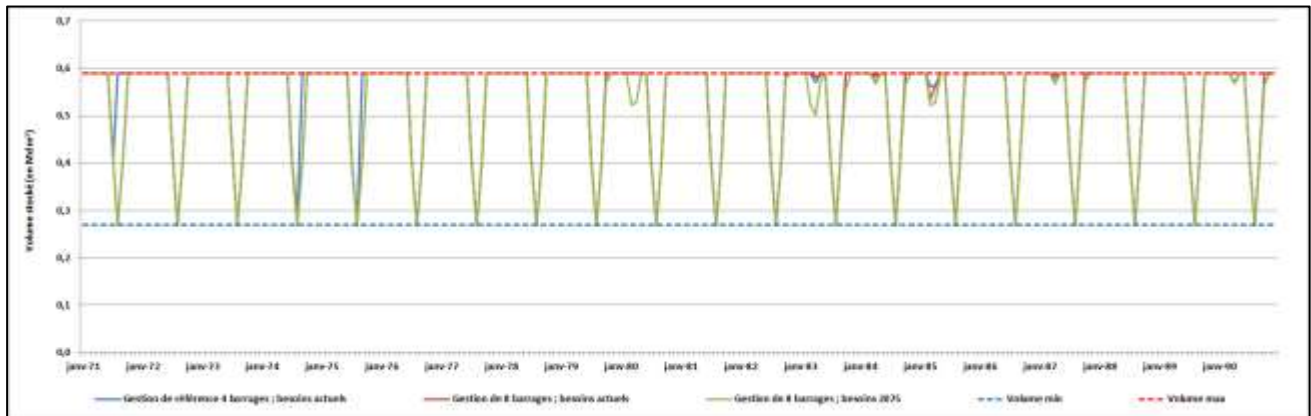


Figure 128. Volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Diama sur une période sèche de 20 ans pour le scénario de gestion huit barrages - besoins actuels et en projection 2075

La Figure 128 montre que la présence des nouveaux barrages tend à permettre de remplir la consigne plus régulièrement sur la période de simulation. Cependant, pour les années sèches comme l’année 1985, le volume stocké diminue sensiblement, notamment avec les demandes en projection 2075.

5.5.3.1.4. Respect des débits environnemental, de navigation et de crue à Bakel

Un point important pris en compte dans le modèle est le respect :

- des débits environnementaux (52 m³/s),
- des débits de navigation (300 m³/s)
- de la crue artificielle pour la culture de décrue à Bakel :
 - 1 512 m³/s pour les mois d’Août et Septembre selon ROCHE ;
 - 878 m³/s pour les mois d’Août et Septembre selon POGR.

Les différences entre les débits à Bakel en considérant les besoins actuels et les besoins en projection 2025 et 2075 étant faibles pour l’ensemble des scénarios étudiés, nous nous focaliserons dans cette partie sur la différence entre les deux scénarios de gestion de la ressource, à savoir 4 et 8 barrages.

A. Etude de la période humide

La Figure 129 représente la variation mensuelle des débits simulés à Bakel sur une période humide de 20 ans considérée comme proche de la période 1990 - 2010 pour les deux scénarios de gestion de la ressource (4 et 8 barrages). Les débits environnementaux (bleu foncé), de navigation (bleu) et de crue artificielle selon ROCHE (rouge) et POGR (orange) ont également été représentés.

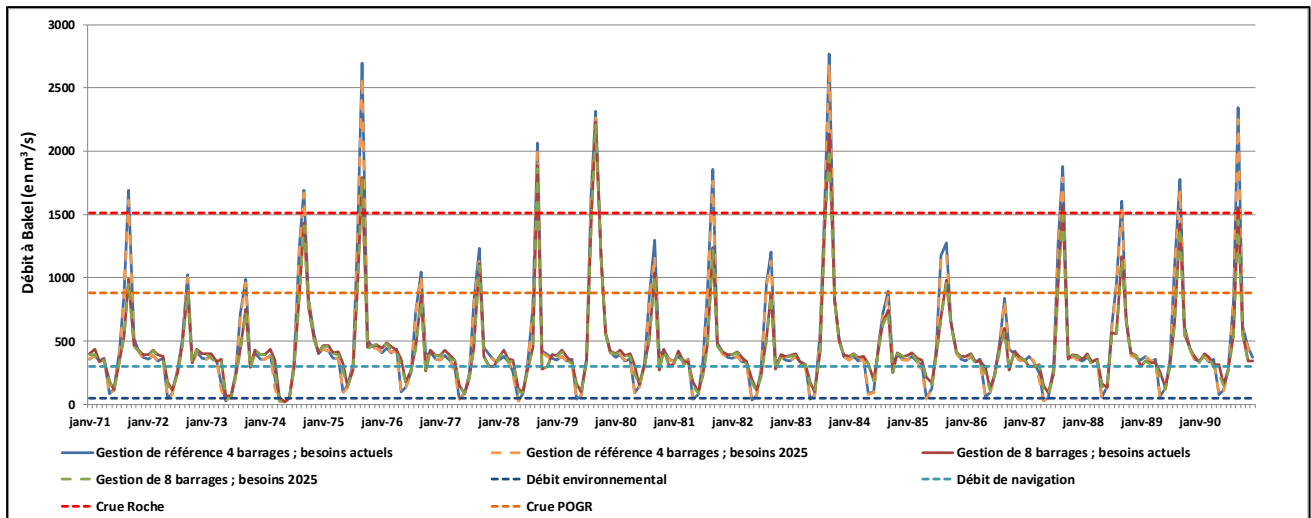


Figure 129. Débits mensuels (m^3/s) simulés à Bakel sous besoins actuels pour les scénarios de gestion de la ressource de référence 4 barrages (bleu) et huit barrages (en rouge) et avec les besoins en projection 2025 4 barrages (en orange) et 8 barrages (en vert) sur une période humide de 20 ans

La courbe bleue correspondant au scénario de gestion de référence (quatre barrages et besoins actuels) montre une alternance de pics. On remarque que le débit environnemental de $52 m^3/s$ est atteint par valeur inférieure (i.e. le débit est inférieur à cette valeur) pour les mois de mai de nombreuses années (11 années sur les 20 ans d'observation). A l'inverse, le débit de crue de $1512 m^3/s$ (ROCHE) en août et septembre est satisfait 5 fois sur la période de simulation de 20 ans et la crue de POGR est satisfait 16 fois sur les 20 années de simulation. Concernant les débits de navigation, en moyenne la navigation est possible pendant 9 mois de l'année. Ces débits sont très proches de ceux obtenus avec une configuration 4 barrages et des besoins en projection 2025.

La courbe rouge correspondant au scénario de gestion huit barrages et besoins actuels montre une alternance de pics moins marquée. Ces débits sont très proches de ceux obtenus avec une configuration huit barrages et des besoins en projection 2025. On remarque que le débit environnemental de $52 m^3/s$ est atteint bien moins souvent que pour le scénario de gestion de référence (quatre barrages). En effet, seule 1 année présente un débit mensuel inférieur au débit minimum préconisé : l'année 1993 pour laquelle il a été montré que les barrages n'ont pu être remplis de manière optimale du fait de la sécheresse de 1992. On observe ainsi l'importance des barrages en soutien d'étiage lorsque la ressource est disponible. A l'inverse, le débit de crue artificiel selon ROCHE de $1512 m^3/s$ en août et en septembre n'est satisfait que 2 fois sur la période de simulation de 20 ans. Le débit de crue artificiel selon POGR est quant à lui satisfait 8 fois. Le choix d'un ordre de priorité plus élevé pour la demande en eau potable (AEP) que pour la crue artificielle est probablement responsable de la réduction du débit de pointe de septembre. Ce point est examiné ci-après. Enfin concernant la navigation, la configuration de 8 barrage ne change pas le temps de navigation possible dans l'année qui reste à 9 mois en moyenne.

B. Etude de la période sèche

La Figure 130 représente la variation mensuelle des débits simulés à Bakel sur une période sèche de 20 ans considérée comme proche de la période 2050-2100 pour les deux scénarios de gestion de la ressource (4 et 8 barrages). Les débits environnementaux (bleu foncé), de navigation (bleu) et de crue artificielle selon ROCHE (rouge) et POGR (orange) ont également été représentés.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

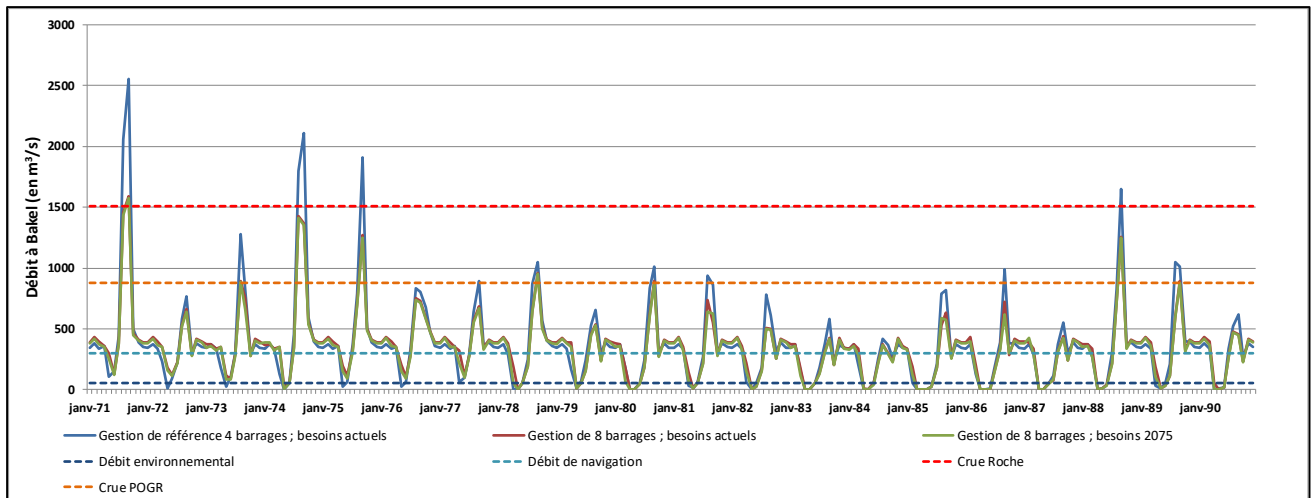


Figure 130. Débits mensuels (m³/s) simulés à Bakel sous besoins actuels pour les scénarios de gestion de la ressource de référence 4 barrages (bleu) et huit barrages (en rouge) et avec les besoins en projection 2075 (en vert) sur une période sèche de 20 ans

Par comparaison avec la période humide, on se rend compte de l'impact de la sécheresse sur les débits à Bakel. En effet, pour chaque année de la période de simulation, le débit mensuel à Bakel en mai est inférieur au débit de navigation de 300 m³/s. Pire, pour certaines années, le débit est même inférieur au débit environnemental de 52 m³/s, nécessaire au maintien de la vie aquatique.

L'ajout des barrages ne permet pas de maintenir un débit suffisant à Bakel, les ressources présentes dans les réservoirs étant faibles comme présenté dans la partie 5.5.3.1.3.A. Cependant, on remarque que, suite à une année humide et lorsque les ressources sont plus importantes à l'amont du bassin, les ouvrages permettent de remplir leur mission de soutien d'étiage et de fournir le débit minimal de navigation à Bakel (années 1975 à 1978 par exemple).

C. Bilan

Le tableau ci-dessous permet de faire une synthèse sur les débits à Bakel pour les différents scénarios analysés.

Tableau 108 – Synthèse des respects des débits environnementaux et de navigation

	Référence (4 barrages)		8 barrages		Référence (4 barrages)	8 barrages	
	Besoins actuels	Besoins 2025	Besoins actuels	Besoins 2025	Besoins actuels	Besoins actuels	Besoins 2075
	Période humide				Période sèche		
Débit environnemental (Nb de dépassements / 20 ans)	11	11	1	2	18	14	14
Débit de navigation (Nb de mois navigables en moyenne /an)	9	9	9	9	8	8	8
Culture de décrue Roche (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	5	5	2	2	2	1	1
Culture de décrue POGR (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	16	15	8	8	9	4	4

L'ajout des 4 barrages supplémentaires permet un soutien d'étiage plus récurrent lors des périodes humides. Par contre, avec une pluviométrie plus faible, le maintien d'un débit minimal de 52 m³/s devient plus rare.

En ce qui concerne les cultures de décrue, la crue artificielle selon ROCHE est difficile à mettre en place. Seulement 5 années sur les 20 années d'analyse respectent cette consigne pour la période humide avec une configuration de 4 barrages. Avec l'ajout des quatre barrages supplémentaires et une période de pluviométrie faible, cette consigne est encore plus difficile à respecter.

5.5.3.1.5. Surface de culture de décrue.

Pour vérifier l'impact des différents modes de gestion de la ressource en eau du BFS, la superficie moyenne de culture de décrue est un indicateur intéressant.

Pour estimer cette superficie de culture de décrue, une relation existe entre le volume de crue à Bakel (en million de m³) et les superficies de culture de décrue (d'après le SDAGE). Les points bleus correspondent aux données du SDAGE. Deux relations sont proposées. La première pour des volumes de crue inférieurs à 5 500 millions de m³ (en rouge) et la seconde (en vert) pour des volumes de crue supérieurs à ce seuil.

A partir de ces informations (points bleus), deux relations linéaires ressortent :

- Pour des volumes de crue inférieurs à 5 500 m³ à Bakel, la relation linéaire est :

$$\text{Superficie culture de décrue (en ha)} = 18,8 * \text{Volume de crue(en Mm}^3) - 35\,609$$

- Pour des volumes de crue supérieurs à 5 500 m³ à Bakel, la relation linéaire est :

$$\text{Superficie culture de décrue (en ha)} = 9,97 * \text{Volume de crue(en Mm}^3) - 12\,422$$

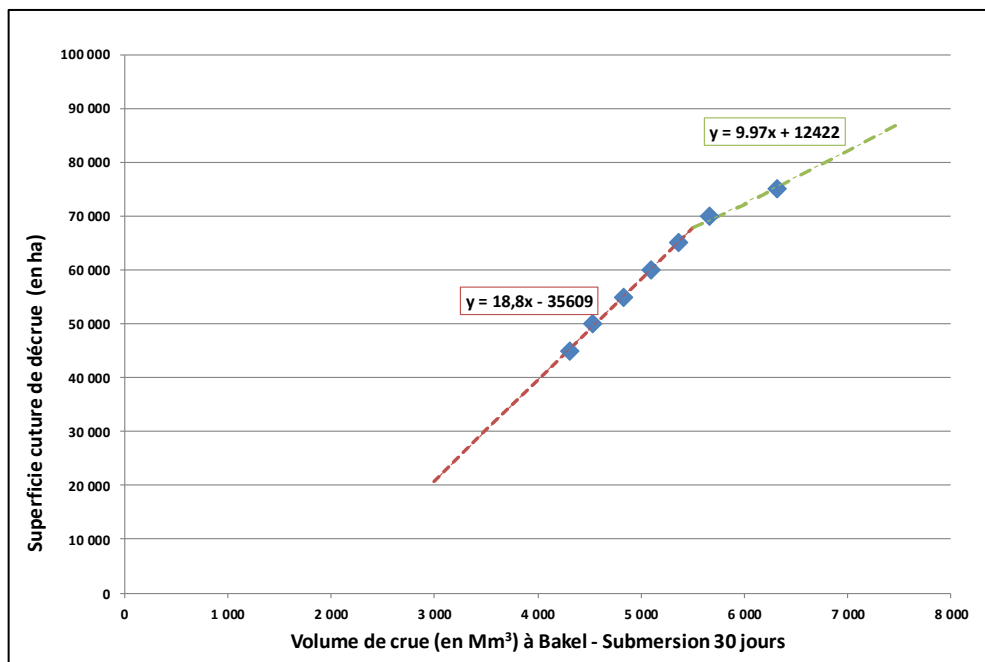


Figure 131. Relation entre volume de crue à Bakel (en million de m³) et les superficies de culture de décrue d'après le SDAGE (en bleu). Relation linéaire pour des volumes de crue inférieurs (en rouge) et supérieurs (en vert) à 5 500 m³.

Il est à noter que cette relation se base sur une submersion de 30 jours. Nous disposons de données au pas de temps mensuel ce qui peut rendre cette estimation pessimiste. En effet la crue de culture peut avoir lieu entre le mois d'Aout et de Septembre ce qui minimise le volume de crue sur chacun des mois. Néanmoins, nous souhaitons vérifier l'impact d'une modification de gestion de la ressource en eau sur le fleuve Sénégal. En partant de la somme des volumes des mois d'Aout et de Septembre rendant ces résultats les plus optimistes possibles, nous obtenons une estimation des superficies irriguées pour chaque scénario de gestion

A. Etude de la période humide (données hydro-climatologiques de 1990-2010)

L'évolution des surfaces moyennes des cultures de décrue est analysée pour les différents scénarios de gestion de la ressource (référence quatre barrages et huit barrages) avec une demande en besoins actuels et une demande en besoins en projection 2025. La Figure 132 représente cette évolution. Les superficies de cultures de décrue avec une crue de POGR (en orange) et de ROCHE (en rouge) sont également reportés sur cette figure.

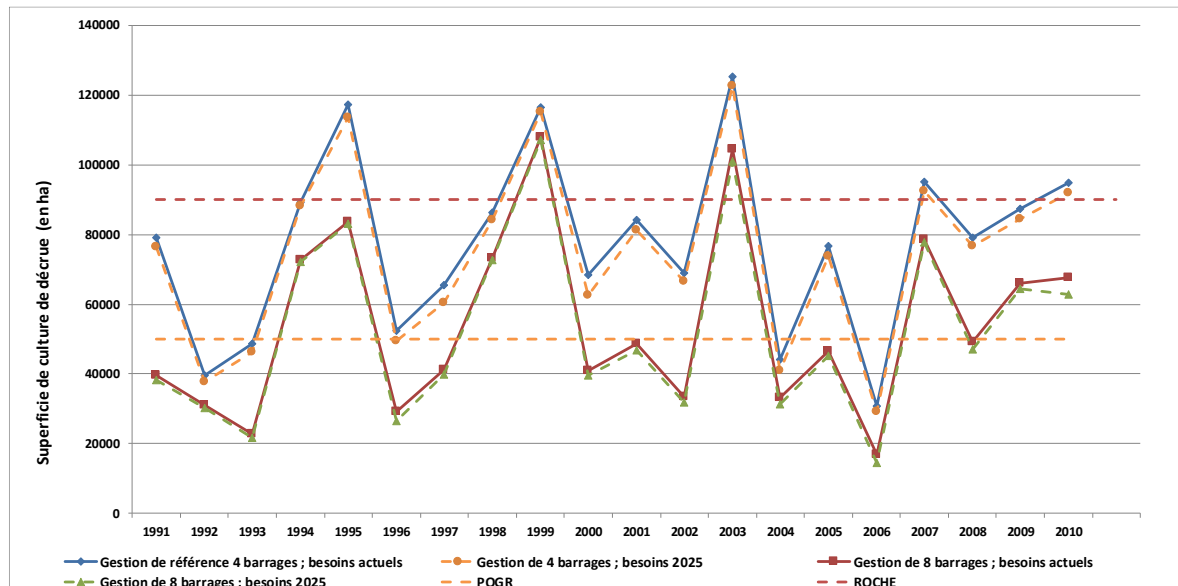


Figure 132. Superficie des cultures de décrue en période humide sur une période de 20 ans pour les quatre scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025.

Ces résultats sont cohérents avec les résultats précédents. Avec une configuration 4 barrages, les superficies de cultures de décrues sont plus importantes qu'avec une configuration de 8 barrages. En moyenne, ces superficies sont 30% plus élevées avec une configuration 4 barrages.

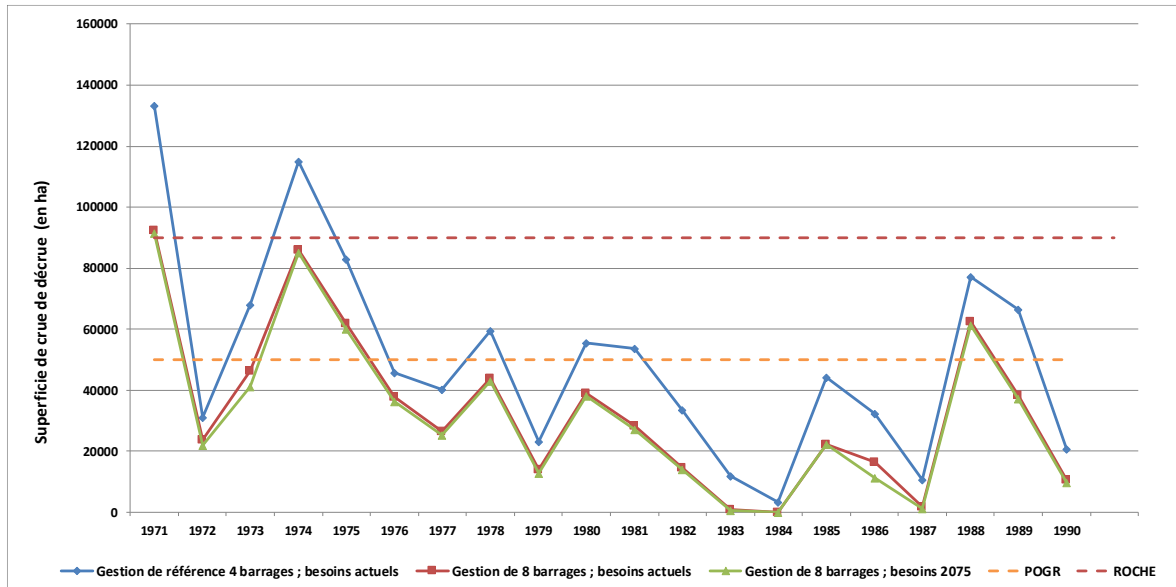
Par contre l'augmentation de la demande en eau en projection 2025 a un impact faible sur la superficie des cultures de décrue avec une diminution de 3% en moyenne entre les besoins actuels et la projection 2025.

B. Etude de la période sèche (données hydro-climatologique de 1970-1990)

L'évolution des surfaces moyennes des cultures de décrue pour les deux scénarios de gestion de la ressource (référence quatre barrages et huit barrages) avec une demande en besoins actuels et une demande en besoins en projection 2075 pour une période sèche type 1970 - 1990 est représentée Figure 133. Les superficies de cultures de décrue avec une crue de POGR (en orange) et de ROCHE (en rouge) sont également reportées sur cette figure.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Figure 133. Superficie des cultures de décrue en période sèche sur une période de 20 ans pour les quatre scénarios de gestion de la ressource sous besoins actuels et en projection 2025.



Avec une configuration 4 barrages, les superficies de cultures de décrues sont plus importantes qu’avec une configuration de 8 barrages. En moyenne, ces superficies sont 34% plus élevées avec une configuration 4 barrages.

Par contre l’augmentation de la demande en eau en projection 2025 a un impact faible sur la superficie des cultures de décrue avec une diminution de 4% en moyenne entre les besoins actuels et la projection 2025.

Il est à noter que pour cette période sèche, les années 1983 et 1984 sont particulièrement impactés avec une superficie des cultures de décrue proche de 0.

5.5.3.1.6. Soutien d’étéage à l’aval de Diama.

Le rôle principal de la retenue de Diama est d’éviter les remontées de la langue saline dans les terres. Un maintien d’un débit minimal à l’aval de la retenue permettrait de protéger les remontées de la langue saline à l’aval du barrage.

Comme pour Bakel, un débit minimum à l’aval de Diama est considéré (ici ce débit est de 50 m³/s). Le tableau ci-dessous permet de faire une synthèse sur les débits à Diama pour les différents scénarios analysés. Ainsi le nombre d’années où le débit à l’aval de Diama est inférieur à ce débit minimum de 50 m³/s ainsi que la durée moyenne (en nombre de mois) de cet étiage sont estimés.

Tableau 109 – Synthèse des respects des débits minima à Diama

	Référence (4 barrages)		8 barrages		Référence (4 barrages)		8 barrages	
	Besoins actuels	Besoins 2025	Besoins actuels	Besoins 2025	Besoins actuels	Besoins actuels	Besoins 2025	
	Période humide				Période sèche			
Débit minimum (Nb d’années de dépassements / 20 ans)	6	17	1	2	18	17	16	
Débit minimum (Nb moyen de mois sous la consigne / 20 ans)	1	1	1	2	2	3	4	

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

L'ajout des quatre barrages supplémentaires permet un soutien d'étiage plus récurrent lors des périodes humides. Par contre, avec une pluviométrie plus faible, le maintien d'un débit minimal de 50 m³/s devient plus rare.

On remarque surtout que pour la période humide, la période des faibles débits à l'aval de Diama est de l'ordre de 1 mois en moyenne alors que cette période est plus importante lors de la période sèche.

5.5.3.2. Impact de la priorisation de l'Hydroélectricité

Dans cette partie, nous avons testé un paramétrage du modèle donnant une priorité moyenne à l'hydroélectricité tout comme au débit environnemental. Ce test est réalisé avec une configuration de huit barrages avec des besoins en eau en projection 2025 sur une période humide. Il est à noter que la demande en eau potable reste en priorité haute et surpasse tous les autres usages.

Ce test a également été réalisé avec une configuration de huit barrages avec des besoins en eau en projection 2075 sur une période sèche. Mais les résultats déjà fortement pessimistes observés ne permettent pas d'avoir des résultats pertinents pour cette analyse d'impact ; aussi ils ne sont pas documentés ci-après.

A. Satisfaction de la demande en eau

Dans cette partie nous souhaitons vérifier l'impact sur les demandes en eau.

Tableau 110 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec deux priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental et Hydroélectricité

Usage	"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"		"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025_Hydroélectricité"	
	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an
Demande Non satisfaite				
AEP Dagana_Richard Toll	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Dakar_Gnit	2.8%	1.3	2.8%	1.3
AEP Kayes	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Nouakchott_Rosso	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Saint Louis	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Faranah	0.1%	0.0	0.1%	0.0
AEP Kita	25.1%	0.3	25.1%	0.3
AEP Labe	1.7%	0.0	1.7%	0.0
AEP Podor	0.0%	0.0	0.0%	0.0
IRR BV1	37.1%	136.9	68.4%	252.4
IRR BV5_Sen_Maur	7.0%	1.2	5.7%	1.0
IRR BV6_Bakel	0.4%	0.6	0.1%	0.2
IRR BV7_Dagana_Richard	0.9%	10.2	0.4%	4.3
IRR BV7_Diama_aval	0.0%	0.0	0.0%	0.0
IRR BV7_Podor_dagana	0.6%	3.6	0.2%	1.0
IRR BV7_RichardToll	22.8%	350.4	22.1%	340.1
IRR Bv2	20.7%	6.1	47.6%	14.0
IRR Bv5_Mali	1.0%	2.2	1.8%	3.7
IRR Bv6_Podor	0.8%	9.5	0.2%	2.9
Cheptel_BV1	44.5%	8.0	72.3%	13.0
Mine_Aval	19.8%	1.5	18.3%	1.4
Mine_amont	46.9%	105.4	58.3%	131.0
Cheptel BV5_Sen_maur	12.7%	2.6	9.8%	2.0
Cheptel BV5_amont	14.7%	6.6	33.8%	15.1
Somme	11.4%	646.4	13.9%	783.9

L'analyse des résultats montre qu'il n'y a pas de variation sur les taux de non satisfactions de la demande en eau potable. En revanche, en ce qui concerne l'irrigation, les cheptels et les mines, la satisfaction de la demande en eau est relativement modifiée.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

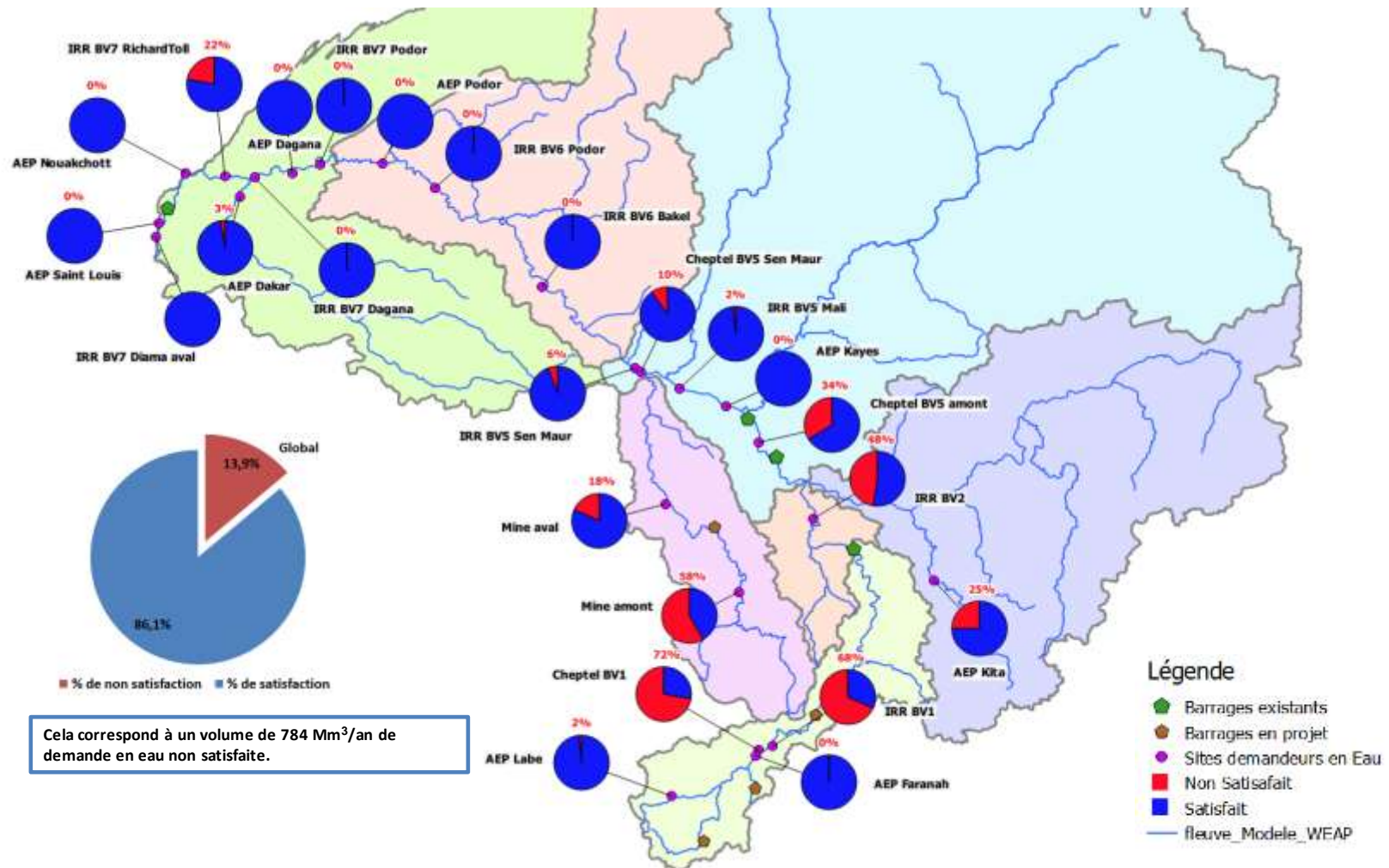


Figure 134. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne donnée à l'hydroélectricité – besoins 2025 pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

D'une manière générale, les usages en amont de la confluence du fleuve Sénégal et de la Falémé sont dégradés avec une augmentation du taux de non satisfaction de la demande en eau. On citera en particulier :

- L'irrigation du BV1 qui passe d'un taux de 37% à 68% de non satisfaction (cela représente un volume supplémentaire de 116 Mm³/an non satisfait), et ;
- Les Mines amont qui passent d'un taux de 47% à 58% de non satisfaction (cela représente un volume supplémentaire de 26 Mm³/an non satisfait).

A l'inverse à l'aval du bassin versant, les taux de non satisfaction ont tendance à diminuer comme pour :

- L'irrigation du BV7 Richard Toll qui réduit le volume d'eau non satisfait de 10 Mm³/an ; et
- L'irrigation du BV7 Dagana Richard qui réduit le volume d'eau non satisfait de 6 Mm³/an.

Globalement, les non satisfactions sont de 11.4% avec la priorité moyenne donnée au seul débit environnemental, elles croissent à 13.9% avec la priorité moyenne donnée à la fois au débit environnemental et à l'hydroélectricité.

B. Production hydroélectrique

Tableau 111 – Comparaison de la production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) du débit environnemental et de l'hydroélectricité.

Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh)	Configuration 8 barrages															
	Besoins projection 2025								Besoins projection 2025_hydroélectricité							
	Période humide (1990-2010)															
	Balassa	Boureya	Félou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum	Balassa	Boureya	Félou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum
janvier	6	61	34	59	10	17	109	296	6	61	34	59	10	42	113	325
février	2	58	34	59	9	4	108	274	2	60	34	58	10	4	111	280
mars	1	54	34	58	6	1	102	256	1	57	34	58	7	1	106	265
avril	0	29	33	56	1	1	96	216	0	54	34	58	2	0	103	252
mai	1	9	19	33	0	3	51	116	1	26	28	47	0	3	80	186
juin	10	4	11	19	0	7	21	73	10	4	13	22	0	7	28	85
juillet	52	15	22	37	2	37	25	190	52	14	24	41	3	37	32	202
août	137	82	46	93	9	122	56	546	137	57	46	88	9	119	47	502
septembre	142	109	48	106	12	101	67	585	142	109	48	106	12	96	74	585
octobre	92	157	30	51	12	60	41	443	92	159	30	53	12	61	44	452
novembre	38	116	35	60	11	72	100	432	38	109	24	40	9	45	60	326
décembre	15	67	35	59	10	63	108	358	15	70	35	59	10	71	112	372
Somme	497	761	381	690	83	489	884	3784	497	781	383	689	84	488	910	3832

La production hydroélectrique totale annuelle moyenne avec les besoins 2025 et une priorisation moyenne sur le seul débit environnemental est de 3 784 GWh.

Avec les besoins en projection 2025 et une priorisation moyenne à la fois sur le débit environnemental et sur l'hydroélectricité, la production hydroélectrique annuelle moyenne est légèrement améliorée (+ 48 GWh soit +1% de la production annuelle moyenne).

La modification de la priorisation n'influence pas de la même façon l'ensemble des barrages. Ainsi, on observe des baisses de productions annuelles pour les barrages de Boureya, Félou, Gourbassi et Manantali de respectivement de +3%, +1%, +2% et +3%. Au contraire, la gestion des barrages, telle que paramétrée dans le modèle, conduit à une stagnation de la production hydroélectrique annuelle moyenne pour les barrages de Gouina, Koukoutamba et de Balassa.

La priorisation de l'hydroélectricité ne présente pas un fort impact sur la production globale annuelle du bassin. Néanmoins, il apparaît que la production hydroélectrique est augmentée sur les mois d'avril à juin, avec pour le mois de juin une augmentation de 61% de la production.

C. Remplissage des réservoirs

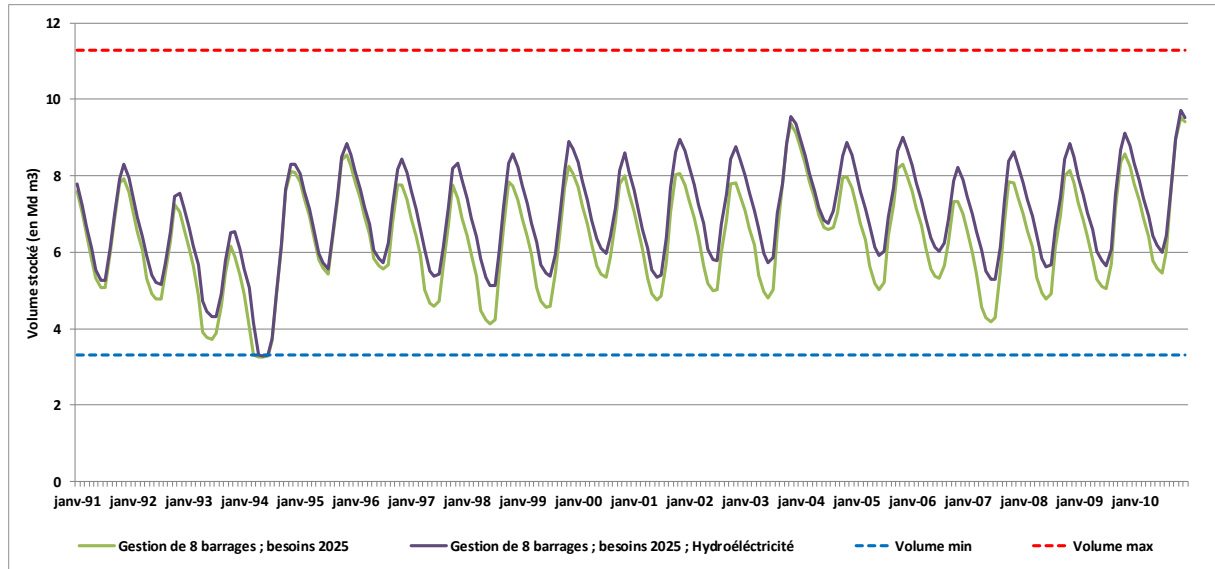


Figure 135. Comparaison du volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (en vert), (II) du débit environnemental et de l'hydroélectricité (en violet).

Le volume stocké dans le réservoir de Manantali est impacté par la contrainte de l'hydroélectricité. Dans le cas d'une priorisation moyenne également donnée à la production hydroélectrique, le volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali augmente en moyenne de 9% en période humide. Les besoins d'une production hydroélectrique nécessitent le maintien des niveaux de la retenue tout au long de l'année.

D. Respect des débits environnementaux et de navigation à Bakel

Le tableau ci-dessous permet de faire une synthèse sur les débits à Bakel et à l'aval de Diama pour les différentes priorités analysées.

Tableau 112 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _
Priorité moyenne donnée à l’Hydroélectricité.

		8 Barrages_Besoin 2025	
		Débit environnemental	Hydroélectricité
		Période humide	
Bakel	Débit environnemental (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	1
	Débit de navigation (Nb de mois navigables en moyenne /an)	9	9
	Culture de décrue Roche (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	2	2
	Culture de décrue POGR (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	8	8
Diama	Débit minimum (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	1
	Débit minimum(Nb moyen de mois sous la consigne / 20 ans)	2	2

La priorisation moyenne de l’hydroélectricité impose une variation plus faible des volumes d’eau dans les retenues et des lâchers réguliers pour répondre à la demande de production électrique. Ainsi le débit environnemental est respecté 19 années sur 20 (contre 18 années sans la priorisation). De même à l’aval de Diama, le maintien de l’étiage est plus souvent respecté. Pour toutes les autres consignes, les résultats restent inchangés.

E. Surface de culture de décrue.

Avec une priorisation moyenne de l’hydroélectricité, les superficies de cultures de décrue sont inchangées par rapport à une priorisation moyenne uniquement sur le débit environnemental.

5.5.3.3. Impact de la priorisation de la crue artificielle.

Le choix d’un ordre de priorité plus élevé pour le débit environnemental que pour la crue artificielle est probablement responsable de la réduction du débit de pointe d’août-septembre. Dans cette partie, nous avons testé un paramétrage du modèle donnant une priorité moyenne à la crue artificielle d’aide à la culture de décrue. Ce test est réalisé avec une configuration de huit barrages avec des besoins en eau en projection 2025 sur une période humide.

A. Satisfaction de la demande en eau

Dans cette partie nous souhaitons vérifier l’impact sur les demandes en eau.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 113 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec trois priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) crue artificielle selon ROCHE et (iii) crue artificielle POGR

Usage	"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"		"Période Sèche - 8 barrages - Demande 2025_ROCHE"		"Période Sèche - 8 barrages - Demande 2025_POGR"	
	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an
Demande Non satisfaite						
AEP Dagana_Richard Toll	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Dakar_Gnit	2,8%	1,3	2,8%	1,3	2,8%	1,3
AEP Kayes	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Nouakchott_Rosso	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Saint Louis	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Faranah	0,1%	0,0	0,3%	0,0	0,4%	0,0
AEP Kita	25,1%	0,3	25,1%	0,3	25,1%	0,3
AEP Labe	1,7%	0,0	2,0%	0,0	2,0%	0,0
AEP_Podor	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0
IRR BV1	37,1%	136,9	50,8%	187,7	43,6%	160,9
IRR BV5_Sen Maur	7,0%	1,2	36,5%	6,1	14,7%	2,5
IRR BV6 Bakel	0,4%	0,6	4,3%	6,0	1,8%	2,4
IRR BV7_Dagana_Richard	0,9%	10,2	8,5%	92,9	3,9%	42,6
IRR BV7 Diama_aval	0,0%	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0
IRR BV7_Podor_dagana	0,6%	3,6	6,5%	35,8	2,6%	14,4
IRR BV7_RichardToll	22,8%	350,4	24,2%	372,0	23,0%	353,4
IRR Bv2	20,7%	6,1	51,7%	15,9	30,8%	9,1
IRR Bv5_Mali	1,0%	2,2	15,2%	31,5	4,8%	10,1
IRR Bv6_Podor	0,8%	9,5	7,9%	93,2	3,3%	38,4
Cheptel BV1	48,5%	8,0	57,9%	10,4	50,9%	9,2
Mine_Aval	19,8%	1,5	40,6%	3,0	25,8%	1,9
Mine_ament	46,9%	105,4	63,8%	143,4	50,8%	114,2
Cheptel_BV5_Sen maur	12,7%	2,6	37,1%	7,7	20,5%	4,3
Cheptel_BV5_ament	14,7%	6,6	39,8%	17,8	23,3%	10,4
Somme	11,4%	646,4	18,2%	1025,1	13,7%	775,6

L'analyse des résultats montre qu'il n'y a pas de variation sur les taux de non satisfactions de la demande en eau potable. Il n'y a pas de modification de répartition globale des non satisfactions de la demande. En revanche, alors que les non satisfactions sont de 11% avec la priorité moyenne donnée au seul débit environnemental, elles croissent à 14% avec la priorité moyenne donnée à la réalisation de la crue POGR et atteignent 18% avec la priorité moyenne donnée à la crue de Roche.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

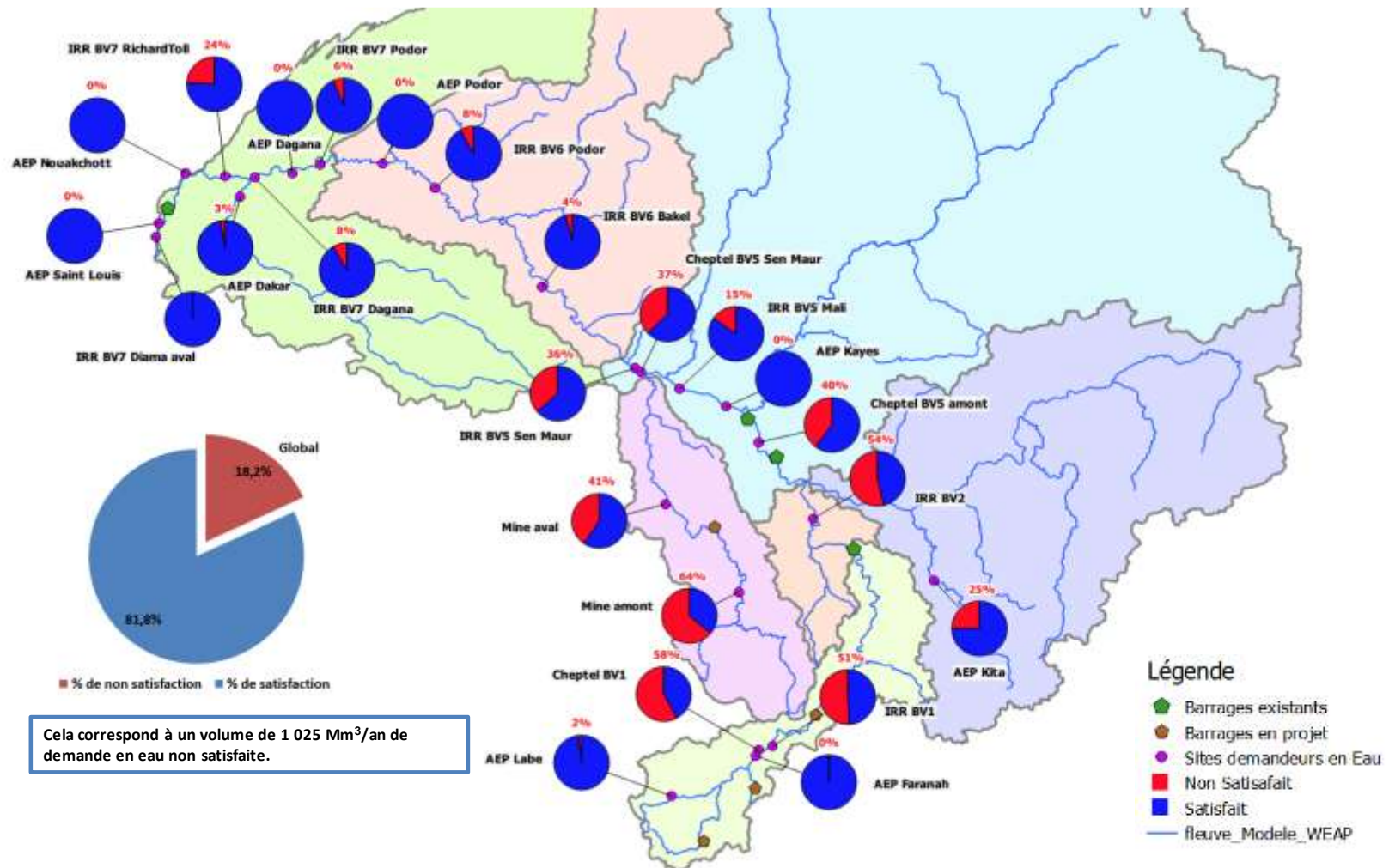
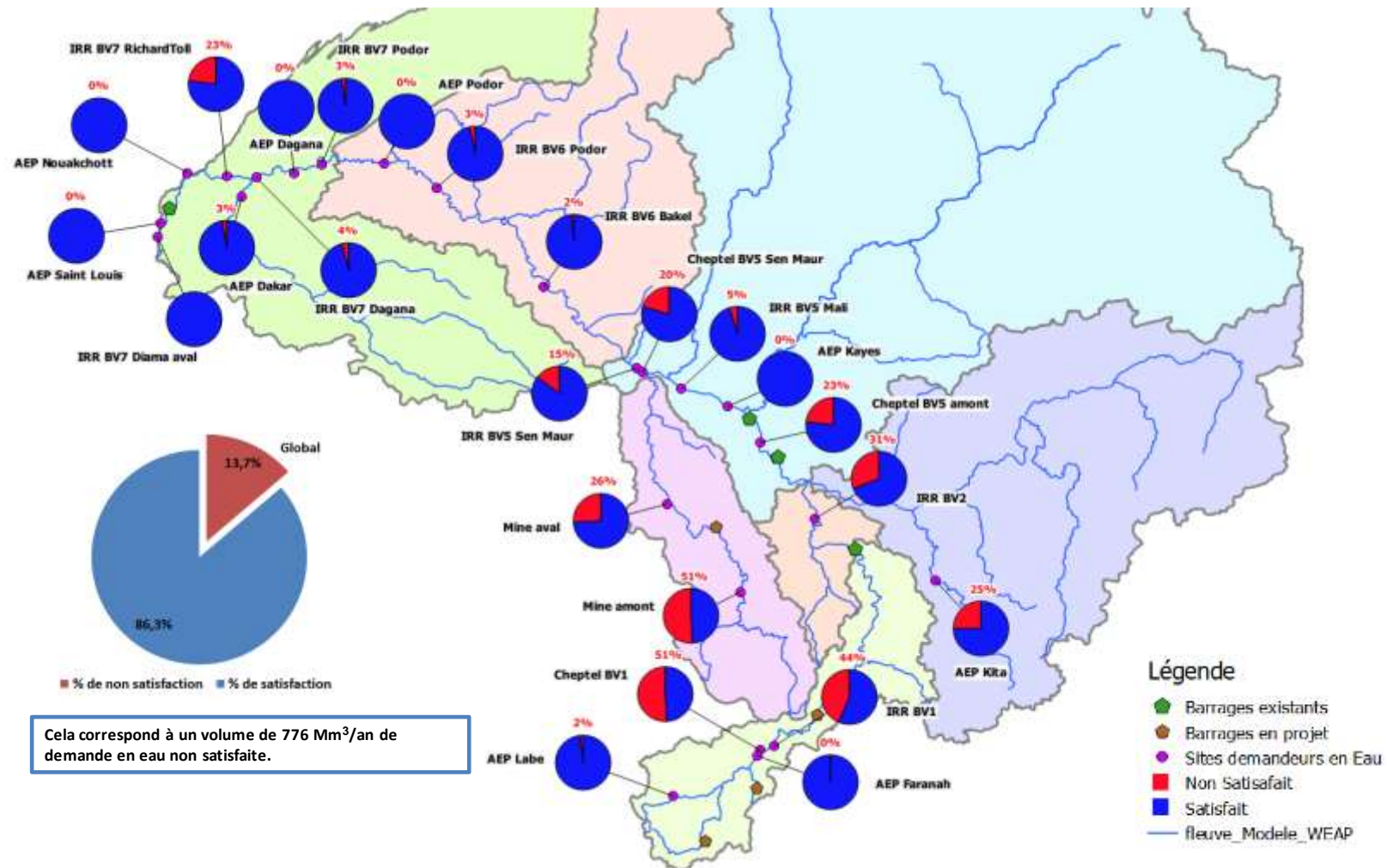


Figure 136. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne à la crue ROCHE – besoins 2025 pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE



Cela correspond à un volume de 776 Mm³/an de demande en eau non satisfaite.

Figure 137. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne à la crue POGR – besoins 2025 pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

B. Production hydroélectrique

Tableau 114 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) de la crue artificielle selon ROCHE et (III) selon POGR.

Configuration 8 barrages																							
Besoins projection 2025								Besoins projection 2025_ROCHE								Besoins projection 2025_POGR							
Période humide (1990-2010)																							
Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum	Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum	Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum
6	61	34	59	10	17	109	296	6	52	33	56	6	11	92	256	6	58	34	58	9	13	103	281
2	58	34	59	9	4	108	274	2	32	30	52	5	5	84	211	2	51	33	56	8	4	98	253
1	54	34	58	6	1	102	256	1	12	25	42	4	3	64	151	1	31	32	54	5	2	90	215
0	29	33	56	1	1	96	216	0	7	17	30	1	3	43	102	0	16	29	50	1	2	81	180
1	9	19	33	0	3	51	116	1	8	7	12	0	4	13	46	1	7	12	21	0	3	29	74
10	4	11	19	0	7	21	73	10	10	7	11	0	8	7	53	10	6	9	15	0	7	14	61
52	15	22	37	2	37	25	190	52	39	17	30	2	41	11	193	52	29	19	33	2	40	17	194
137	82	46	93	9	122	56	546	137	112	50	120	9	126	126	680	137	109	50	119	10	123	109	656
142	109	48	106	12	101	67	585	142	132	49	116	10	111	106	666	142	123	49	107	11	110	61	603
92	157	30	51	12	60	41	443	92	151	25	43	9	64	21	404	92	150	28	48	12	61	33	424
38	116	35	60	11	72	100	432	38	125	35	60	10	69	86	423	38	109	35	60	11	70	95	419
15	67	35	59	10	63	108	358	15	70	35	60	8	43	97	327	15	64	35	60	10	50	104	336
497	761	381	690	83	489	884	3784	497	751	330	632	66	486	752	3513	497	752	365	683	70	486	835	3696

La production hydroélectrique totale annuelle moyenne avec les besoins 2025 et une priorisation moyenne sur le débit environnemental du bassin est de 3 784 GWh.

Avec les besoins en projection 2025 et une priorisation moyenne de la crue artificielle de ROCHE, la production hydroélectrique annuelle moyenne est affectée (-270 GWh soit -7% de la production annuelle moyenne).

L'augmentation des besoins n'influence pas de la même façon l'ensemble des barrages. Ainsi, on observe des baisses de productions annuelles pour les barrages de Boureya, Félou, Gouina, **Gourbassi et Manantali** de respectivement de 1%, 13%, 8%, **21% et 15%**. Au contraire, la gestion des barrages, telle que paramétrée dans le modèle, conduit à une stagnation de la production hydroélectrique annuelle moyenne pour les barrages de Koukoutamba et de Balassa.

Avec les besoins en projection 2025 et une priorisation moyenne de la crue artificielle de POGR, la production hydroélectrique annuelle moyenne est affectée dans une moindre mesure (-87 GWh soit -2% de la production annuelle moyenne).

C. Remplissage des réservoirs

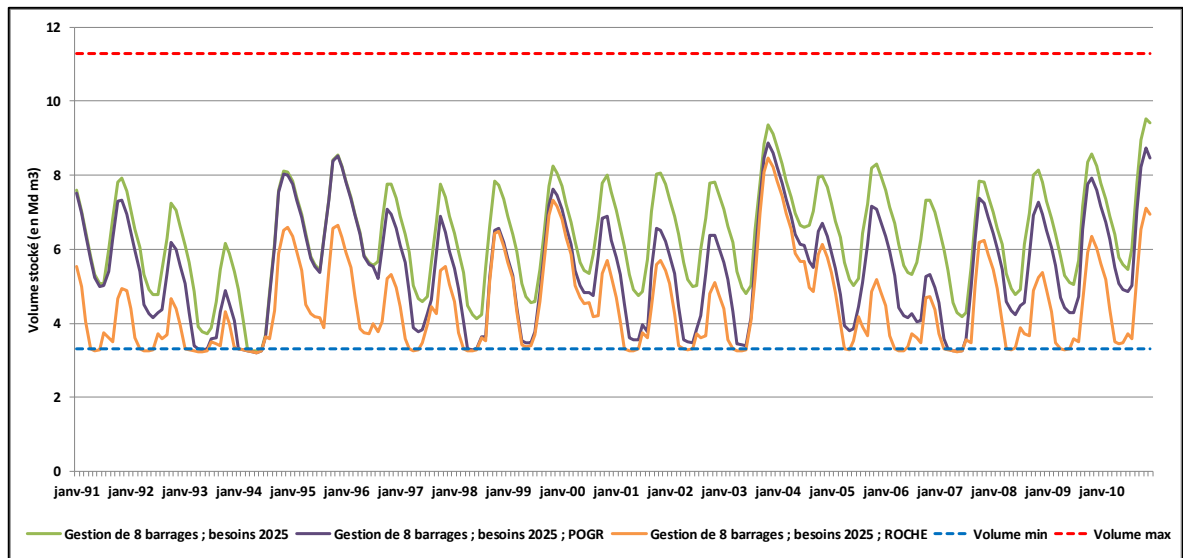


Figure 138. Volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les trois scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec (I) une priorisation de la production hydroélectrique (en vert), (II) de la crue artificielle selon ROCHE (en orange) et (III) selon POGR (en violet).

Le volume stocké dans le réservoir de Manantali est fortement impacté par la contrainte d'une crue artificielle.

La crue artificielle selon ROCHE impose une baisse notable du volume d'eau stocké dans la retenue de Manantali. Dans le cas d'une priorisation d'une crue de ROCHE, le volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali diminue en moyenne de 28% en période humide. Les besoins pour satisfaire le débit de ROCHE en août et septembre engendrent ainsi une diminution notable des volumes de la retenue.

Cette diminution du volume moyen de la retenue est observée, dans une moindre mesure, également pour la crue de POGR (- 13%).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

D. Respect des débits environnementaux et de navigation à Bakel

Le tableau ci-dessous permet de faire une synthèse sur les débits à Bakel pour les différentes priorités moyennes analysées.

Tableau 115 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _
Priorité moyenne Crue artificielle

		8 Barrages_Besoin 2025		
		Débit environnemental	ROCHE	POGR
		Période humide		
Bakel	Débit environnemental (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	15	8
	Débit de navigation (Nb de mois navigables en moyenne /an)	9	7	9
	Culture de décrue Roche (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	2	3	2
	Culture de décrue POGR (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	8	19	13
Diama	Débit minimum (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	19	10
	Débit minimum (Nb moyen de mois sous la consigne / 20 ans)	2	2	2

La priorisation moyenne de la crue de culture de décrue (ROCHE) impose une forte variabilité des volumes d'eau dans les retenues et des lâchers très importants pour répondre à la demande de la crue de ROCHE en août et septembre. Ainsi :

- Le débit environnemental est très peu respecté, seulement 5 années sur 20 (contre 18 années sans la priorisation),
- De même à l'aval de Diama, le maintien de l'étiage est plus souvent non respecté.
- Les périodes de navigation sont en moyenne réduites de 2 mois,
- Ne permet pas d'avoir une forte amélioration d'aide à la réalisation d'une crue environnementale selon ROCHE. On arrive difficilement à satisfaire le volume à lâcher 3 années sur les 20 années,
- Permet de lâcher de façon quasi systématique un volume égal ou supérieur au volume de la crue POGR.

Dans une moindre mesure, la priorisation moyenne de la crue de décrue (POGR) impose une forte variabilité des volumes d'eau dans les retenues et des lâchers importants pour répondre à la demande de la crue de POGR en août et septembre. Ainsi :

- Le débit environnemental est peu respecté 12 années sur 20 (contre 18 années sans la priorisation),
- De même à l'aval de Diama, le maintien de l'étiage est respecté 1 année sur deux.
- Les périodes de navigation sont en moyenne réduites de 0.5 mois,
- Maintien la réalisation d'une crue environnementale selon ROCHE avec un respect d'une crue de ROCHE que 2 années sur les 20 années,

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

- Permet de lâcher plus de 3 années sur 5 un volume égal ou supérieur au volume de la crue POGR.

E. Surface de culture de décrue.

Avec une priorisation moyenne de la crue pour la culture de décrue, les superficies de culture de décrue sont globalement fortement augmentées. En considérant la crue de ROCHE, cette augmentation atteint plus de **49%** de la superficie de culture de décrue estimée pour la priorisation du débit environnemental. Pour la crue de POGR cette augmentation est de près de 20%.

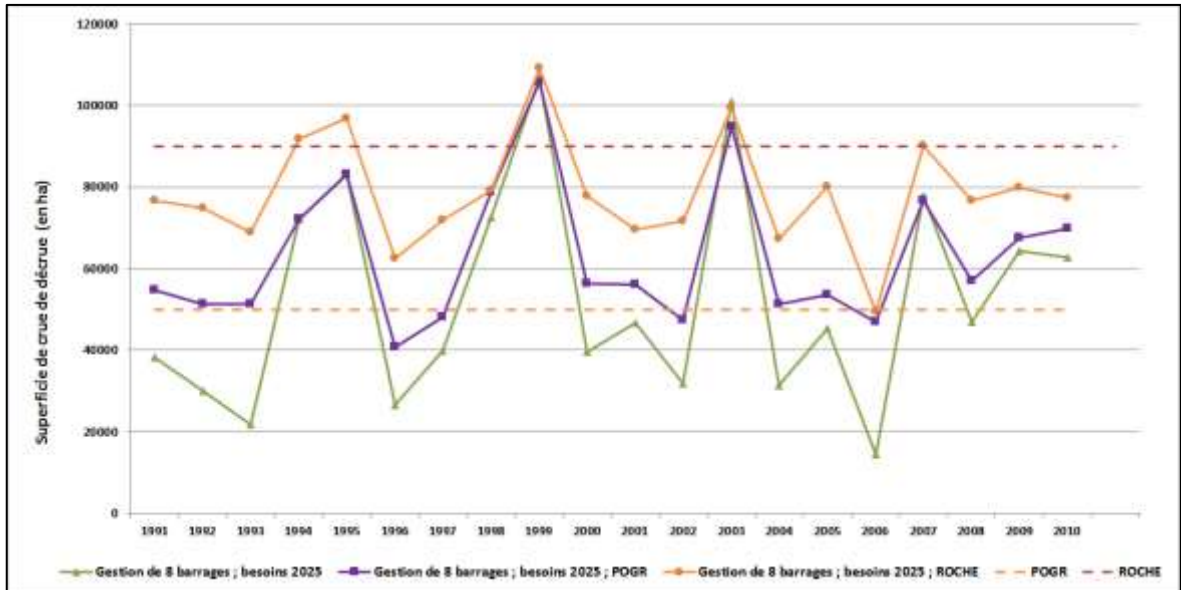


Figure 139. Superficie des cultures de décrue en période humide pour des besoins 2025 sur une période de 20 ans avec 3 priorisations différentes : (i) Débit environnemental, (ii) crue artificielle selon ROCHE et (iii) crue artificielle POGR.

5.5.3.4. Impact de la priorisation de l'Irrigation

Dans cette partie, un paramétrage du modèle donnant une priorité moyenne à l'irrigation tout comme au débit environnemental est testé. Cette analyse est réalisée avec une configuration de huit barrages avec des besoins en eau en projection 2025 sur une période humide. Il est à noter que la demande en eau potable reste en priorité haute et surpasse tous les autres usages.

A. Satisfaction de la demande en eau

Dans cette partie nous souhaitons vérifier l'impact sur les demandes en eau.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 116 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec deux priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental et Irrigation

Usage	"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"		"Période Sèche - 8 barrages - Demande 2025_Irrigation"	
	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an
Demande Non satisfaite				
AEP Dagana_Richard Toll	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Dakar_Gnit	2,8%	1,3	2,8%	1,3
AEP Kayes	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Nouakchott_Rosso	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Saint Louis	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Faranah	0,1%	0,0	0,1%	0,0
AEP Kita	25,1%	0,3	25,1%	0,3
AEP Labe	1,7%	0,0	1,7%	0,0
AEP Podor	0,0%	0,0	0,0%	0,0
IRR BV1	37,1%	136,9	19,3%	71,4
IRR BV5_Sen_Maur	7,0%	1,2	0,8%	0,1
IRR BV6_Bakel	0,4%	0,6	0,4%	0,6
IRR BV7_Dagana_Richard	0,9%	10,2	0,9%	10,0
IRR BV7_Diama_aval	0,0%	0,0	0,0%	0,0
IRR BV7_Podor_dagana	0,6%	3,6	0,7%	3,6
IRR BV7_RichardToll	22,8%	350,4	22,8%	350,4
IRR Bv2	20,7%	6,1	0,2%	0,0
IRR Bv5_Mali	1,0%	2,2	0,2%	0,4
IRR Bv6_Podor	0,8%	9,5	0,8%	9,6
Cheptel_BV1	44,5%	8,0	47,1%	8,5
Mine_Aval	19,8%	1,5	19,8%	1,5
Mine_amont	46,9%	105,4	46,9%	105,5
Cheptel_BV5_Sen_maur	12,7%	2,6	12,5%	2,6
Cheptel_BV5_amont	14,7%	6,6	14,7%	6,6
Somme	11,4%	646,4	10,1%	572,5

L'analyse des résultats montre qu'il n'y a pas de variation sur les taux de non satisfactions de la demande en eau potable et très peu sur les cheptels et les mines. En revanche, en ce qui concerne l'irrigation, la satisfaction de la demande en eau est très nettement améliorée en particulier sur l'amont du bassin :

- L'irrigation du BV1 qui passe d'un taux de 37% à 19% de non satisfaction (cela représente une baisse de volume de 66 Mm³/an non satisfait), et ;
- L'irrigation du BV2 qui passe d'un taux de 21% à 0.2% de non satisfaction (cela représente une baisse de volume de 6 Mm³/an non satisfait).

A l'inverse à l'aval du bassin versant, les taux de non satisfaction ont tendance à rester inchangés comme pour l'irrigation du BV7 Richard Toll et l'irrigation BV7 Podor Dagana.

Globalement, les non satisfactions sont de 11.4% avec la priorité moyenne donnée au seul débit environnemental, elles baissent à 10.1% avec la priorité moyenne également donnée à l'irrigation.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

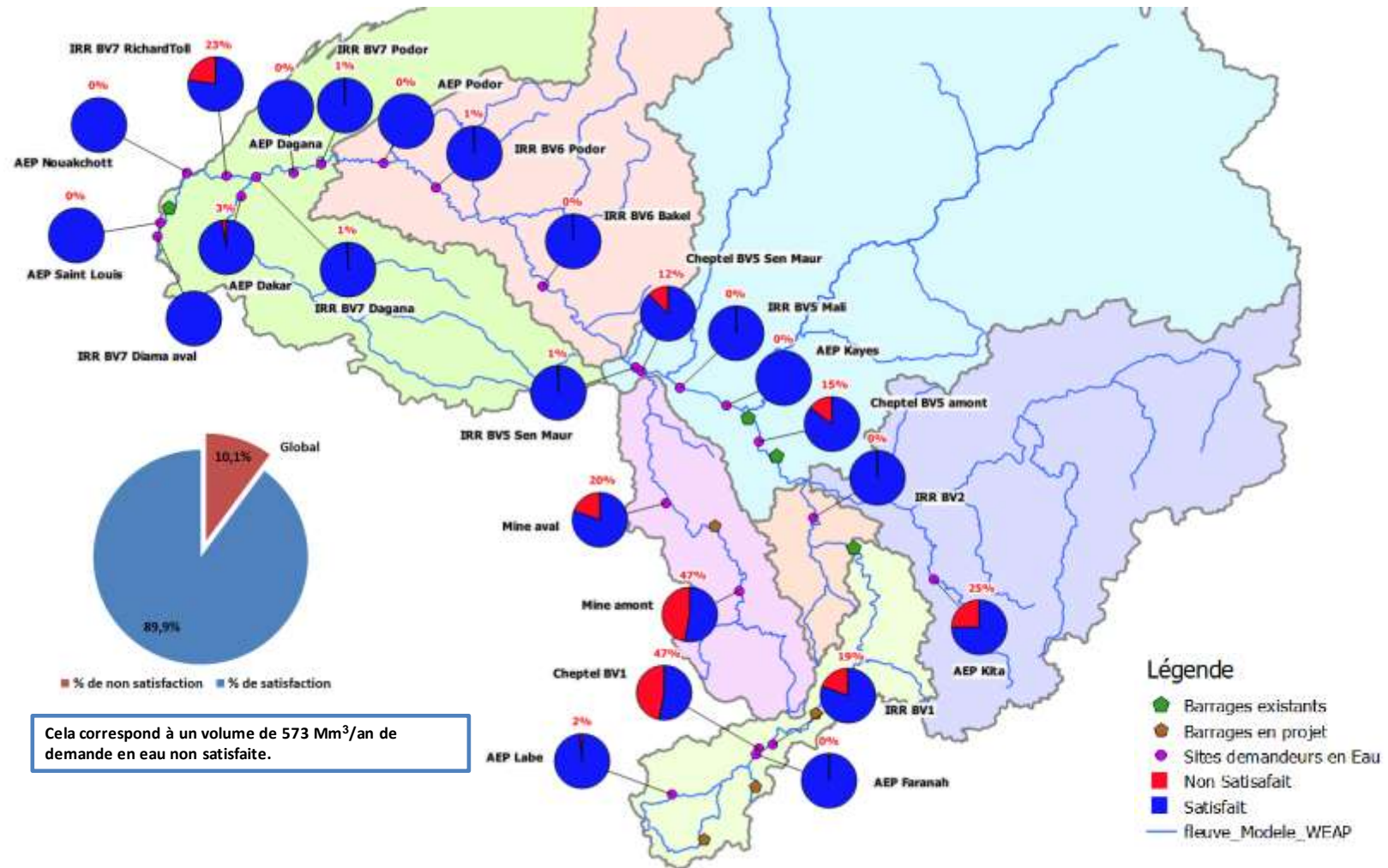


Figure 140. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne irrigation – besoins 2025 pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****B. Production hydroélectrique****Tableau 117 – Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) de débit environnemental et de l'irrigation.**

Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh)	Configuration 8 barrages															
	Besoins projection 2025								Besoins projection 2025 II							
	Période humide (1990-2010)															
	Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum	Balassa	Boureya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum
janvier	6	61	34	59	10	17	109	296	6	61	34	59	10	17	109	295
février	2	58	34	59	9	4	108	274	2	57	34	59	9	4	108	273
mars	1	54	34	58	6	1	102	256	1	54	34	58	6	1	101	254
avril	0	29	33	56	1	1	96	236	0	27	33	56	1	1	96	234
mai	1	9	39	33	0	3	53	136	1	9	39	32	0	3	49	132
juin	10	4	11	19	0	7	23	73	10	4	11	19	0	7	23	72
juillet	52	15	22	17	2	17	25	190	52	14	21	16	2	18	24	189
août	117	82	46	93	9	122	56	546	117	80	46	92	9	121	54	539
septembre	142	109	48	106	12	101	67	585	142	109	48	106	12	102	66	584
octobre	92	157	30	53	12	60	41	443	92	157	29	51	12	61	40	443
novembre	38	116	35	66	11	72	100	432	38	114	35	66	11	72	100	430
décembre	15	67	35	59	10	63	108	358	15	67	35	59	10	62	108	356
Somme	497	761	381	680	83	489	884	3748	497	752	380	686	82	489	875	3741

La production hydroélectrique totale annuelle moyenne avec les besoins 2025 et une priorisation moyenne sur le débit environnemental est de 3 784 GWh.

Avec les besoins en projection 2025 et une priorisation moyenne également sur l'irrigation, la production hydroélectrique annuelle moyenne est légèrement dégradée (-23 GWh soit -1% de la production annuelle moyenne).

La modification de la priorisation n'influence pas de la même façon l'ensemble des barrages. Ainsi, on observe des baisses de productions annuelles pour les barrages de Boureya, et Manantali de 1%. Au contraire, la gestion des barrages, telle que paramétrée dans le modèle, conduit à une stagnation de la production hydroélectrique annuelle moyenne pour les barrages de Gouina, Koukoutamba, Férou, Gourbassi et de Balassa.

La priorisation moyenne de l'irrigation ne présente pas un fort impact sur la production globale annuelle du bassin.

C. Remplissage des réservoirs

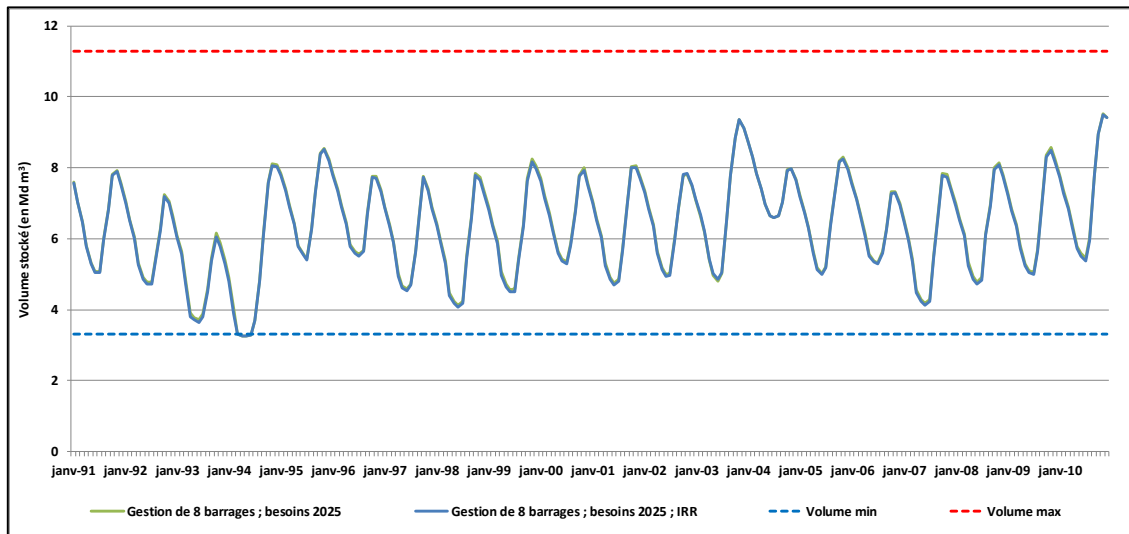


Figure 141. Volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (en vert), (II) du débit environnemental et de l'irrigation (en bleu).

Le volume stocké dans le réservoir de Manantali n'est pas impacté par la contrainte de l'irrigation. Dans le cas d'une priorisation moyenne de la demande pour l'irrigation, le volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali diminue en moyenne de 1% en période humide.

Les besoins en eau sont essentiellement mieux satisfaits à l'amont du bassin du fleuve Sénégal (comme par exemple pour le BV1).

D. Respect des débits environnementaux et de navigation à Bakel

Le tableau ci-dessous permet de faire une synthèse sur les débits à Bakel et à l'aval de Diama pour les différentes priorités analysées.

**Tableau 118 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _
Priorité moyenne Irrigation.**

		8 Barrages_Besoin 2025	
		Débit environnemental	Irrigation
		Période humide	
Bakel	Débit environnemental (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	2
	Débit de navigation (Nb de mois navigables en moyenne /an)	9	9
	Culture de décrue Roche (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	2	2
	Culture de décrue POGR (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	8	8
Diama	Débit minimum (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	2
	Débit minimum(Nb moyen de mois sous la consigne / 20 ans)	2	2

La priorisation moyenne également donnée à l'irrigation n'a aucun impact sur le respect des consignes de débits. Ce qui reste cohérent avec les résultats observés précédemment.

E. Surface de culture de décrue.

Avec une priorisation moyenne du débit environnemental et de l'irrigation, les superficies de cultures de décrues sont inchangées (baisse de 1%) par rapport à une priorisation moyenne uniquement sur le débit environnemental.

5.5.3.5. Impact de la priorisation de la navigation.

Enfin, un paramétrage du modèle donnant une priorité moyenne au débit de navigation de même qu'au débit environnemental est testé. Cette analyse est réalisée avec une configuration de huit barrages avec des besoins en eau en projection 2025 sur une période humide. Il est à noter que la demande en eau potable reste en priorité haute et surpasse tous les autres usages.

A. Satisfaction de la demande en eau

Dans cette partie nous souhaitons vérifier l'impact sur les demandes en eau.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 119 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec 2 priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental et Navigation

Usage	"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"		"Période Séche - 8 barrages - Demande 2025_Navigation"	
	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an
Demande Non satisfaite				
AEP Dagana_Richard Toll	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Dakar_Gnit	2,8%	1,3	2,8%	1,3
AEP Kayes	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Nouakchott_Rosso	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP Saint Louis	0,0%	0,0	0,0%	0,0
AEP_Faranah	0,1%	0,0	0,1%	0,0
AEP_Kita	25,1%	0,3	25,1%	0,3
AEP_Labe	1,7%	0,0	1,7%	0,0
AEP_Podor	0,0%	0,0	0,0%	0,0
IRR BV1	37,1%	136,9	39,5%	145,9
IRR BV5_Sen_Maur	7,0%	1,2	13,7%	2,3
IRR BV6_Bakel	0,4%	0,6	0,6%	0,8
IRR BV7_Dagana_Richard	0,9%	10,2	1,3%	13,7
IRR BV7_Diama_aval	0,0%	0,0	0,0%	0,0
IRR BV7_Podor_dagana	0,6%	3,6	0,8%	4,5
IRR BV7_RichardToll	22,8%	350,4	22,8%	351,4
IRR Bv2	20,7%	6,1	28,2%	8,3
IRR Bv5_Mali	1,0%	2,2	2,5%	5,2
IRR Bv6_Podor	0,8%	9,5	1,0%	12,1
Cheptel_BV1	44,5%	8,0	49,2%	8,8
Mine_Aval	19,8%	1,5	29,5%	2,2
Mine_amont	46,9%	105,4	47,1%	105,9
Cheptel_BV5_Sen_maur	12,7%	2,6	24,9%	5,2
Cheptel_BV5_amont	14,7%	6,6	25,6%	11,5
Somme	11,4%	646,4	12,0%	679,7

L'analyse des résultats montre qu'il n'y a pas de variation sur les taux de non satisfactions de la demande en eau potable. Par contre toutes les demandes en eau de l'irrigation, des cheptels et des mines sont dégradées. Il n'y a pas de modification de répartition globale des non satisfactions de la demande. Ainsi, alors que les non satisfactions sont de 11% avec la priorité moyenne donnée au seul débit environnemental, elles croissent à 12% avec la priorité moyenne donnée à la fois au débit environnemental et au débit de navigation.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

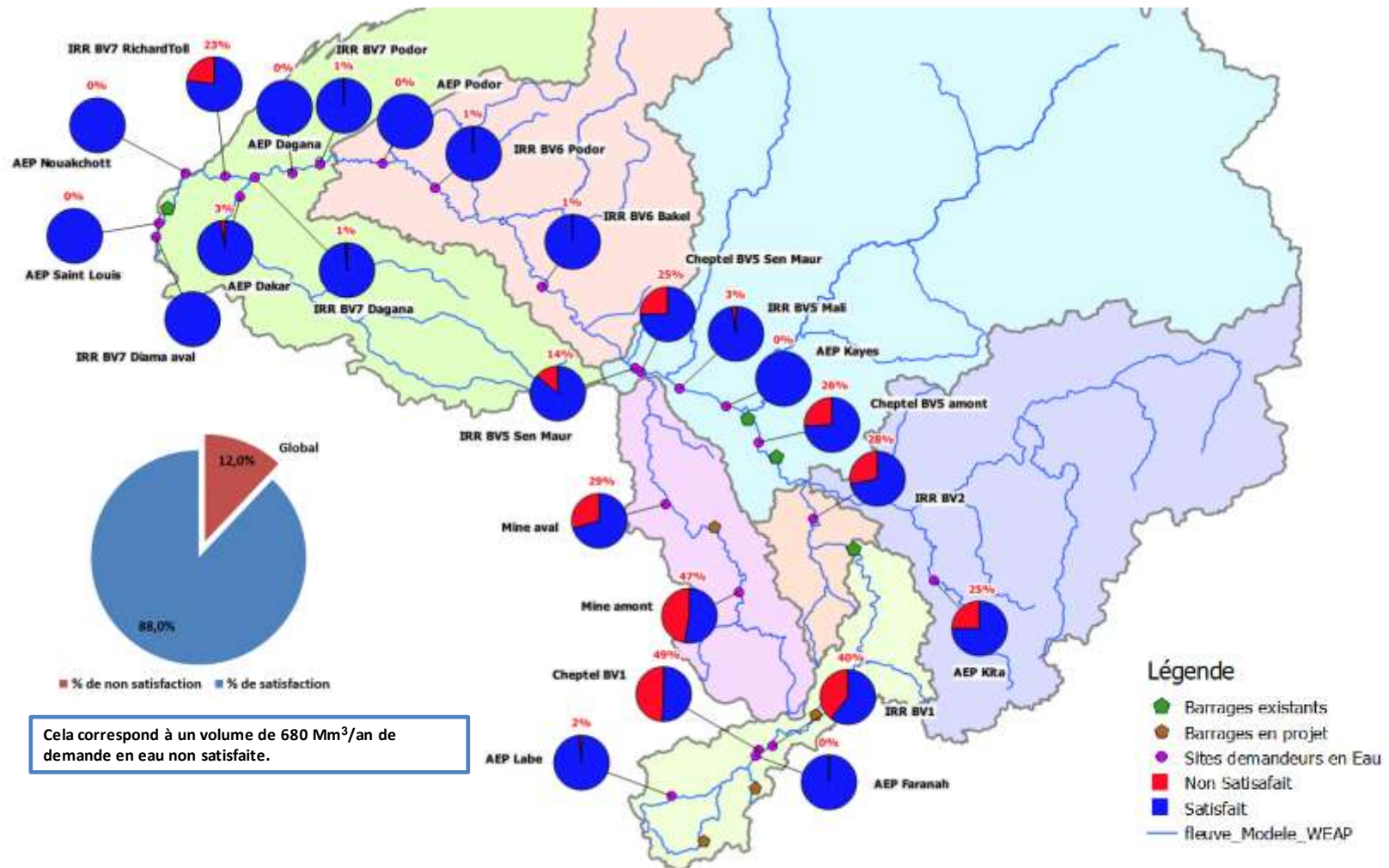


Figure 142. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne navigation – besoins 2025 pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

B. Production hydroélectrique

Tableau 120 – Comparaison de la production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (II) du débit environnemental et de la navigation.

Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh)	Configuration 8 barrages															
	Besoins projection 2025								Besoins projection 2025_Navigation							
	Période humide (1990-2010)															
	Balassa	Bourya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum	Balassa	Bourya	Férou	Gouina	Gourbassi	Koukoutamba	Manantali	Sum
janvier	6	61	34	59	10	17	109	296	6	60	34	58	10	15	107	291
février	2	58	34	59	9	4	108	274	2	57	34	59	8	4	106	271
mars	1	54	34	58	6	1	102	256	1	47	33	57	5	1	98	243
avril	0	29	33	56	1	1	96	216	0	20	33	56	1	1	94	205
mai	1	9	19	33	0	3	51	116	1	8	16	27	0	2	41	96
juin	10	4	11	19	0	7	21	73	10	18	20	33	0	12	46	139
juillet	52	15	22	37	2	37	25	190	52	17	24	41	3	36	31	205
août	137	82	46	93	9	122	56	546	137	90	45	87	9	120	43	531
septembre	142	109	48	106	12	101	67	585	142	108	48	105	12	104	50	578
octobre	92	157	30	51	12	60	41	443	92	155	30	53	11	60	43	445
novembre	38	116	35	60	11	72	100	432	38	110	35	60	11	71	99	425
décembre	15	67	35	59	10	63	108	358	15	64	35	59	10	58	106	347
Somme	497	761	381	690	83	489	884	3784	497	755	387	696	83	486	871	3775

La production hydroélectrique totale annuelle moyenne avec les besoins 2025 et une priorisation moyenne sur le seul débit environnemental est de 3 784 GWh.

Avec les besoins en projection 2025 et une priorisation moyenne à la fois sur le débit environnemental et sur la navigation, la production hydroélectrique annuelle moyenne reste stable (-9 GWh).

La priorisation moyenne de la navigation ne présente pas d’impact sur la production globale annuelle du bassin. Cette situation est due à la contrainte forte imposée par le respect du débit de navigation (300 m³/s) qui profite à l’hydroélectricité.

C. Remplissage des réservoirs

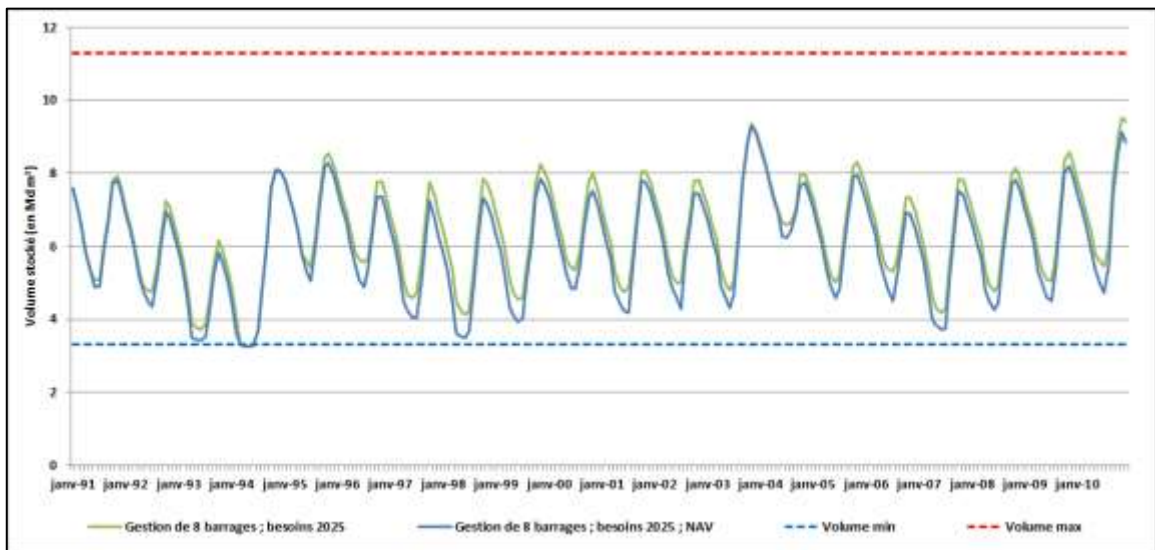


Figure 143. Volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins

en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne du seul débit environnemental (en vert), du débit environnemental et de la navigation (en bleu).

Le volume stocké dans le réservoir de Manantali est peu impacté par la contrainte de la navigation. Les variations mensuelles restent similaires avec néanmoins des volumes d'eau stockés plus faibles qu'avec la seule priorisation moyenne sur le débit environnemental. Dans le cas d'une priorisation moyenne à la fois sur le débit environnemental et sur la navigation, le volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali diminue en moyenne de 5% en période humide.

D. Respect des débits environnementaux et de navigation à Bakel

Le tableau ci-dessous permet de faire une synthèse sur les débits à Bakel et à l'aval de Diama pour les différentes priorités analysées.

Tableau 121 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _
Priorité Navigation.

		8 Barrages_Besoin 2025	
		Débit environnemental	Navigation
		Période humide	
Bakel	Débit environnemental (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	3
	Débit de navigation (Nb de mois navigables en moyenne /an)	9	10
	Culture de décrue Roche (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	2	2
	Culture de décrue POGR (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	8	8
Diama	Débit minimum (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	4
	Débit minimum (Nb moyen de mois sous la consigne / 20 ans)	2	2

La priorisation moyenne de la navigation impose une baisse des volumes d'eau dans les retenues et des lâchers réguliers à la demande du débit minimum de navigation. Ainsi :

- Le débit environnemental moins respecté : 17 années sur 20 (contre 18 années sans la priorisation),
- De même à l'aval de Diama, le maintien de l'étiage est respecté 16 année sur 20 (contre 18 années sans la priorisation).
- Les périodes de navigation sont en moyenne augmentées de 1 mois en moyenne,
- Cette priorisation n'a aucun impact sur les cultures de décrues (ROCHE et POGR).

E. Surface de culture de décrue.

Avec une priorisation moyenne de la navigation, les superficies de culture de décrue sont globalement diminuées, en particulier pour les années les plus déficitaires en eau. En donnant une priorité moyenne au débit de navigation, les superficies de cultures de décrue sont en moyenne diminuées de 4% par rapport à une priorisation moyenne du seul débit environnemental.

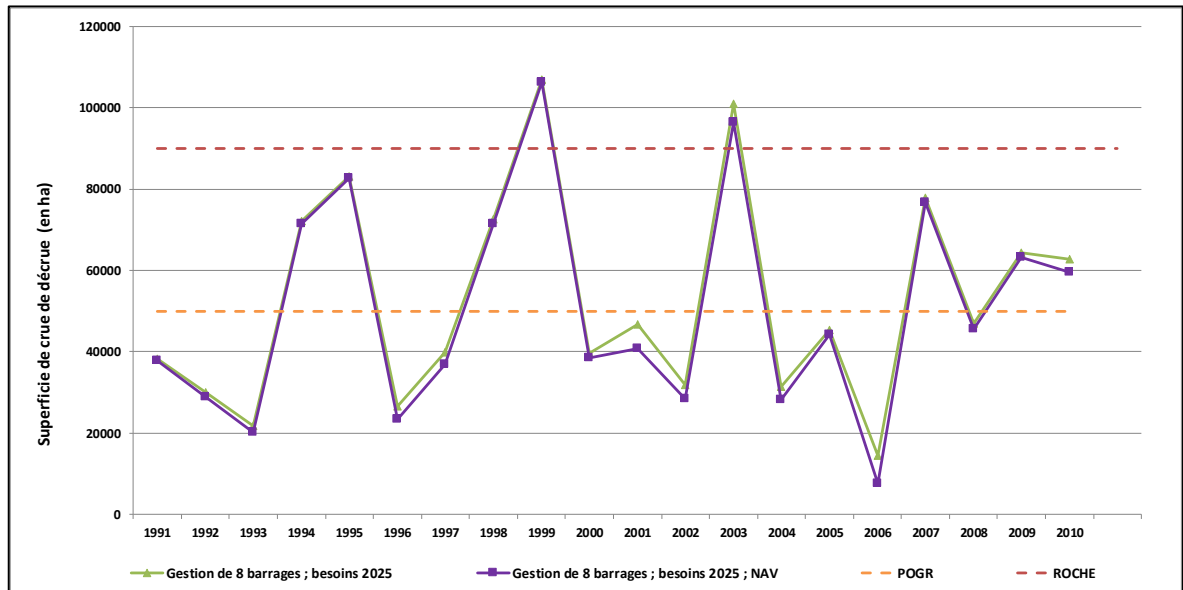


Figure 144. Superficie des cultures de décrue en période humide pour des besoins 2025 sur une période de 20 ans avec 2 priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnement et Navigation.

5.5.3.6. Synthèse des résultats des scénarios complémentaires

Le tableau ci-dessous synthétise les impacts sur les gestions de la ressource en eau pour chaque priorisation moyenne testée précédemment sachant que la priorité haute reste systématiquement donnée à l'AEP. Le scénario de référence reste la configuration 8 barrages pour une période « humide » avec des besoins en projection 2025, avec la priorité haute donnée à l'AEP et la priorité moyenne donnée au respect du débit d'étiage à Bakel.

De cette analyse d'impact il ressort que :

- La **priorisation moyenne des cultures de décrue** (ROCHE et dans une moindre mesure POGR) permet d'augmenter les superficies des cultures de décrue mais dégrade tous les autres indicateurs. Ces deux scénarios paraissent particulièrement pessimistes.
- La **priorisation moyenne de la navigation** permet une augmentation faible (+1mois) des périodes de navigation. Par contre, pour satisfaire ce débit de navigation minimum, tous les autres indicateurs sont également dégradés. Ce scénario paraît peu recommandable.
- La **priorisation de la demande pour l'irrigation** permet d'augmenter le taux de satisfaction de la demande en eau en particulier sur l'amont du bassin. Avec ce scénario, peu d'impacts sont observés sur les remplissages des retenues et les respects des consignes. De plus, les dégradations des indicateurs tels que la production hydroélectrique et les superficies des cultures de décrues restent faibles.
- Enfin, la **priorisation de la production hydroélectrique** engendre certes une certaine dégradation des taux de satisfaction en particulier à l'amont de la confluence du fleuve Sénégal et de la Falémé, par contre, l'augmentation de la production hydroélectrique s'accompagne par une augmentation des réserves d'eau dans les retenues et un soutien à l'étiage amélioré aussi bien à Bakel qu'à Diama. Ce scénario paraît le plus raisonnable car la production hydroélectrique est un usage non consommateur d'eau. Ce scénario reste donc sécuritaire avec des réserves d'eau dans les retenues plus importantes ce qui permet une gestion de la ressource en eau plus durable et moins aléatoire.

De par ces conclusions, il semble intéressant de préconiser un scénario que nous dénommons par la suite « tendanciel » qui :

- Garde toujours les demandes en eau potable (AEP) en priorité haute,
- Préconise le respect du débit environnemental, les demandes en eau pour l'irrigation et la production hydroélectrique en priorité moyenne, et,
- Considère tous autres usages en priorité basse.

Ce scénario tendanciel est présenté par la suite.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 122 – Impacts sur les gestions de la ressource en eau pour chaque priorisation moyenne : (i) Hydroélectricité, (ii) Crue artificielle ROCHE, (iii) Crue artificielle POGR, (iv) Irrigation et (v) Navigation.

	Hydroélectricité	Crue de décrue (POGR)	Crue de décrue (ROCHE)	Irrigation	Navigation
Satisfaction de la demande en eau	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Amélioration à l'aval de la confluence Fleuve Sénégal et Faléme. Dégradation à l'amont de la confluence Fleuve Sénégal et Faléme. Au global augmentation de la non satisfaction de la demande en eau (+21%) 	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Dégradation généralisée des taux de non satisfaction des autres usages. Au global augmentation de la non satisfaction de la demande en eau (+20%) 	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Dégradation généralisée des taux de non satisfaction des autres usages. Au global augmentation de la non satisfaction de la demande en eau (+59%) 	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Amélioration des demandes en eau pour l'irrigation. Au global diminution de la non satisfaction de la demande en eau (-11%) 	<ul style="list-style-type: none"> AEP inchangé. Dégradation générale des demandes en eau de l'irrigation, des cheptels et des Mines. Au global augmentation de la non satisfaction de la demande en eau (+5%)
Production Hydroélectrique	<ul style="list-style-type: none"> Faible augmentation de la production hydroélectrique annuelle. Nette augmentation de la production sur les mois d'avril à juin. 	Diminution de la production hydroélectrique (-2%)	Diminution de la production hydroélectrique (-7%)	La priorisation de l'irrigation ne présente pas un fort impact sur la production globale annuelle du bassin (Baisse de 1%)	Pas d'impact
Remplissage des retenues	La retenue de Manantali est marquée par une variation moins marquée et des volumes plus importants.	Une baisse (-13%) notable du volume d'eau stocké dans la retenue de Manantali.	Une baisse notable (-28%) du volume d'eau stocké dans la retenue de Manantali.	Pas d'impact	Une baisse (-5%) du volume d'eau stocké dans la retenue de Manantali.
Respects du débit environnemental	Le soutien à l'étiage est amélioré.	Dégrade considérablement le soutien d'étiage	Dégrade considérablement le soutien d'étiage	Pas d'impact	Dégrade le soutien d'étiage
Respects du débit de navigation	Pas d'impact	Réduit de 0,5 mois en moyenne par an la possibilité de naviguer.	Réduit de 2 mois en moyenne par an la possibilité de naviguer	Pas d'impact	Augmente de 1 mois en moyenne par an la possibilité de naviguer
Respect de la crue artificielle (POGR/ROCHE)	Pas d'impact	<ul style="list-style-type: none"> Dégrade la capacité à produire une crue environnementale de type ROCHE Permet de lâcher plus de 3 années sur 5 un volume égal ou supérieur au volume de la crue POGR. 	<ul style="list-style-type: none"> Ne permet pas d'avoir une forte amélioration d'aide à la réalisation d'une crue environnementale selon ROCHE. Permet de lâcher de façon quasi systématique un volume égal ou supérieur au volume de la crue POGR 	Pas d'impact	Pas d'impact
Superficie des cultures de décrue	Pas d'impact	Augmentation de près de 20% de la superficie de culture de décrue	Augmentation de plus de 49% de la superficie de culture de décrue	Peu d'impact (baisse de 1%)	Baisse de plus de 4% de la superficie de culture de décrue
Soutien d'étiage à l'aval de Diama	Le soutien à l'étiage est amélioré.	Dégrade considérablement le soutien d'étiage	Dégrade considérablement le soutien d'étiage	Pas d'impact	Dégrade le soutien d'étiage

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE****5.5.3.7. Scénario « tendanciel »**

Dans cette partie, un scénario tendanciel est testé donnant une priorité moyenne à l'hydroélectricité et à l'irrigation tout comme au débit environnemental. Ce test est réalisé avec une configuration de huit barrages avec des besoins en eau en projection 2025 sur une période humide. Il est à noter que la demande en eau potable reste en priorité haute et surpasse tous les autres usages.

A. Satisfaction de la demande en eau

Dans cette partie nous souhaitons vérifier l'impact sur les demandes en eau.

Tableau 123 – Non-satisfaction de la demande par usage pour le scénario de gestion de huit barrages et besoins en eau 2025 sur la période humide, avec deux priorisations moyennes différentes : (i) Débit environnemental, (ii) Débit environnemental, Hydroélectricité et Irrigation (Scénario tendanciel).

Usage	"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025"		"Période Humide - 8 barrages - Demande 2025_scénario tendanciel"	
	%	Mm ³ /an	%	Mm ³ /an
Demande Non satisfaite				
AEP Dagana_Richard Toll	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Dakar_Gnit	2.8%	1.3	2.8%	1.3
AEP Kayes	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Nouakchott_Rosso	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Saint Louis	0.0%	0.0	0.0%	0.0
AEP Faranah	0.1%	0.0	0.1%	0.0
AEP Kita	25.1%	0.3	25.1%	0.3
AEP Labe	1.7%	0.0	1.7%	0.0
AEP Podor	0.0%	0.0	0.0%	0.0
IRR BV1	37.1%	136.9	37.0%	138.1
IRR BV5_Sen_Maur	7.0%	1.2	0.1%	0.0
IRR BV6 Bakel	0.4%	0.6	0.1%	0.2
IRR BV7 Dagana_Richard	0.9%	10.2	0.4%	4.3
IRR BV7 Diama_aval	0.0%	0.0	0.0%	0.0
IRR BV7 Podor_dagana	0.6%	3.6	0.2%	1.0
IRR BV7_RichardToll	22.8%	350.4	22.1%	340.1
IRR Bv2	20.7%	6.1	12.3%	3.6
IRR Bv5_Mali	1.0%	2.2	0.0%	0.0
IRR Bv6_Podor	0.8%	9.5	0.2%	2.9
Cheptel BV1	44.5%	8.0	80.4%	14.5
Mine_Aval	19.8%	1.5	18.0%	1.4
Mine_aval	46.9%	105.4	58.3%	131.0
Cheptel BV5_Sen_maur	12.7%	2.6	9.8%	2.0
Cheptel BV5_aval	14.7%	6.6	33.8%	15.2
Somme	11.4%	646.4	11.6%	655.9

L'analyse des résultats montre qu'il n'y a pas de variation sur les taux de non satisfactions de la demande en eau potable. En revanche, en ce qui concerne l'irrigation, la satisfaction de la demande en eau est améliorée en particulier sur l'amont et l'aval du bassin :

- L'irrigation du BV7 Richard Toll qui passe d'un taux de 23% à 22% de non satisfaction (cela représente une baisse de volume de 10 Mm³/an non satisfait), et ;
- L'irrigation du BV2 qui passe d'un taux de 21% à 12 % de non satisfaction (cela représente une baisse de volume de 3 Mm³/an non satisfait).

A l'inverse, les taux de non satisfaction de certains usages ont tendance à être dégradés comme pour l'irrigation du BV1, mais à la marge. Des modifications notables sont observés en revanche pour les cheptels et les mines qui présentent une forte hausse du taux de non satisfaction de la demande en eau comme pour le cheptel BV1 et les Mines amont.

Globalement, les taux de non satisfactions globaux restent inchangés (environ 11%).

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

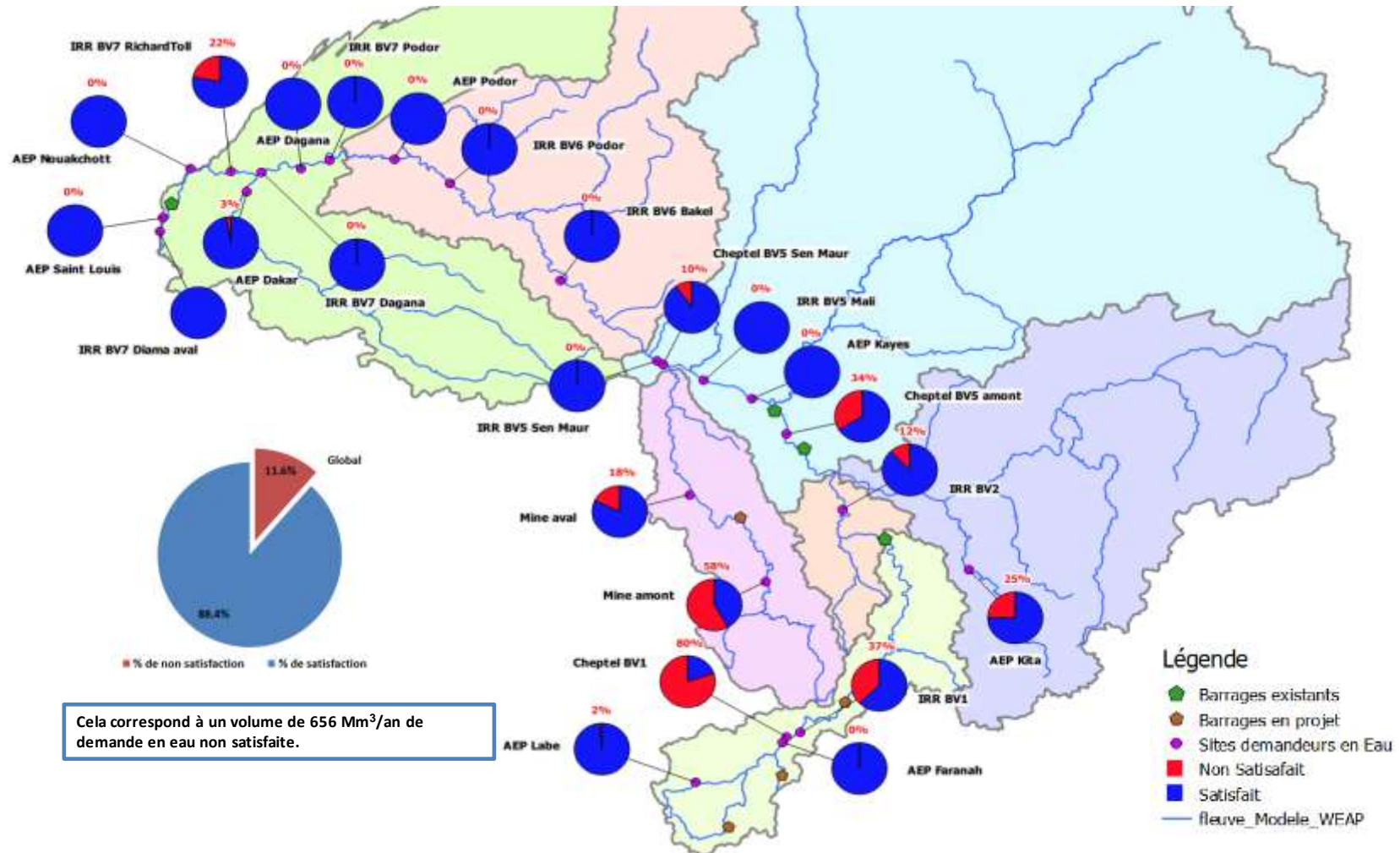


Figure 145. Répartition de la demande non satisfaite selon les différents usages pour le scénario de gestion de huit barrages, priorité moyenne donnée à l'hydroélectricité, l'irrigation et le débit environnemental – besoins 2025 pour la période humide

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

B. Production hydroélectrique

Tableau 124 – Comparaison de la production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh) pour le scénario de gestion huit barrages - besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental, (II) du débit environnemental, de l’hydroélectricité et de l’irrigation.

Production hydroélectrique mensuelle moyenne (GWh)	Configuration 8 barrages															
	Besoins projection 2025								Besoins projection 2025_Hydro_Irr							
	Période humide (1990-2010)															
	Balissa	Diarreya	Férou	Gouina	Gourbassi	Kakakoutouba	Manantali	Juin	Balissa	Diarreya	Férou	Gouina	Gourbassi	Kakakoutouba	Manantali	Juin
janvier	6	51	34	59	10	37	109	296	6	51	34	59	10	42	112	328
février	2	58	34	59	8	4	108	274	2	58	34	58	10	5	110	280
mars	1	54	34	58	6	1	102	256	1	57	34	58	7	1	105	264
avril	0	29	33	56	1	1	96	216	0	52	34	58	2	0	102	249
mai	1	9	19	33	0	3	51	119	1	22	26	45	0	3	76	175
juin	10	8	11	19	0	7	21	73	10	8	13	22	0	7	27	83
juillet	52	35	22	37	2	37	25	190	52	34	23	40	3	37	31	200
août	137	82	46	93	8	122	56	546	137	58	45	87	8	119	46	501
septembre	142	109	48	106	12	101	67	585	142	106	48	105	12	97	72	582
octobre	92	157	30	51	12	60	41	443	92	159	30	52	12	60	43	449
novembre	38	116	35	60	11	72	100	432	38	101	23	38	8	45	58	315
décembre	15	67	35	59	10	63	108	358	15	69	35	59	10	71	112	371
Somme	497	761	381	690	83	489	884	3788	497	765	180	683	88	488	895	3791

La production hydroélectrique totale annuelle moyenne avec les besoins 2025 et une priorisation moyenne sur le seul débit environnemental est de 3 784 GWh.

Avec les besoins en projection 2025 et une priorisation moyenne à la fois sur le débit environnemental, l’hydroélectricité et l’irrigation, la production hydroélectrique annuelle moyenne est légèrement améliorée (+ 7 GWh soit +0.2 % de la production annuelle moyenne).

La modification de la priorisation n’influence pas de la même façon l’ensemble des barrages. Ainsi, on observe des variations de productions annuelles pour les barrages de Gouina, Gourbassi et Manantali de respectivement de -1%, +2% et +1%.

Le scénario tendanciel ne présente pas un fort impact sur la production hydroélectrique totale annuelle du bassin. Néanmoins, il apparaît que la production hydroélectrique est augmentée sur les mois d’avril à juin, avec pour le mois de mai une augmentation de 51% de la production.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D’EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

C. Remplissage des réservoirs

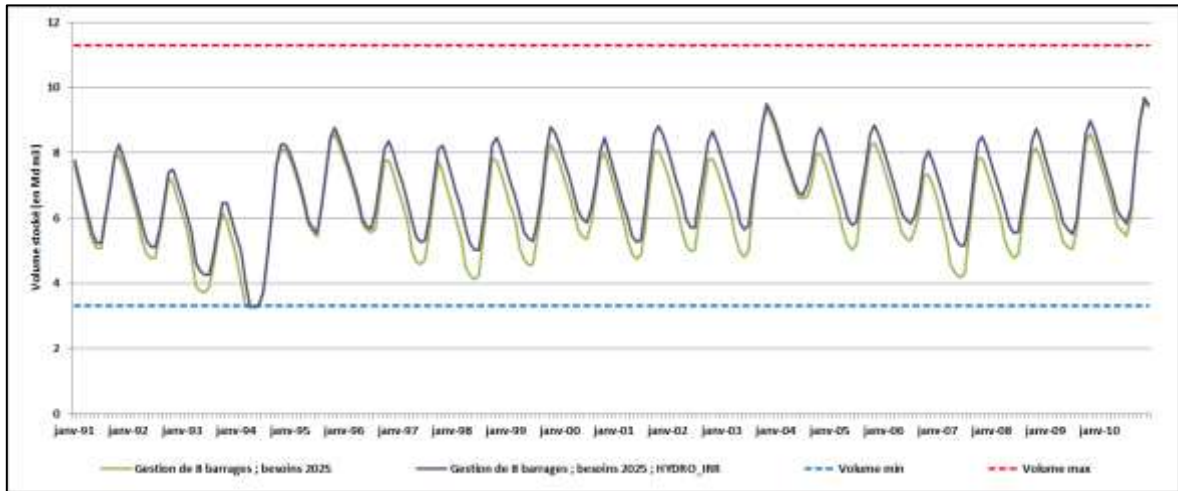


Figure 146. Comparaison du volume stocké (Md m³) dans le réservoir de Manantali en période humide sur une période de 20 ans pour les deux scénarios de gestion de la ressource sous besoins en projection 2025 sur la période humide avec une priorisation moyenne (I) du débit environnemental (en vert), (II) du débit environnemental, de l'irrigation et de l'hydroélectricité (en violet).

Le volume stocké dans le réservoir de Manantali est impacté par la contrainte de l'hydroélectricité. Dans le cas d'une priorisation moyenne également donné à la production hydroélectrique et à l'irrigation, le volume moyen stocké dans le réservoir de Manantali diminue peu par rapport à la situation où l'hydroélectricité est en priorité moyenne et l'irrigation en priorité basse (en moyenne de 1%) en période humide. On peut donc s'attendre à ce que ce scénario tendanciel reste favorable au soutien d'étiage.

D. Respect des débits environnementaux et de navigation à Bakel

Le tableau ci-dessous permet de faire une synthèse sur les débits à Bakel et à l'aval de Diama pour les différentes priorités analysées.

Tableau 125 – Synthèse du respect des débits environnementaux et de navigation _
Priorité moyenne donnée au Débit environnemental, à l'Irrigation et à l'Hydroélectricité.

		8 Barrages_Besoin 2025	
		Débit environnemental	Hydroélectricité et Irrigation
		Période humide	
Bakel	Débit environnemental (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	1
	Débit de navigation (Nb de mois navigables en moyenne /an)	9	9
	Culture de décrue Roche (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	2	2
	Culture de décrue POGR (Nb d'années respectant la consigne / 20 ans)	8	8
Diama	Débit minimum (Nb d'années de dépassements / 20 ans)	2	1
	Débit minimum(Nb moyen de mois sous la consigne / 20 ans)	2	2

La priorisation moyenne de l'hydroélectricité impose une variation plus faible des volumes d'eau dans les retenues et des lâchers réguliers pour répondre à la demande de production électrique. Ainsi, le débit environnemental est respecté 19 années sur 20 (contre 18 années sans la priorisation). De même à l'aval de Diama, le maintien de l'étiage est plus souvent respecté. Pour toutes les autres consignes, les résultats restent inchangés.

E. Surface de culture de décrue.

Avec une priorisation moyenne de débit environnemental, l'irrigation et de l'hydroélectricité, les superficies de cultures de décrues sont inchangées par rapport à une priorisation moyenne uniquement sur le débit environnemental.

6. EVALUATION DE LA PREPARATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

6.1. EVALUATION DE LA PREPARATION DES ETATS A LA PRISE EN CHARGE DE LA VARIABILITE ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AINSI QUE DES MESURES D'ADAPTATION ET D'ATTENUATION (EXISTANTES ET EN COURS DE MISE EN ŒUVRE DANS LE BASSIN) (T2.8)

Lors de la conférence des nations sur le changement climatique de Copenhague en 2009, l'objectif d'une limitation du réchauffement climatique global à 2°C d'ici la fin du siècle avait été discuté par les parties prenantes. Cet objectif passe par une réduction de 40% à 70% des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050.

L'atténuation a été la première réponse politique à être mise en place. Historiquement, c'est lors du Sommet pour la Terre ou conférence de Rio en 1992 qu'a été reconnue l'existence des changements climatiques induits par les émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines.

L'atténuation aux changements climatiques consiste à prendre des actions visant à stabiliser ou réduire les émissions de gaz à effets de serre dans l'atmosphère. L'objectif est de diminuer l'augmentation du réchauffement climatique lié en partie aux concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'atténuation cherche donc à résoudre les causes (ou du moins une des causes) du changement climatique.

Quand bien même, les États arriveraient à atteindre cet objectif très ambitieux, une augmentation de la température moyenne de 2°C entraînera des impacts majeurs dans le monde avec un impact plus important dans les zones tropicales. Ce constat a amené les pays à prendre en parallèle des politiques d'atténuation du changement climatique, des politiques d'adaptation à ces changements.

L'adaptation aux changements climatiques consiste à anticiper ses impacts afin de limiter les dommages potentiels et de tirer parti autant que possible de ces changements inéluctables. Il s'agit de mettre en œuvre des mesures permettant de répondre aux nouvelles conditions imposées par les changements climatiques et ainsi de réduire la vulnérabilité d'un territoire.

Les politiques d'adaptation sont bien plus récentes que celles d'atténuation. Durant la décennie 1990, l'adaptation était complètement ignorée. Lors des négociations internationales sur le climat à cette période, parler d'adaptation était conçu comme un aveu d'échec. Ainsi c'est seulement en 2005, qu'un programme de travail sur l'adaptation est lancé par la convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique. C'est avec les accords de Bali de 2007 que l'adaptation prend presque autant part que l'atténuation aux accords signés⁵³.

6.1.1. Mesures d'atténuation à l'échelle du bassin

Pour le GIEC, l'atténuation permet de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » et ce « dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable » [IPCC, 2014b].

⁵³ Thèse : Proposition d'interface ScienceSociété pour la gestion intégrée de la ressource en eau dans un contexte de changements climatiques, Eve LEROY, Juin 2015

Actuellement, les principales mesures prises sont envisagées dans le cadre des accords de Paris. Les CPDN présentent les engagements des Etats et donc les principales mesures envisagées pour tenir leurs engagements. Dans l'étude, nous avons principalement étudié les mesures d'atténuation prises par les Etats. Ces mesures concernent surtout des grandes lignes directrices afin de diminuer la consommation d'énergies fossiles et d'augmenter la production d'énergie renouvelables. Les mesures d'atténuation sont définies au niveau national tandis que les mesures d'adaptation sont plus locales. Sur le BFS, certaines mesures comme la construction de centrale hydroélectrique sont à prendre en compte car elles vont impacter la gestion du bassin.

Les mesures d'atténuations des quatre Etats membres nécessitent d'importants moyens humains et technologiques, et particulièrement l'appui de la communauté internationale.

6.1.1.1. La Guinée

L'inventaire de gaz à effet de serre réalisé pour la Communication nationale initiale (inventaire sur la base des émissions de 1994) montre que les secteurs de l'énergie, du changement d'utilisation des terres et de la foresterie (CUTF) et de l'agriculture sont les principaux émetteurs et constituent donc une priorité stratégique pour la Guinée en matière d'atténuation, et ont été ainsi inclus dans la CPDN.

Les principaux engagements pris par la Guinée sont :

- Produire 30% de son énergie par des énergies renouvelables (hors bois-énergie). Le potentiel d'atténuation de cette mesure est estimé à 34 Mt CO₂ pour 2030.
 - Mise en service de centrales hydroélectriques (1 650MW) comme Balassa ;
 - Installation de 47 MW supplémentaire d'énergie solaire et éolienne ;
 - Développement des biocarburants et autres énergies modernes (butane, biogaz...).
- Soutenir la diffusion de technologies et pratiques économes ou alternatives au bois-énergie et charbon de bois. Le potentiel d'atténuation est estimé à 23 Mt CO₂ d'ici 2030.
- Améliorer la performance énergétique de l'économie Guinéenne (actuellement de 19%) avec :
 - L'amélioration de 50 % des rendements de la production de l'électricité par rapport à la situation de référence (2011);
 - La baisse des consommations spécifiques des secteurs transport, résidence et administration publique à travers notamment l'amélioration de la qualité du parc des transports et la promotion du transport public.
- Rendre climato-compatible les exploitations des ressources minières (premier secteur consommateur d'énergie conventionnelle). Le gain potentiel d'atténuation est d'environ 9 Mt CO₂ pour 2030. Les principales mesures visent à :
 - Renforcer le code minier ;
 - Imposer la prise en compte des impacts des changements climatiques dans les Plans de Gestion Environnemental et Social à tous les projets d'exploitation minière traditionnelle ou moderne ;
 - Evaluer la faisabilité de la création d'un mécanisme financier pour financer la contribution à la lutte contre les changements climatiques par le secteur minier ;
 - Renforcer l'efficacité énergétique du secteur (le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique a été évalué à 51 016 tep/an) ;
 - Fournir autant que possible une électricité renouvelable à ce secteur. Les prévisions en matière de demande future d'électricité du secteur minier, dans un scénario haut pourraient à elles seules absorber plus de 80% du potentiel hydroélectrique (6 000 MW) inventorié à ce jour.

- Une gestion durable de la forêt pour augmenter la capacité de séquestration de la Guinée. Les actions mises en place sont:
 - Une stabilisation, à horizon 2030, de la superficie de la mangrove, des mesures de reboisement plus systématiques seront introduites d'ici-là, ainsi que les mesures liées aux alternatives technologiques permettant de limiter la consommation de bois-énergie, et à l'intensification de la riziculture ;
 - Le financement des programmes de reboisement dans l'ensemble du territoire à hauteur de 10 000 ha par an et une gestion durablement les surfaces reboisées ;
 - La préservation des forêts classées et des aires protégées à travers le renforcement des structures de contrôle, la sensibilisation, la gestion participative et l'application des sanctions pénales prévues par le Code Forestier.

6.1.1.2. Le Mali

Afin d'assurer un développement durable, des mesures d'atténuation des effets du changement climatique ont été prise par le gouvernement Malien dans le cadre de l'accord de Paris. Les ambitions de réduction des émissions de GES sont

Ces réductions concernent les secteurs de :

- L'énergie avec une réduction de 22.4% en 2020 et de 31.6% en 2030 par rapport à 2015. Le coût correspondant s'élève à un total de 1.16 milliard de \$ US en dix ans. Les mesures sur ce secteur concernent :
 - Valorisation des énergies renouvelables (programme SREP)
 - Projet de Manantali II
 - Projet d'électrification villageoise par des énergies renouvelables
 - Projet de la centrale hydroélectrique de Kénié
- L'agriculture, avec une réduction des émissions de :
 - SRI : Système de riziculture intensive (éviter l'irrigation permanente);
 - La micro-dose (économie d'intrant et d'eau) ;
 - La production de fumure organique.
- La Foresterie et des Changements d'Affectation des Terres
 - Reboisement et régénération des forêts ;
 - Elaboration de plan d'aménagement et de gestion des massifs forestiers et des forêts classées ;
 - Exploitation rationnelle du bois énergie ;
 - Fixation des dunes par la plantation de bois de service ;
 - Vulgarisation des foyers économes en bois de chauffe ;
 - Reboisement et production de biocarburant (Jatropha) ;
 - Production de briquettes à travers les sous-produits agricoles.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Tableau 126 - Objectifs d'atténuation des contributions du Mali (source : CPDN Mali, Septembre 2015)

Secteurs	Emissions en 2015 (KTéq Co ₂)	Prévision des émissions pour 2030 (KTéq Co ₂)	% d'atténuation des émissions par rapport au scénario
Energie	4 000	6 336	31.6%
Agriculture	58 250	59 521	30.9%
Foresterie et Affectation des terres	Emission 561 968 Séquestration -781 473 Total : -219505	-153 079	-21%
Total	-155 552	Scénario atténuation: -84 937 Scénario de base : -29 242	-27%

Les mesures d'atténuation prévues permettent une diminution de l'accroissement des émissions de CO₂. Le Mali reste ainsi un puit de gaz à effet de serre. Le gain des mesures est de 27% pour l'ensemble des secteurs par rapport au scénario de base (sans mesure d'atténuation).

6.1.1.3. La Mauritanie

La République Islamique de Mauritanie contribue à l'accord Climat de Paris par une réduction de 22.3% des émissions de GES d'ici 2030. Ce plan permet d'éviter l'émission d'environ 33.56 Mt d'équivalent CO₂. Cette contribution portera principalement sur les secteurs :

- De l'énergie : développement transport fluviale, développement des énergies renouvelables...
- De l'agriculture, la forêt et les sols
- De l'industrie et des déchets.

Tableau 127- Objectifs d'atténuation des contributions de la Mauritanie (source : CPDN Mauritanie, Septembre 2015)

Secteurs	Cumul d'atténuation 2020- 2030 (Mt Eq Co ₂)	% de réduction des émission pour 2030
Energie	-12.71	38%
Procédés industriels et utilisation des produits	-0.03	0.09%
Agriculture Foresterie et Affectation des terres,	-20.43	61%
Déchets	-0.39	1%
Total	-33.56	

Pour réaliser ses ambitions d'atténuation des GES pour 2030, la Mauritanie aura besoin d'une enveloppe financière globale de 9,3 Milliards de Dollars US dont 88% provenant de l'appui international.

6.1.1.4. Le Sénégal

La CPDN du Sénégal, sur le volet atténuation, vise la mise en œuvre d'activités spécifiques ayant un impact sur la réduction des émissions de GES, aussi bien sur la base des ressources nationales (objectifs de la contribution inconditionnelle) qu'avec le soutien de la communauté

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

internationale (objectifs contribution conditionnelle) en rapport à ses capacités. Ces activités couvrent trois gaz : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et les oxydes nitreux (N₂O).

La mise en œuvre de la CPDN est estimée à un coût financier de 21,5 milliards de dollars US et nécessite d'importants moyens humains et technologiques, dont surtout celui de la communauté internationale.

Le Sénégal a axé son plan de réduction des émissions de GES autour des sous-secteurs :

- De l'énergie, avec :
 - Le renforcement de la distribution en électricité ;
 - L'amélioration de l'efficacité énergétique ;
 - La réduction des émissions liées à la consommation de bois de chauffe et de charbon ;
 - Le développement des Energies renouvelables (EnR).
- De l'agriculture, la forêt et les sols à travers :
 - La réduction des émissions liées aux feux de brousse et de pâturages ;
 - Le développement du Système de Riziculture Intensif (SRI) ;
 - La promotion de l'agroforesterie et des bonnes pratiques agricoles ;
 - L'utilisation de fumiers et d'engrais organique ;
 - La réduction des émissions liées à la déforestation et la dégradation des forêts ;
 - La réduction des émissions de 0.08% et 0.19% respectivement en 2020 et 2030 ;
 - Les séquestrations de carbone dues au reboisement des forêts classées.
- De l'industrie et des déchets
 - Assainissement et valorisation des déchets ;
 - Construction de centre de valorisation des déchets et renforcement des capacités des STEP ;
 - Amélioration des procédés industriels ;
 - Réduction des émissions industrielles de 10% en 2025 et 10% en 2030.
- Du transport :
 - Développement des transports en commun (Ligne rouge Dakar/Guédiawaye, Bus Rapide Transit) ;

Le Sénégal s'est engagé, sous l'option inconditionnelle (CPDN), à réduire ses émissions, par rapport à leur trajectoire prévue, de 3%, 4% et 5% respectivement en 2020, 2025 et 2030. Le plan le plus optimiste, avec une option conditionnelle (CPDN+), vise des réductions de l'ordre de 7%, 15% et 21% sur les mêmes années.

Les objectifs d'atténuation doivent conduire aux résultats présentés dans le tableau.

Tableau 128- Objectifs d'atténuation des contributions inconditionnelle et conditionnelle (source : CPDN Sénégal, Septembre 2015)

Secteurs	Inconditionnelle			Conditionnelle		
	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Énergie	4%	7%	6%	10%	23%	31%
PIUP ⁹	0%	0%	0%	0%	10%	10%
Agriculture	0,08%	0,14%	0,19%	0,35%	0,51%	0,63%
Déchets	11%	14%	13%	26%	28%	31%

6.1.2. Stratégies d'adaptation des Etats membres

Les mesures d'adaptation à mettre en œuvre dans le BFS doivent être en cohérence avec les stratégies d'adaptation développées par les Etats membres.

Les mesures d'adaptation préconisées par les Etats membres listées ci-après sont reprises des PANA de chacun des pays.

6.1.2.1. Guinée

En raison des pratiques néfastes d'exploitation des ressources naturelles et des effets des changements climatiques, tout le territoire connaît une dégradation généralisée des écosystèmes dont le degré de vulnérabilité est variable d'une région à une autre.

Selon le document de stratégie de réduction de la pauvreté en Guinée, la pauvreté est plus accentuée en milieu rural où les populations dans leur majorité vivent et mènent des activités qui leur procurent l'essentiel de leurs moyens de subsistance.

Les consultations publiques, ont permis d'identifier par région naturelle, par ressource et par groupe socio-économique, plusieurs options d'adaptation. La similitude de certaines situations régionales a permis de les regrouper en treize options principales.

A. Option 1 : promotion de la gestion des feux et de la mise en défens

a) Gestion des feux

Les feux de brousse constituent une préoccupation majeure pour la gestion durable des ressources naturelles en Guinée et un élément multiplicateur des facteurs concourant aux changements climatiques. La composante gestion des feux est prévue pour maîtriser ce fléau et le rendre moins nuisible. Elle consiste à :

- organiser une vaste campagne de sensibilisation de tous les acteurs concernés: agriculteurs, éleveurs, récolteurs de miel, fabricants de briques cuites, charbonniers, transporteurs, etc. ;
- constituer, former et équiper des comités villageois de gestion des feux ;
- pratiquer des feux précoces, des pare-feux et des haies vives ;
- maîtriser les feux agricoles et pastoraux.

b) Mise en défens

La mise en défens consiste à délimiter un territoire donné où les activités humaines seront strictement réglementées, notamment l'interdiction des feux de brousse et les défrichements agricoles, en vue de favoriser la régénération naturelle.

Elle sera réalisée en régions de savane et de forêt claire et impliquera les ménages ruraux, les tradithérapeutes, les chasseurs, les récolteurs et ramasseurs de produits forestiers non ligneux. Les zones de mises en défens pourront être enrichies en essences locales de grande utilité pour les populations rurales comme le Néré (*Parkia biglobosa*), le Karité (*Vitellaria paradoxa*), le Gobi (*Carapa procera*), etc.

B. Option 2 : promotion de l'agroforesterie ;

L'agroforesterie consiste en l'association des cultures agricoles avec les plants forestiers. Elle contribue à l'augmentation de la capacité de séquestration de carbone et à la lutte contre la pauvreté.

C. Option 3 : promotion de l'aménagement et de la gestion intégrée des petits ouvrages hydrauliques

L'aménagement et la gestion intégrée des petits ouvrages hydrauliques permettent de limiter les pénuries d'eau pour les différents usages en compétition suite aux changements climatiques. La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est un processus qui favorise le développement coordonné de la gestion de l'eau, des terres et des ressources associées, afin de maximiser d'une manière équitable le bien-être économique et social, sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux.

Les principales composantes qui peuvent être mises en œuvre dans le cadre de cette option sont :

a) *La construction de micro-barrages à buts multiples*

Les micro-barrages permettent aux agriculteurs constituant le groupe socio-économique le plus vulnérable au Changement Climatique d'améliorer leurs productions grâce à l'irrigation des plaines et bas-fonds. En outre, ces retenues peuvent permettre la réalisation de points d'eau pastoraux qui limitera la divagation des animaux.

b) *La construction de retenues collinaires et d'impluviums*

Ces ouvrages permettent de suppléer au manque d'eau en saison sèche pour l'agriculture, l'élevage et autres besoins domestiques. Certaines zones du pays offrent la possibilité de tels ouvrages dont la réalisation est à la portée des populations locales.

D. Option 4 : protection et restauration des écosystèmes fragiles

La République de Guinée, de par son climat, son relief, son hydrographie, sa végétation, et son sol possède une grande variété d'écosystèmes dont la vulnérabilité aux effets des CC est très marquée. On y distingue principalement les écosystèmes terrestres (de forêts, de montagnes, agricoles et insulaires), les écosystèmes des eaux douces, les écosystèmes côtiers et les écosystèmes marins.

La protection de certains de ces écosystèmes, surtout les plus fragiles tels que les crêtes et flancs de montagnes, les têtes de source, les berges des cours d'eau et mares, les bassins des grands barrages hydro-électriques, la mangrove, etc., contribuerait à l'atténuation des effets néfastes des changements climatiques. Cette protection pourrait se faire par :

- la création et l'aménagement des aires protégées dans certaines portions du territoire national soit, pour leur fragilité ou à cause de leur potentiel faunique ou pour l'endémisme des espèces de faune et de flore que l'on y rencontre ou pour leur valeur culturelle ;
- l'aménagement des forêts : la Guinée compte 156 forêts classées dont la plupart couvrent des zones fragiles protégeant les eaux, les sols, la faune. A peine une trentaine de ces forêts possède des plans d'aménagement non mis en œuvre dans la plupart des cas, faute de ressources financières ;
- Reboisement/Restauration : cette composante consiste à augmenter les espaces boisés en réalisant des plantations forestières pour la production du bois d'œuvre et d'industrie, en plantant des essences forestières à croissance rapide pour le bois énergie et de service et en restaurant les anciennes carrières d'exploitation minière. La composante comprendra également la restauration des zones dégradées de mangrove et la création de ceintures vertes de protection des plaines en vue de lutter contre le processus d'érosion côtière.

E. Option 5 : promotion de l'aménagement hydro-agricole des plaines et des bas-fonds

En Guinée, le potentiel hydro-agricole est de 178.500 ha dont 21.910 ha de bas-fonds et 156.590 ha de plaines. La superficie totale aménagée représente environ 8% du potentiel aménageable. L'aménagement des plaines et des bas-fonds contribue à réduire la pression de la riziculture pluviale itinérante sur les forêts.

F. Option 6 : promotion de technologies appropriées en matière d'adaptation

a) Vulgarisation des technologies d'économie d'énergie

Cette composante contribuera à réduire la pression sur les ressources forestières en diminuant la consommation de bois énergie qui constitue actuellement la principale source d'énergie domestique pour plus des trois quarts des ménages en Guinée.

Le transfert de technologies d'économie d'énergie vise :

- la production d'équipements et la diffusion du savoir-faire permettant une réduction de la consommation du bois énergie (foyer amélioré) ;
- la substitution d'autres sources d'énergie au bois (biogaz, énergie solaire et éolienne, GPL).

b) Initiation des populations côtières à la technique d'élevage d'huître de mangrove

Les ressources halieutiques contribuent à plus de 80% dans l'approvisionnement des populations côtières en protéines animales. La pêche artisanale connaît aujourd'hui une forte baisse de son rendement due à la surexploitation de certaines espèces de poissons, la faiblesse de moyens de capture et la présence des bateaux collecteurs.

Cependant, la zone côtière recèle d'autres ressources biologiques, malheureusement peu valorisées parmi lesquelles l'huître de mangrove qui est l'un des meilleurs aliments naturels. Elle apporte des protéines de qualité et de nombreux éléments très utiles à l'organisme.

Toutes les parties de l'huître sont utiles. Les coquilles, mélangées au son de céréale constituent une excellente nourriture pour la volaille. Elle est aussi utilisée dans l'amendement des sols acides et dans la construction.

La forme de son exploitation traditionnelle pratiquée en Guinée qui consiste à la coupe de racines des palétuviers sur lesquelles elles sont fixées contribue à la dégradation des palétuviers et de stock naturel d'huîtres.

c) Promotion des technologies de potabilisation des eaux de surfaces par hydropur en milieu rural.

L'approvisionnement des populations rurales en eau potable est assuré principalement par des puits améliorés et des forages dont les coûts de réalisation sont élevés et hors de portée des populations. Aussi, les potentialités en eaux souterraines sont mal connues.

Alors, l'on peut s'attendre à des pénuries d'eau souterraines consécutives aux effets récurrents des variabilités climatiques. Cependant, les eaux de surface bien que disponibles, sont mal exploitées. La vulgarisation de la potabilisation des eaux de surface par hydropur permet de résoudre en partie ce problème.

d) La promotion des salines solaires dans la zone côtière guinéenne

Pratiquée de manière traditionnelle, l'extraction du sel reste une des activités économiques les plus importantes en zone côtière. Elle attire un flux important de population en saison sèche. La contrainte essentielle de cette activité est la corvée d'eau marine et de bois de chauffe. Sa pratique favorise la coupe anarchique du bois de mangrove (la production d'une tonne de sel nécessite environ 3 tonnes de bois). Par contre, la technique d'extraction de sel à l'aide de l'énergie solaire a peu d'impact négatif sur la couverture végétale.

e) Vulgarisation des pratiques anti-érosives pour la protection des cultures.

Dans la plupart des régions du pays les paysans sont peu formés à opposer des réponses efficaces aux facteurs d'érosion et à entreprendre des actions de lutte anti-érosive. Il est cependant démontré que des modèles de lutte mécanique ont fait preuve d'efficacité. Il s'agit de vulgariser ces modèles à des grandes échelles en vue d'enrayer ou d'atténuer le phénomène de l'érosion.

Option VII : introduction de variétés améliorées et promotion d'espèces résistantes

Cette option consiste à améliorer les principales variétés locales, introduire des variétés résistantes à la sécheresse et tolérantes aux maladies et ennemis des cultures et procéder à leur vulgarisation dans le milieu paysan.

G. Option 8 : promotion d'activités génératrices de revenus

La promotion des activités génératrices de revenu est prévue pour permettre aux populations pauvres de subvenir à leurs besoins essentiels tout en atténuant leur pression sur les écosystèmes et leurs ressources. Comme activités à mener dans ce cadre on peut citer : la promotion des cultures maraîchères et l'élevage de petits ruminants.

H. Option 9: valorisation des connaissances et pratiques endogènes positives

Pour la mise en œuvre de cette option, les composantes ci-dessous peuvent être envisagées :

- Protection des forêts, têtes de sources et mares ;
- Promotion de la médecine traditionnelle (santé humaine et animale) ;
- Promotion des techniques traditionnelles d'endiguement des casiers rizicoles ;
- Promotion des tapades et techniques traditionnelles d'enrichissement des sols ;
- Diffusion des techniques de repiquage du riz dans les bas-fonds.

I. Option 10 : conservation et transformation des produits agricoles

En Guinée, les pertes post récolte peuvent atteindre 60% pour certains produits. La production de fruits et légumes est très développée : mangue, banane, orange, pomme de terre, mandarine, anacarde, tomate et banane plantain. La création d'unités de transformation semi-artisanale permettrait de minimiser les pertes post-récolte et de donner une valeur ajoutée, contribuant ainsi à la lutte contre la pauvreté.

J. Option 11 : promotion de l'information, l'éducation et la communication (IEC)

Cette option permettra d'informer, d'éduquer et de sensibiliser les citoyens sur les Conventions Cadres des Nations Unies sur l'environnement (CC, biodiversité et Lutte contre la désertification). Ensuite, il sera question de diffuser et d'expliquer les contenus des différents textes régissant la gestion des ressources naturelles et de l'environnement. Les liens avec les autres AME seront également abordés.

K. Option 12 : promotion de l'élevage semi-intensif

En Guinée, le type d'élevage généralement pratiqué est celui extensif caractérisé par la divagation, la transhumance et le surpâturage. L'élevage semi-intensif consiste en une complémentation alimentaire du cheptel à travers la production fourragère et l'utilisation des sous-produits de récoltes. Ce système d'élevage réduit considérablement la divagation et la transhumance et augmente la production et la productivité des animaux.

6.1.2.2. Mali

Le Mali, à l'instar des autres pays de la région sahélienne, subit depuis le début des années 1970 des sécheresses récurrentes et sévères, conséquences probables des changements climatiques qui ont contribué à dégrader les écosystèmes avec de lourdes pertes aussi bien pour les populations que pour le cheptel. Le Programme Agrhymet fut ainsi lancé en 1975, suite à une résolution des Ministres des pays membres du Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) et à une mission conjointe de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO).

Cette mission a recommandé entre autres, le renforcement des capacités des services météorologiques et hydrologiques des pays concernés afin de leur permettre de diagnostiquer précocement des situations similaires car comme l'a fait remarquer la mission, si ces sécheresses avaient été annoncées à l'avance, leurs conséquences auraient pu être atténuées.

Au Mali, une Division agro-météorologique a été créée au sein du Service Météorologique National; des agents spécialisés ont été formés au Centre Régional Agrhymet de Niamey et des équipements ont été acquis pour renforcer les réseaux d'observation et de transmission de données et accroître les capacités de stockage et de traitement des données.

Un autre constat consécutif à ces sécheresses est que les paysans manifestaient une certaine panique dans l'exécution des travaux cultureux, notamment le semis. Ainsi, dans certaines localités, des paysans ont semé après une pluie en Avril alors que les chances de réussite de ces semis n'y dépassaient guère 20 %. C'est dans ce contexte et conformément à la recherche de l'autosuffisance et de la sécurité alimentaires, objectif prioritaire du Gouvernement, que deux types d'activités furent développés par la Direction Nationale de la Météorologie. Le premier est destiné à tenir régulièrement informés les décideurs et les responsables agricoles de l'évolution de la campagne agro-pastorale par le suivi d'indicateurs pertinents (météorologiques, pluviométriques, bilans hydriques, hydrologiques) et leurs impacts sur les cultures, les pâturages et les points d'eau. Le second consiste à fournir au monde rural des conseils et avis leur permettant de mieux planifier les activités agricoles et de les exécuter plus efficacement.

A. Suivi agro-hydro-météorologique des cultures et des pâturages

Un groupe de travail pluridisciplinaire composé de représentants des services techniques du secteur rural, de l'hydrologie, de l'Office de Radiodiffusion et Télévision (ORTM) et coordonné par la Direction Nationale de la Météorologie, se réunit tous les dix (10) jours, pendant la saison des pluies. Ce groupe analyse les données reçues des stations météorologiques, hydrologiques, les données satellitaires (cartes d'indices de végétation) ainsi que des données sur les cultures et leurs ennemis, les pâturages et les points d'eau, envoyées par les agents de l'agriculture et de l'élevage. Au terme de la réunion, un bulletin d'information agro-hydro-météorologique est élaboré et diffusé par voie de Radiodiffusion Nationale, et par courrier à l'intention des décideurs, responsables agricoles et partenaires au développement. Le bulletin fait le point de la situation météorologique et pluviométrique, de la situation des cours d'eau et leurs impacts sur les cultures, les pâturages et les points d'eau ainsi que les perspectives pour les 10 jours suivants. Ces bulletins permettent de suivre l'évolution de la campagne agricole et de détecter les zones où la situation de la campagne est critique. Ces informations sont par ailleurs utilisées par le Système d'Alerte Précoce (SAP) conjointement avec d'autres indicateurs pour faire le diagnostic de la situation nutritionnelle, sanitaire et alimentaire du pays, permettant ainsi aux décideurs de prendre en temps opportun les décisions et les actions appropriées.

B. Assistance agro-météorologique au monde rural

Les sécheresses des années 1970 ont eu, entre autres, pour conséquences au Mali, la disparition de certaines espèces végétales et animales ainsi que des perturbations dans leurs comportements physiologiques, faisant perdre aux populations rurales de précieux repères de leurs calendriers cultureux empiriques.

Par ailleurs, les calendriers cultureux vulgarisés auprès des paysans par les structures d'encadrement agricole, ont subi des changements en raison des fluctuations du régime pluviométrique.

C'est dans ce contexte que fut mise en œuvre en 1982, par une approche participative, démonstrative et pluridisciplinaire et grâce à l'appui financier de la Suisse, et le concours technique de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), l'assistance agro-météorologique opérationnelle au monde rural.

Les buts visés par cette assistance sont :

- la sensibilisation des populations rurales par leur implication directe dans l'exécution des activités et donc par réaction en chaîne, des vulgarisateurs, responsables agricoles et décideurs politiques, sur l'importance de la prise en compte de l'information météorologique dans tout processus décisionnel concernant l'agriculture afin de minimiser le risque climatique et de sécuriser voire d'augmenter la production agricole ;
- la formation des paysans et vulgarisateurs aux méthodes de collecte des données et à l'utilisation pratique de l'information météorologique et agro-météorologique dans le but de créer chez eux le réflexe de l'utilisation effective de ces informations avant toute prise de décision dans le domaine agricole ;
- l'établissement d'un système opérationnel d'élaboration et de dissémination au monde rural des informations et conseils agro-météorologiques ;
- l'élaboration de calendriers prévisionnels pour l'exécution des principales interventions culturales ;
- la constitution d'une base de données en milieu rural (référentiel paysan) pour les besoins de l'agro-météorologie opérationnelle.

6.1.2.3. Mauritanie

A. Agriculture

Le potentiel cultivable de la zone du Brakna en céréales sèches est très réduit (13 000 ha). A cet effet, la stratégie d'adaptation aux variations climatiques pour l'ensemble du pays, a porté sur un certain nombre de mesures:

- La construction des barrages, digues et diguettes pour limiter les pertes en eau, lutter contre l'érosion hydrique et augmenter les superficies cultivables en céréales et produits maraîchers ;
- L'association de légumineuses (niébé-pastèques) aux cultures de mil et sorgho pour enrichir le sol, diversifier et augmenter la production et valoriser l'occupation de l'espace ;
- Encourager la consommation du blé et du riz importé en vue d'orienter les productions céréalières vers des cultures irriguées moins dépendantes de la pluviométrie ;
- Mener des actions de protection et de restauration des zones humides (lacs d'Aleg et de Mâle) pour une meilleure gestion des ressources naturelles et la conservation de la diversité biologique.

Dans le contexte de la Mauritanie où le potentiel de terres arables potentiellement cultivable représente moins de 1% (502 000 ha) de la superficie totale du territoire, la stratégie actuelle devra être poursuivie et renforcée. Un accent particulier doit être mis sur la protection de l'environnement par des reboisements intensifs, la fixation mécanique et biologique des dunes et la mise en défens contrôlée afin de favoriser la régénération du milieu naturel.

Les stratégies d'adaptation ci-dessus énumérées seront mises en œuvre à travers les projets majeurs suivants pour l'ensemble du territoire national à l'horizon 2100.

- Projets de construction et de réhabilitation de barrages, digues et diguettes (300 millions de Dollars) ;
- Projets de développement de cultures irriguées au niveau des retenues d'eau (200 millions de Dollars). ;
- Projets de protection et restauration des zones humides (250 millions de Dollars).

B. Zone côtière

Le cordon dunaire qui protège la ville de Nouakchott est fragilisé par les prélèvements de sable effectués pour les besoins des constructions. De plus d'autres facteurs participent à sa fragilisation

tels que l'effet mécanique des aménagements anthropiques et l'absence de végétation stabilisante. Les mesures recommandées sont :

- L'interdiction des prélèvements de sable de cordon ;
- La reconstitution des parties fragilisées ;
- La mise en place d'un programme spécifique de régénération du couvert végétal côtier ;
- La réglementation stricte des aménagements sur le cordon (soumission du test aménagement à une étude d'impact sur le cordon, exceptionnalité territoriale de la zone du cordon) ;
- Une plus grande sensibilisation des populations sur les dangers que pourrait représenter la fragilisation ou la rupture du cordon.

Dans l'Aftout jouxtant le cordon dunaire, plusieurs exploitations de marais sont l'œuvre d'artisans pour l'extraction du sel gemme. Ces exploitants peuvent entraîner par écoulement hydrodynamique la remontée des nappes superficielles salines. La mer remonterait alors à l'intérieur du continent, ce qui pourrait être la cause d'inondation. Il est proposé l'interdiction de l'exploitation de ces marais salants.

C. Autres mesures d'adaptation proposées

La limitation de la pression urbaine sur la ville de Nouakchott et sur le littoral par une politique de fixation des populations dans leurs terroirs ;

- Le renforcement des capacités des institutions concernées par la gestion du littoral (DEAR, DMG, DATAR, Marine Marchande, etc.) ;
- Le renforcement des capacités de la météo nationale en matière de précision des risques liés au climat ;
- Interdiction de l'extraction du sable du cordon littoral sur toute la longueur de la côte de Nouakchott et au-delà 10 Km au Sud du port de l'amitié jusqu'à 10 km au Nord de l'hôtel Sabah, au moins.

6.1.2.4. Sénégal

A. La vision

La vision qui sous-tend les objectifs de la stratégie s'appuie sur le principe de base qui veut que des efforts soient faits pour intégrer la durabilité dans tous les domaines d'intervention, les politiques et stratégies de développement. Ce principe permet d'établir une relation entre développement et protection de l'environnement.

Cette vision est aussi basée sur l'importance que le pays attache à ses engagements internationaux, en particulier la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC). Enfin, elle intègre le contexte mondial marqué par la crise économique dont les effets risquent de renforcer la vulnérabilité des économies sous développées et des réponses préconisées par le Sénégal qui compte faire de la protection des groupes vulnérables un important levier pour atténuer les impacts des chocs sur la croissance et la pauvreté.

B. Les objectifs

L'objectif visé à travers la stratégie nationale d'adaptation est de prévenir et réduire les impacts des changements climatiques sur la croissance et le développement économique et social du Sénégal. De façon spécifique, il s'agit de : (i) protéger les populations face aux conséquences des changements climatiques, en particulier les groupes vulnérables, (ii) développer les capacités de résistance des acteurs de la vie socio-économique face aux risques climatiques et (iii) promouvoir une gestion durable rationnelle des ressources naturelles.

C. Axes stratégiques prioritaires

Dans le souci de favoriser une gestion plus globale des aspects liés aux effets des changements climatiques, la stratégie d'adaptation préconisée est orientée sur trois axes stratégiques : (i) développement des connaissances sur les effets du changement climatique et le transfert de technologies adaptées, (ii) renforcement de la prévention et de la lutte contre les chocs et (iii) promotion de la gestion durable des ressources naturelles.

a) *Axe 1 : Développement des connaissances sur les effets des changements climatiques et le transfert de technologies adaptées*

Il a été constaté que l'évolution des comportements des acteurs, notamment des populations rurales, face aux changements climatiques dépend largement du degré de sensibilisation au problème. En outre, l'échange d'informations quant aux solutions pertinentes pourrait réduire de façon considérable le coût de l'apprentissage dans les différents secteurs, mais aussi dans les collectivités.

S'agissant du transfert de technologies qui est au cœur des négociations pendant les conférences des Parties, les expériences antérieures ont montré que les processus d'adaptation pertinents sont partis d'abord des technologies existantes et ont tenté ensuite de développer de nouveaux savoirs pour mieux contenir les effets néfastes des changements climatiques. Cet exercice suppose le développement et le partage des connaissances endogènes pour mieux répondre aux effets néfastes des changements climatiques.

Au Sénégal, depuis plusieurs décennies, les paysans ont adopté des stratégies d'adaptation face à l'irrégularité et l'insuffisance des pluies. Il s'agit, entre autres, de l'utilisation de variétés à cycle court, la diversification des activités telle que l'élevage de volaille. Ces options d'adaptation concernant le choix des technologies se sont inspirées des acquis des expériences réussies, que ce soit au plan national ou international.

D'autres recherches et travaux ont montré que les eaux de pluie stockées naturellement dans les dépressions et les mares ont été utilisées traditionnellement pour l'abreuvement du cheptel et les usages domestiques pendant la saison des pluies et même jusqu'à 2 à 3 mois après l'hivernage. Ce stockage ou la valorisation de ces eaux de pluie est pratiqué depuis plusieurs années au Sénégal au niveau des petits barrages, diguettes, mares artificielles. Les eaux stockées dans les barrages s'infiltrent facilement et rechargent la nappe grâce à la nature karstique du panneau calcaire. Il est à souligner que cette spécificité n'est pas générale dans toutes les zones.

Le défi est de vulgariser ces expériences réussies tout en mettant en relation ces résultats avec les informations scientifiques disponibles sur les risques et avantages liés aux changements climatiques. Par exemple, une utilisation rationnelle des ressources en eaux ne peut se faire que lorsqu'elle intègre tous les paramètres qui permettent d'apprécier l'évolution des stocks et leurs conséquences sur la disponibilité des ressources.

b) *Axe 2 : Renforcement de la prévention et de la lutte contre les chocs climatiques*

Des mesures opérationnelles sont identifiées dans certains secteurs et domaines économiques (protection sociale, habitat, santé).

Protection sociale

Il s'agira de développer la culture de la prévention et la gestion des risques et de promouvoir des mesures d'atténuation et de lutte contre les risques, en vue de renforcer la couverture sociale des populations. En effet les changements climatiques si on y prend garde sont des facteurs aggravant de la vulnérabilité sociale.

La stratégie proposée consistera à renforcer les initiatives en cours notamment les activités du programme de gestion des risques et catastrophes naturelles et les mesures prises pour la mise en place des instruments (fonds de calamité, de garantie, assurance agricole, ...). La mise en place de dispositifs de diffusion des informations résultant des systèmes d'alerte précoce sera aussi un instrument pour la prévention et la gestion des risques.

Habitat

Les investissements visant l’amélioration des conditions de vie dans les quartiers souvent concernés par les inondations sont importants pour les populations vulnérables. C’est pourquoi, le renforcement des réseaux de drainage des eaux pluviales, la mise en œuvre effective de plans d’urbanisme ainsi que des programmes d’habitat social sont des stratégies préconisées, en vue de protéger les populations contre les risques d’inondations.

Santé

La stratégie proposée consistera à maintenir la dynamique enclenchée dans le cadre de la lutte contre le paludisme, mais aussi de veiller à ce que les autres maladies soient prises en charge. Par ailleurs, des mesures devront être prises pour le renforcement de la mise en place des mutuelles de santé dans les secteurs à risques. Toutes ces actions combinées contribueront à améliorer l’accès aux services de santé des populations, en particulier les populations vulnérables.

c) Axe 3 : Promotion de la gestion durable des ressources naturelles.

Pour la mise en œuvre des mesures retenues dans les différents secteurs, un accent particulier sera mis sur l’implication et la participation effective des acteurs locaux (collectivités locales, services déconcentrés de l’Etat, secteur privé) dans les phases de planification, de gestion et de suivi des interventions. Cette approche est en phase avec l’engagement du pays de faire jouer à ces acteurs leur rôle dans la gestion rationnelle des ressources naturelles. En effet, il apparaît que les connaissances relatives aux conditions naturelles et humaines locales sont plus approfondies au niveau local et que beaucoup de décisions prises à ce niveau influent directement ou indirectement sur l’adaptation au changement climatique.

Ressources en eau

La gestion de l’eau constitue un défi majeur compte tenu du fait que les eaux douces ne constituent que 3% du potentiel global des eaux disponibles sur la planète et que les pays doivent faire face à une évolution démographique de plus en plus élevée et des pratiques anthropiques non efficaces. La stratégie consistera à gérer de manière rationnelle le potentiel existant, en vue de prévenir et gérer les effets des changements climatiques.

Ainsi, les leviers importants dans le cadre de la recherche de solutions d’adaptation tournent autour de la mise en œuvre d’une stratégie d’économie et de gestion rationnelle des ressources en eau, à travers la limitation des pertes et fuites dans les réseaux urbains et ruraux, une meilleure gestion de la demande et l’amélioration de l’efficacité des systèmes d’irrigation qui toutes contribuent à la gestion rationnelle des ressources disponibles.

Par ailleurs, il est prévu de développer des stratégies pour accroître les ressources en eau. A cet égard, la maîtrise des eaux de crue du fleuve Sénégal, notamment par l’amélioration des conditions d’écoulement dans les défluent et le contrôle de l’alimentation des plaines d’inondation permettra de réaliser les objectifs de valorisation des eaux de crue pour la production agricole, la pêche continentale, l’alimentation, l’abreuvement du cheptel, la restauration de l’environnement. Elle permettra également d’atténuer les impacts négatifs des inondations (les inondations elles-mêmes). La maîtrise de ces dérivations naturelles par des ouvrages permettrait de contrôler le remplissage des cuvettes, d’augmenter le temps de séjour de l’eau et de disposer d’importantes quantités d’eau à valoriser.

Enfin, dans un souci d’accroître les ressources disponibles, la mise en place d’infrastructures de stockage des eaux de ruissellement et l’utilisation des eaux traitées à des fins agricoles et d’utilisation pour l’alimentation en eau potable ont été proposées comme des options d’adaptation aux changements climatiques. Les eaux usées traitées de la station d’épuration de Cambéréne constituent par exemple un important potentiel qui pourrait contribuer à satisfaire les besoins agricoles et aider à réaliser de grandes économies d’eau potable.

Agriculture

Le secteur agricole (agriculture, élevage, pêche) joue un rôle important dans l'atteinte des objectifs de la stratégie de croissance accélérée (SCA). C'est pourquoi, il est urgent de s'orienter vers des options d'adaptation plus globales et mieux structurées.

Ces solutions d'adaptation devront s'inspirer des acquis des expériences réussies, que ce soit au plan national ou international. Les interventions qui tourneront autour du renforcement des capacités des producteurs, de l'application de technologies d'adaptation et la politique de maîtrise de l'eau créeront les conditions pour une intensification optimale de l'agriculture.

Pêche

Dans la perspective d'assurer une exploitation durable de la ressource halieutique, le Sénégal a déjà institué des mesures et dispositions réglementaires, à travers notamment la création des institutions administratives et techniques de suivi et de gestion du secteur des pêches. Malgré tous ces efforts, les ressources halieutiques du Sénégal continuent de connaître une diminution depuis quelques années.

Les orientations préconisées pour permettre au secteur de jouer son rôle dans l'accélération de la croissance s'appuient sur les stratégies suivantes :

- Stratégie 1 : Promotion d'une pêche responsable de conservation des ressources

La modification des méthodes de capture est une priorité. A cet effet, il est indispensable de disposer d'une cartographie spécifique des zones les plus sensibles pour tenir compte des priorités et de l'urgence d'intervenir dans certaines zones pour favoriser une plus grande visibilité dans le secteur. Cette cartographie permettra de proposer une régulation de l'accès à la ressource.

- Stratégie 2 : Développement des stratégies de marketing

La recherche doit être accentuée afin de connaître suffisamment l'évolution de la ressource halieutique par rapport à l'environnement marin, côtier et continental et de développer des stratégies d'adaptation propres. L'amélioration des statistiques des pêches, particulièrement de la pêche continentale et de l'aquaculture, permettra d'identifier les espèces dont l'exploitation peut être envisagée de manière rationnelle.

- Stratégie 3 : Promouvoir l'aquaculture vivrière et de rente durable.

En matière d'aquaculture, la priorité sera donnée à la production vivrière car celle-ci a pour effet d'augmenter l'offre de produits, de garantir la sécurité alimentaire et l'approvisionnement des industries de transformation.

Zone côtière

La stratégie consistera à renforcer les actions en cours dans le cadre d'une politique intégrée de gestion du littoral et des côtes du Sénégal, en veillant à l'intégration des réalités régionales. En effet, pour arriver à une politique côtière cohérente et pertinente, les pays côtiers doivent harmoniser et mutualiser les efforts pour favoriser une lutte efficace pour la préservation des zones côtières de la sous-région. Avec un programme ambitieux développé dans un ensemble de projets programmés dans le court, moyen et long terme, la gestion des côtes dispose d'un plan stratégique.

Pour ce faire, les études et recherches ont proposé des solutions ci-après, en vue d'avoir une stratégie intégrée de lutte contre les agressions de l'environnement côtier : (i) mettre en place un schéma directeur d'aménagement du littoral, (ii) assurer la cohérence institutionnelle de la gestion du littoral, (iii) maîtriser le phénomène d'érosion côtière à travers des activités de recherche / développement, (iv) mettre en place un Observatoire du littoral, (v) réaliser des ouvrages diversifiés et adaptés au contexte local et (vi) renforcer les capacités de suivi des ouvrages.

Forêt et biodiversité

La stratégie proposée s'appuie sur la lutte contre les feux de brousse et le développement de programmes de reboisement. Ces mesures visent à renforcer les efforts de lutte contre la désertification et la sauvegarde de la faune et de la flore (reboisement, mise en défens, régénération naturelle, aménagement pour la production durable des forêts) qui ont permis de porter le ratio reforestation/déboisement à 1,25.

Les options préconisées devront s'inspirer des acquis des expériences réussies, que ce soit au plan national ou international. Dans le court terme, les stratégies d'adaptation prioritaires s'articulent avec les programmes de lutte contre la sécheresse et la désertification exécutés au Sénégal depuis plusieurs années.

D. Plan d'actions pour l'adaptation

Dans un souci de veiller à la cohérence des interventions et à l'optimisation de l'utilisation des ressources, les actions identifiées ont été regroupées dans cinq principaux programmes : (i) développement des connaissances sur les changements climatiques, (ii) promotion des technologies et du partenariat, (iii) prévention et gestion des risques, (iv) renforcement de la mobilisation des ressources en eau et (v) promotion de la bonne gouvernance des ressources naturelle

E. Plan de mise en œuvre

L'opérationnalisation du plan d'action constitue une préoccupation qui a guidé l'exercice de planification. Un cadre institutionnel a été proposé à cet effet mettant en évidence les rôles et responsabilités des acteurs.

Ce cadre intègre les nécessaire suivi et évaluation des mesures mises en place.

Les investissements nécessaires au financement de la stratégie nationale ont été chiffrés. La stratégie nationale sera financée principalement par l'Etat et ses partenaires.

6.1.3. Mesures d'adaptation à l'échelle du bassin

Pour faire face à la variabilité climatique, les pays membres de l'OMVS se sont déjà dotés d'actions d'adaptation diverses et variées, avec en particulier des politiques de l'eau plus économes, des choix agricoles plus adaptés au nouveau climat, des incitations financières pour préserver les ressources naturelles, des politiques de lutte contre les inondations, des mesures d'anticipation des sécheresses par des prévisions, etc.

Il s'agissait cependant d'actions éparses et variées d'adaptation réactive. Ces actions ont permis de créer un savoir-faire, de tester des approches. Le besoin actuel est d'aller vers une politique d'adaptation proactive qui sera déterminée dans le Plan d'adaptation à préparer par le Consultant. Il s'agit d'anticiper les impacts futurs qui menacent des zones vulnérables du BFS identifiées précédemment et de s'y préparer.

L'OMVS a besoin d'une approche structurelle d'adaptation et non de réactions conjoncturelles car le défi climatique futur pour la région est fort. Les actions conjoncturelles d'adaptation deviendront vite inefficaces et trop coûteuses devant les risques qui menacent le bassin du fleuve.

Cette approche d'adaptation doit être développée en cohérence avec les stratégies nationales d'adaptation et participer à leur mise en œuvre. Dans ce cadre l'OMVS initiera des actions ou viendra appuyer des initiatives d'adaptation.

L'OMVS a développé des ouvrages importants (barrages réservoirs, barrages hydroélectriques, endiguements) qui participent utilement à la maîtrise de la ressource en eau du BFS. Elle a ultérieurement mis en place des mesures permettant de maîtriser certains effets secondaires indésirables liés à l'exploitation de ces ouvrages, tels que le développement de maladies

hydriques. L’OMVS poursuit le développement de nouveaux ouvrages importants en veillant, dès l’amont des projets, à la maîtrise des impacts environnementaux et sociaux.

L’OMVS a également participé à la mise en place de mesures d’adaptation à plus petite échelle au travers de l’appui à des microprojets. Ceux-ci ont été développés avec les OCB en cohérence avec les stratégies d’adaptation nationales. Le chapitre suivant évalue plusieurs de ces microprojets.

6.2. EVALUATION DES MICRO-PROJETS FINANCES DANS LE CADRE DE LA PHASE 1 DU PROJET GEF ET MIS EN ŒUVRE PAR LES POPULATIONS A TRAVERS DES OCB (T2.9)

Sur la base du retour d’expérience de l’OMVS et de notre compréhension du BFS nous avons pu effectuer une évaluation a posteriori de quelques micro-projets financés dans le cadre de la Phase 1 du projet GEF. Nous avons choisi 14 micro-projets représentatifs de la variabilité et de la diversité des situations rencontrées et des solutions proposées.

Lors de la rencontre des populations pour l’enquête d’évaluation de la perception et les connaissances des populations du bassin des phénomènes climatiques et de leur impact, nos experts locaux en ont profité pour aller à la rencontre des microprojets.

6.2.1. Choix des micro-projets

La phase 1 du projet GEF, dans sa composante 4 portant sur le financement des micro-projets a concerné 21 micro-projets financés à hauteur de 114 450 933 F CFA et ainsi répartis entre les 4 états membres :

- Guinée-Conakry : 4 ;
- Mali : 6 ;
- Mauritanie : 4 ;
- Sénégal : 7.

La plupart de ces projets se sont achevés en 2008. Ils couvrent les domaines suivants : dégradation des terres et désertification (16 micro-projets sur les 21), soutien aux initiatives de gestion des zones humides et dégradation des terres et désertification (1), soutien aux initiatives de gestion des zones humides (3), renforcement des capacités et dégradation des terres (1).

Le consultant a décidé de cibler au moins un projet de chaque domaine en veillant à bien faire ressortir les particularités, notamment leur répartition au niveau des différents sous-bassins. Toutefois, les projets du domaine dégradation des terres et désertification, les plus nombreux, sont plus représentés dans l’échantillon. D’autres critères supplémentaires tels que la proportion de femmes et de jeunes membres de l’organisation communautaire de base (OCB) bénéficiaire ont été intégrés pour finaliser le choix.

6.2.1.1. Présentation des micro-projets

La mission d’études a finalement visité dix micro-projets dont huit de la première phase et deux de la seconde phase (en Guinée) ainsi décomposés :

- Dégradation des terres et désertification : 6 ;
- Soutien aux initiatives de gestion des zones humides : 3 ;
- Diversité biologique : 1.

Sur les dix projets visités, quatre étaient destinés spécifiquement à des groupements féminins.

Le Tableau 13 donne un aperçu de ces micro-projets visités.

6.2.2. Evaluation des microprojets

6.2.2.1. Aspect financier

Les 21 micro-projets de la première phase ont coûté 140 488 796 F CFA dont environ 82% financés par le GEF et 18% représentant la contribution des bénéficiaires.

Dans le cas du Mali, la contribution des bénéficiaires est financée par les populations bénéficiaires à hauteur de 66% et par les OCB directement porteurs du projet dans une proportion de 44%.

En Guinée, la situation des 4 projets de la 1^{ère} phase n'est pas connue mais l'approche développée a été de financer des ONG chargées de la mise en œuvre des activités sur le terrain.

Ces projets de phase 1 n'ont pas été visités par la présente mission qui a, par contre, visité deux projets de phase 2 développant une approche identique.

Sauf pour le cas de la Mauritanie, la documentation consultée n'a pas permis d'établir de façon systématique la nature des contributions des communautés bénéficiaires.

6.2.2.2. Pertinence du projet

Les micro-projets financés ont été considérés comme des actions prioritaires pilotes de l'OMVS, suite au diagnostic ressorti de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière dans chaque pays.

Par ailleurs, dans tous les pays riverains du bassin, les politiques nationales ont décidé d'accorder davantage d'attention aux problématiques environnementales, en initiant les processus ayant abouti à l'élaboration des plans nationaux d'adaptation aux changements climatiques.

D'un autre côté, sur le plan local, les communautés étaient de plus en plus éprouvées par les épisodes de sécheresse et/ou d'inondations qui occasionnaient des pertes de revenus dans les secteurs d'activités les plus représentatifs : l'agriculture, l'élevage, la pêche, l'exploitation forestière ; ceci pouvant constituer un facteur aggravant de la pauvreté.

Concernant ces activités, le diagnostic de la situation actuelle fait supra (Chap. 5) et qui constitue un prolongement des situations observées depuis le début des années 60, montre leur degré de vulnérabilité aux chocs.

Ayant identifié les causes de la dégradation de l'environnement au niveau local impactant négativement sur les moyens de survie, l'OMVS a mis l'accent lors de la première phase sur des micro-projets permettant de lutter contre la dégradation des terres, celle des ressources en eau (partant du constat de développement des cultures irriguées actuelles ou prévues qui vont nécessiter la mobilisation plus accrue des ressources en eau, menacées par les ensablements et la sécheresse) et celle du couvert végétal qui menace la biodiversité.

Ces micro-projets répondent dans l'ensemble à un besoin des communautés, des collectivités locales où ils sont implantés, et des Etats membres de l'OMVS. Ils contribuent, à une échelle locale, à la lutte contre les changements climatiques. Leur pertinence est ainsi établie et illustrée, entre autres, par les cas suivants :

- Le projet de promotion du biogaz à Thidé, CLC de Boghé, Mauritanie :

Cette localité qui fait partie des villages bénéficiant des petits périmètres rizicoles de Boghé, fait face à une dégradation de ses ressources forestières ayant conduit à la rareté du bois de chauffe, principal combustible pour la cuisson des aliments, dans une zone où l'élevage est assez développé pour justifier l'implantation d'unités de collecte de lait.

Le projet biogaz devait permettre de réduire le temps et la distance de collecte de bois, de réduire les coûts d'accès au combustible en valorisant le potentiel local. Il devait permettre d'une certaine manière l'intégration de l'agriculture à l'élevage car les effluents issus du système de production devaient être utilisés dans les parcelles maraîchères du Groupement féminin du village.

Aujourd’hui encore, le fagot de 3 morceaux de bois est vendu à 100 Ougouyas, 1 kg de charbon de bois à 160 Ougouyas et 1 sac de charbon de bois à 1700 Ougouyas. « En raison de la taille de nos ménages, les dépenses d’énergie étaient énormes » rapporte un membre du Groupe de discussion.

- Le projet de mise en défens de Gandé :

Le projet était si pertinent qu’il a été le catalyseur d’autres appuis pour renforcer les acquis. En effet, plusieurs bailleurs de fonds et ONG y sont intervenus après les initiatives de l’OMVS. Un plan d’aménagement de la forêt de Gandé est ainsi élaboré en mars 2016 avec l’appui de l’UICN.

L’impact de ce projet d’amélioration de la mise en défens en Gandé permet de conforter son caractère pertinent.

- Le projet de promotion d’acacia senegal à Diangoute-Camara :

La commune de Diéma, située dans le sous-bassin le Bakoye, tout comme bon nombre de ses pairs dans le BFS reste durement affectée par l’effet des CC : les ressources forestières se sont fortement dégradées et des espèces sont en voie de disparition. Aujourd’hui, à cause de la sécheresse et des coupes abusives pour accéder au bois de chauffe, il faut parcourir plusieurs km (7 à 8 km) et faire même une intrusion clandestine dans une autre CR voisine. Les exploitants forestiers sont durement impactés par cette situation.

Or, à Diangoute –Camara, subsistait une poche de végétation en dégradation qu’il fallait préserver : « on nous a dit que plus il y a beaucoup d’arbres, plus il pleut », rapporte un membre de la coopérative. Il faut noter que le site actuel du projet de reboisement était une forêt de grands arbres il y a une quarantaine d’années.

La plantation d’acacia senegal, autour de laquelle furent mobilisés les exploitants forestiers à travers leur coopérative répond à cet objectif et permettra de fournir des revenus supplémentaires à l’OCB et à la communauté.

Le projet est si pertinent qu’aujourd’hui le périmètre de Diangouté est inscrit dans le répertoire de la Commune de Diéma.

- Le projet de pisciculture de Tematessou ou « vivre au bord du fleuve et ne pas pouvoir manger du poisson tous les jours » !

Tematessou, localité de la commune de Diamou, à une cinquantaine de km de Kayes s’est développée autour de l’usine de ciment qui y était implantée et qui est a fermé dans les années 90. La majorité des chefs de ménage disposait d’un emploi grâce à cette usine dont l’actionnaire principal s’était aussi intéressé à la pisciculture. Le micro-projet OMVS n’est pas intervenu sur un terrain vierge. La question de l’atténuation des prélèvements abusifs sur les stocks halieutiques qui menacent l’équilibre des écosystèmes du fleuve doit s’accompagner de la mise à disposition des populations d’autres alternatives. La pisciculture en est une, surtout dans ce village frappé par le chômage et par la rareté du poisson, puisque les pêcheurs préfèrent écouler leurs productions à Kayes.

Les enquêtes de perception réalisées auprès des populations dans le cadre de cette mission révèlent que les microprojets ont été pertinents. Les microprojets ont été installés dans les sites pour atténuer les impacts liés aux changements climatiques et/ou bien pour permettre aux bénéficiaires de mener des activités génératrices de revenus. Face donc aux problèmes des changements climatiques avec ses corollaires que sont notamment la hausse des températures, la variabilité du calendrier saisonnier (la hausse ou la diminution des pluies), la vulnérabilité intégrale des communautés (manque de production ou faible productivité, dissémination des troupeaux de bétail), promouvoir de tels microprojets ne saurait être que pertinent.

6.2.2.3. Analyse socioéconomique des microprojets

Certains micro-projets n’ont pas répondu aux attentes, non pas parce qu’ils n’étaient pas pertinents, mais pour des raisons diverses dont la légitimité et le leadership du principal porteur de projet, l’insuffisance du suivi et de l’appui lors de la mise en œuvre et après mise en œuvre, la

prise en compte insuffisante des facteurs de durabilité (forte implication des Services techniques), l’approche dans la mise en œuvre.

Si la pertinence des microprojets ne fait l’objet d’aucun doute, il reste vrai que les impacts locaux varient d’un sous-bassin à un autre ou bien d’un site à un autre.

A. Les microprojets en Guinée

« Le projet de reboisement des têtes de sources et des berges du cours d’eau de Parawol Marga ».

Les résultats des enquêtes sur le projet de reboisement des têtes de sources et des berges du cours d’eau pour le compte des populations de Parawol Marga de la CRD de Koyin révèlent qu’il y a beaucoup d’impacts sur les bénéficiaires. La biodiversité commence à être restaurée et qu’on note également une nette amélioration du régime hydrique du cours d’eau de Parawol Marga. Les populations affirment que la terre est devenue stable et qu’elles observent également une réelle atténuation de la Chaleur « quand tu es ici à Parawol Marga, tu ressens rarement la chaleur car avec les arbres, nous avons un micro climat » disait le chef de village de cette localité.

La visite de site effectuée sur une rive, à hauteur du village de Parawol, en pleine saison des pluies (fin juillet 2017) a permis de constater une végétation luxuriante aux allures de forêt galerie. L’écoulement constaté à ce niveau ne semblait pas important mais pourrait s’expliquer par la pluviométrie qui n’avait pas encore atteint son niveau maximum. Entre les rives et les concessions du village s’intercalent des champs et des espèces fruitières.

Sur le plan des impacts locaux, il y a tout aussi les revenus que les populations tiraient de la commercialisation des fruits des arbres qui ont été plantés (manguiers, orangers) dans le projet PAGIRE1 en 2007. Malheureusement, à peine commencé à bénéficier de ces ressources, il y a eu de sérieuses attaques des fruits par des insectes qui détruisent tout. Ce qui constitue un réel manque à gagner pour les populations qui avaient commencé à sortir de la pauvreté grâce aux revenus qu’elles tiraient de cette activité. Le village commençait à noter un retour de ses jeunes qui étaient partis dans les grandes villes (Labé, Conakry).

L’espoir porté sur le projet est quasi tombé à l’eau car les populations n’ont reçu depuis lors aucun soutien de la part de l’OMVS, encore moins de l’Etat pour les aider à combattre les attaques de fruits. Et les jeunes commencent à reprendre le chemin de l’exode à la recherche de sources de revenus pour aider les parents restés au village.

« Le Projet de reboisement de la forêt Communautaire de Nnyényéméré »

Deux impacts majeurs ont été relevés pour les populations bénéficiaires de ce projet de reboisement de la forêt Communautaire. Il s’agit d’une part de la bonne conservation de la nature et d’autre part sur la santé des populations qui étaient soumis à toutes sortes de pollutions. Un des membres de l’ONG UVADEPE bénéficiaire résumait ces deux impacts en ces termes « le projet a de réels impacts sur notre bien-être car on respire de l’air pur et on se réjouit du retour de la forêt ».

La visite de site effectuée montre que la plantation a assez bien réussi. Mais, on y note quelques éclaircies dues à des cas de mortalité expliqués par l’attaque les termites (on note la présence de termitières sur le site).

B. Les microprojets au Mali

Le micro-projet de « Protection et de régénération des ressources halieutiques et développement de la pisciculture dans la commune rurale de Diamou » : un échec au goût amer

En initiant ce projet les principales motivations de l’association se fondaient sur le fait (i) qu’il y a peu de poissons dans le fleuve, (ii) que les captures baissaient d’année en année. A cela s’ajoute

le fait que les pêcheurs bozos préfèrent écouler leurs prises à Kayes où les prix sont plus rémunérateurs.

Le bénéficiaire du projet était l'association « Dunka fa Ton » ou « manger à sa faim » de Tematessou. Le projet qui visait à approvisionner les ménages de la commune en poissons et à lutter contre la pauvreté avait un impact local réel au niveau des villages. Six mois après l'ensemencement, l'association a récolté un nombre important de poissons (environ 2000). Les populations mangeaient beaucoup de poissons et comblaient leur gap en protéine. Le projet avait ainsi permis au village de Tematessou et aux localités environnantes de s'approvisionner régulièrement en poissons frais. L'association de «Dunka fa Ton» commençait même à épargner quelques bénéfices tirés de la commercialisation du projet.

Le projet a connu malheureusement un arrêt brusque, à la suite de la seconde semence, au grand dam des populations. Pourtant l'espoir de récolter plus qu'à la première opération venait de naître lorsque l'association qui avait introduit 1 880 alevins s'est retrouvée avec environ 15 000 car les premiers poissons récoltés avaient laissé d'importants œufs qui se sont reproduits.

Les populations ont depuis basculé dans la pauvreté, car avec les changements climatiques et des problèmes de gestion de la ferme piscicole, l'agriculture qui était leur principale activité et leur principale source de revenus a complètement disparu de la zone. Cet échec a eu un impact négatif sur d'autres secteurs : de nombreux travailleurs se sont finalement tournés vers la commercialisation du charbon de bois.

La visite de site a révélé :

- 6 étangs dont 1 aux parois revêtus, clôturé avec du grillage qui est dégradé par endroits ;
- 1 station de pompage dont les équipements sont hors usage ;
- Des canaux d'amenée de l'eau du fleuve aux étangs, des tuyaux dégradés ;
- Site non fonctionnel, abandonné : les étangs servent maintenant de pâturages au cheptel du village.

Le projet n'a réalisé que deux campagnes dont l'une s'est achevée prématurément.

Les causes de l'échec :

- Le découragement des membres de l'association suite aux résultats insuffisants de la première campagne (charges d'exploitation supérieures aux recettes), l'échec de la 2^{ème} campagne où aucune recette n'a été tirée ;
- Des problèmes techniques liés aux caractéristiques du sol des étangs selon les membres de l'association qui soutiennent que le site conservait difficilement l'eau à tel point qu'il fallait parfois pomper l'eau 2 fois par jour, augmentant ainsi les charges en carburant ;
- L'assise financière insuffisante de l'association qui ne lui a pas permis, malgré les pertes effectuées lors de la première campagne, de disposer de moyens pour prendre en charge la rétribution du technicien. Ceci pose apparemment un problème d'engagement et d'organisation des membres de l'association.

Toutefois, les bénéficiaires membres de l'association « Dunka fa Ton » pensent que le projet aurait pu permettre, s'il avait bien fonctionné :

- Une disponibilité du poisson à proximité pour les ménages du village et de ceux environnants lors des récoltes. En effet, les femmes du groupe de discussion ont révélé que la première récolte a été une aubaine car « Avant cela, l'accès au poisson était difficile car les prix sont élevés et parfois, même disposant d'argent, vous ne pouvez pas trouver du poisson frais sur place. A Tematessou, le kg de carpes est vendu à 2 000 FCFA et celui de capitaine à 3 000 F ».
- Un régime alimentaire mieux équilibré des ménages grâce à l'apport en protéines ;
- Des revenus supplémentaires pour le village et l'association ;

- La réalisation d'investissements dans la commune et dans le village ; l'association de «Dunka fa Ton» commençait même à épargner quelques bénéfices tirés de la commercialisation des produits du projet ;
- L'aménagement d'autres étangs ;
- C'était un projet intéressant car, avec la première récolte, « pour une fois les populations ont mangé à leur faim plusieurs jours de suite et certains ont même fumé l'excédent du poisson ».

Le projet de « Promotion de l'acacia Senegal dans la CR de Diangounté-camara » ou la fierté de toute une commune

La Société coopérative de production et de commercialisation de Diangouté-camara aussi appelée « Gningon Dinmè » ou « entraide » a été créée il y a de cela 12 ans. Elle compte 36 membres dont 3 femmes et visait comme objectif de planter la gomme arabique en vue de lutter contre la désertification puis de faire le commerce de la gomme. Le site couvre une superficie de 6 ha dont 4 plantés en acacia Senegal à cause de l'insuffisance des moyens financiers.

Les résultats de la visite de site indiquent :

- Que les plantations ont bien grandi avec un taux de réussite estimé à 80-95%, selon l'avis d'expert ;
- Une dégradation de la clôture par des actions anthropiques ;
- Des poches d'éclaircies dus à la mortalité ;
- Des signes d'une fréquentation du site par le cheptel.

a) Appréciation des impacts

Il n'y avait pas encore eu d'impacts réels sur les populations au moment où nous réalisons cette étude. Les plantations ne sont pas encore exploitées. La coopérative prévoit de démarrer la première exploitation à la fin de l'hivernage (fin octobre –début novembre) grâce aux formations reçues récemment par 4 de ses membres dont 2 femmes sur les techniques appropriées de saignée et sur la gestion de l'exploitation.

Les attentes du point de vue de la génération de revenus ne sont pas encore atteintes mais « c'est une fierté pour nous car c'est le seul périmètre de ce type dans tout le cercle » rapporte le groupe des hommes. « Nous pensons que c'est un projet qui a réussi ».

Ce qui reste évident est que le projet qui doit commencer à produire prochainement permettra à la société bénéficiaire de pouvoir en tirer beaucoup de profit. La mise en valeur de ce projet d'acacia Sénégal permettra de récolter et de vendre des tonnes de gomme arabique. La demande de ce produit sur le marché local et sous régional reste encore importante. L'avantage est que Diangounté-Camara est la seule commune à bénéficier d'un tel projet de 6 ha. Les membres de l'association ont subi des formations de renforcement de capacité sur les techniques de saignée et la période de récolte de la gomme arabique

Un autre impact réel de ce projet est qu'il permet de lutter contre la désertification. Le site du projet est aujourd'hui le seul espace de la commune où on trouve des arbres d'une telle importance (4 ha sont aménagés sur les 6 ha disponibles).

b) Limites

La réussite de ce projet ne doit pas occulter les limites objectives que sont l'incapacité de la coopérative à mobiliser les moyens permettant de planter les 2 ha restants, l'état précaire de la clôture, les agressions anthropiques sur la clôture, les coupes clandestines des populations faute de surveillance. Toutefois, la récolte de gomme arabique par une exploitation judicieuse et durable de la plantation devrait pouvoir fournir des revenus supplémentaires susceptibles de prendre en charge ces besoins de financement.

C. Les microprojets au Sénégal

Projet « d'amélioration de la zone de mise en défens de Gandé »

Le site est actuellement bien préservé et comporte des peuplements comme le jujubier, quelques pieds de « soump », des acacias, même si on observe des signes de prédation. Les populations, surtout les femmes, y pratiquent la cueillette et en font une activité rémunératrice.

Les activités d'apiculture et de peuplement de pintades n'ont pas donné de résultats probants et ont disparu.

L'association villageoise de Gandé (GIE) bénéficiaire de ce projet développe une vraie stratégie pour gérer le projet en impliquant toute la population et en luttant contre les coupes abusives de bois. Les impacts du projet chez les communautés sont réels. L'exploitation du projet est organisée en trois périodes:

- (i) Pendant l'hivernage le projet est fermé à tout le monde pour permettre aux jeunes arbres plantés de grandir et aux autres espèces de se régénérer ;
- (ii) Quand les pâturages se font rares et que les animaux sont fatigués, l'espace est ouvert aux animaux, à savoir du 5 mai au mois de juillet, période de difficultés pour le cheptel. L'ouverture se fait le matin à 8h jusqu'à 17h et chaque propriétaire de bétail paie un tarif de 2500F par deux semaines pour son troupeau. Mais dès l'installation des premières pluies, la zone est fermée aux éleveurs.
- (iii) La troisième période est réservée à la cueillette au cours de laquelle le GPF de Gandé s'active pour avoir le maximum de produits de transformation. L'entrée pour la cueillette est fixée à 500F par personne et par semaine.

Les impacts sont effectivement visibles chez les populations, elles n'ont plus besoin de faire des kilomètres pour chercher du bois et les femmes réussissent à travers la cueillette à se prendre en charge. Selon un membre de l'association, « les femmes prennent en charge leur ménage ainsi que les frais d'éducation de leurs enfants ; donc elles ne fatiguent plus les hommes en leur demandant, tout le temps de l'argent ».

En effet, les femmes pratiquent la cueillette du fruit du jujubier et du « soump » depuis 1992 mais les quantités récoltées actuellement sont plus importantes grâce à la surveillance et protection du site et à une meilleure organisation de la cueillette.

Les impacts positifs sur les revenus sont perçus à travers l'accroissement des revenus des femmes qui se livrent à l'exploitation individuelle et à travers celui des revenus du groupement, permettant à ce dernier d'être plus autonome en subvenant à ses besoins.

Le projet a également eu des impacts positifs sur les habitudes alimentaires car la farine de jujube est maintenant diluée dans du lait et servie comme boisson nourrissante aux enfants.

Enfin, le projet a eu des impacts positifs sur la capacité financière de la communauté

Selon le Secrétaire Général du Comité, une partie de la taxe perçue sur la cueillette (autorisation), à raison de 500 FCGA, par demandeur est affectée à la prise en charge de la surveillance. Les recettes tirées de la taxation des infractions constatées sont affectées aussi en partie à la prise en charge de la surveillance et à la réalisation d'œuvres sociales comme la contribution à la dotation en médicaments du poste de santé.

Impacts du projet sur les bénéficiaires : le cas du Groupement féminin de Gandé

En 2017, le groupement a acheté 5 tonnes de graines de jujubier auprès des récolteurs et les a transformés en poudre et en gâteaux. En 2016, il avait acquis la même quantité.

Les recettes tirées de la vente ont permis de réaliser les actions suivantes :

- Paiement du loyer mensuel du magasin loué par les femmes ;
- Alimentation en électricité de l'unité de transformation artisanale de l'huile « segal » d'arachide ;
- Acquisition d'un 2e moulin à mil d'un montant de 300 000 FCFA en 2016 ;
- Mise en place d'un fonds de micro-crédit de 1 300 000 FCFA destinés aux membres du groupement depuis 3 ans ; Toutes les 150 femmes en ont bénéficié au moins une fois ;
- Achat à 100 000 FCFA de la parcelle destinée à abriter l'unité de transformation des femmes.

Source : focus-group femmes, évaluation de la vulnérabilité du BFS face aux Changements climatiques, août 2017.

« Protection des berges du fleuve Sénégal » du GIE Bamtaré Cali de Thialy Makka

Le GIE Bamtare Cali de Thialy Maka est le bénéficiaire du projet. Le responsable de ce GIE a émigré et se trouve actuellement en Mauritanie où il travaille. L'objectif du projet était de lutter contre la dégradation des terres le long de la rive gauche du fleuve Sénégal, mais également de renforcer les sources de revenus des populations locales.

a) Etat des réalisations (visite de terrain)

Les plantations le long des berges ont grandi mais on constate quelques poches d'éclaircies dues aux agressions anthropiques. Selon l'agent de terrain ayant encadré la mise en œuvre du projet sur le terrain, le taux de survie est relativement élevé.

Le maraîchage et l'arboriculture ont disparu : tous les pieds d'espèces fruitières sont morts (294 plants au total), le seul manguier qui constituait une relique et qui produisait des fruits est mort cette année après que l'arbre ait été agressé.

b) Impacts

Sur le plan économique, ce projet, dans ses différentes composantes agricoles n'a pas généré d'impact positif durable ni au niveau du porteur, ni au niveau de la communauté. L'exploitation de la parcelle maraîchère n'a duré que 2 ans et s'est soldée par des pertes.

Le volet reboisement le long du fleuve a mieux réussi ; les impacts suivants sont notés (i) l'installation d'un microclimat aux abords, (ii) du fait du fort rayonnement solaire, le site peut servir d'escale de repos aux passants piétons qui parcourent parfois plusieurs km à pied pour se rendre dans les champs ou dans d'autres villages voisins, (iii) l'accès à certaines plantes médicinales, (iv) fonction de brise-vent. Mais, les habitants du village estiment que l'intérêt aurait pu être meilleur si les espèces plantées étaient fruitières.

c) Les causes d'un échec

La première illustration de cet échec c'est qu'aujourd'hui, au moment de la mission, le porteur du GIE était émigré en Mauritanie où il travaillait. Contrairement à ce qui a été annoncé, une seule personne répondait au nom du GIE bénéficiaire.

La faible implication de la communauté villageoise dans la mise en place des plants de reboisement et des activités génératrices de revenus, le suivi et la protection, a eu un impact négatif sur les résultats attendus et donc sur les futurs impacts : le projet est considéré comme une « propriété privée » d'une famille par les habitants du village qui n'y voyaient aucun avantage direct: « les vieux ne peuvent pas s'occuper des plantations. Or, les jeunes du village, s'ils ne

trouvent aucun intérêt financier immédiat, ne vont pas non plus se consacrer au gardiennage. Ils préfèrent voyager » rapporte le chef de village.

Les jeunes recrutés par le porteur du projet n'ayant pas été bien rémunérés ont fini par abandonner la surveillance laissant libre champ aux prédateurs.

Ensuite le manque d'eau pour l'arboriculture et le maraîchage dû au fait que le promoteur ne disposait pas d'une motopompe personnelle assez puissante et devait se rabattre sur celle du village dont la priorité était l'irrigation des parcelles rizicoles. Il devait donc acheter le carburant nécessaire alors que l'eau parvenait difficilement à ses parcelles. Dès lors, l'accès à l'eau était devenu une contrainte majeure au déroulement normal de ses activités.

S'y ajoutent les actes de vandalisme sur le grillage, l'agression par les éleveurs, le manque de moyens de surveillance et la divagation des animaux.

Projet de « Gestion intégrée des ressources naturelles de Fanaye » pour le compte du GPF : une réussite

Le groupement regroupe 530 membres dont 500 femmes et 30 hommes, répartis en sous-groupes. Le rôle des hommes se résume à un rôle d'appui.

a) *Activités réalisées par le projet selon les bénéficiaires*

Le micro-projet OMVS a été mis en œuvre en 2007 avec les réalisations suivantes :

Arboriculture (1 ha), pépinières, réparation motopompe, bassins pour arroser les pépinières, parcelle maraîchère (environ 5 ha). L'eau est tirée à partir du Ngallenka.

Les espèces d'arbres suivantes ont été plantées : citronniers, anacardier, acacia millefera, « nebedaye », papayers, « tabanaye », eucalyptus, gomme arabique, jujubier.

b) *Etat des réalisations (visites de sites et synthèse des discussions avec les bénéficiaires)*

Site de reboisement dominé par des citronniers qui produisent depuis quelques années et l'accacia millefera bien développé qui sert de clôture au périmètre. Les jujubiers sont morts après avoir été submergés par les eaux car plantés sur une partie facilement inondable du terrain. On dénombre aussi un pied de « tabanaye » et quelques pieds de « nebedaye ». Quelques pieds d'eucalyptus sont aussi présents.

En hivernage, l'arrosage des espèces arboricoles se fait une fois par semaine pour pallier l'insuffisance de la pluie.

Le périmètre maraîcher est quasi-inexploité en cette période de saison des pluies où seules quelques spéculations (bissap ou oseille d'ailleurs stressés par le manque d'eau) sont pratiquées sur quelques planches pour servir de condiments ou pour être vendues afin de pouvoir acheter des poissons pour les repas quotidiens.

c) *Contraintes rencontrées :*

- Panne fréquente de la motopompe ;
- Attaque de nématodes et d'insectes : on note ainsi de fréquentes maladies de la tomate depuis 3 à 4 ans ;
- Apparition de nouvelles herbes envahissantes ;
- Apparition de nouvelles maladies inconnues jusque-là. Il y a eu une alerte au niveau de l'ISRA et des prélèvements ont semblé-ils être effectués sans pour autant que les résultats soient publiés.

« Si le barrage n'empêchait pas l'eau salée de remonter vers ici, ces plantes ne se développeraient pas aussi facilement » rapporte un participant.

d) *Appréciation des résultats et des impacts*

Maraîchage : des impacts probants

Il est essentiellement pratiqué en saison sèche et l'eau nécessaire est puisée du Ngallenka grâce à une motopompe qui alimente les bassins.

Avant le projet, le groupement ne pouvait exploiter que 2,5 ha sur les 5 et mettait en location régulière le surplus. Les revenus tirés de cette location (50 000 FCFA /ha sans les autres types de services) lui permettaient de financer sa campagne maraîchère. Les femmes y cultivaient essentiellement des tomates et des oignons.

Avec le projet, toute la superficie est exploitée par les femmes et les revenus sont plus importants car le démarrage de la campagne se fait à temps puisqu'elles peuvent préfinancer les intrants. La campagne débute normalement entre le 15 octobre le 15 décembre. Les récoltes débutent en février pour se terminer en mai au plus tard. Dans le cas contraire, le risque d'importantes pertes est élevé.

En 2016/2017 au total 150 femmes ont participé à la campagne et les récoltes sont évaluées à 2 629 cageots par le groupement. La tomate, qui est la principale spéculation, est vendue à l'usine de transformation de la tomate (Agroline) au prix de 1 375 FCFA/cageot, soit donc un revenu brut global de plus de 3 600 000 FCFA duquel seront déduites les charges liées aux intrants, au carburant, à la redevance de l'eau... le bénéfice est partagé entre les membres.

La mise en œuvre du projet a eu des effets positifs bénéfiques dont les femmes sont fières :

- Renforcement de la capacité d'autonomie du groupement :

Avec les recettes générées par les activités maraîchères et arboricoles, le groupement autofinance l'achat d'engrais, les travaux offset /billon, les engrais dont l'accès est difficile pour ceux qui n'ont pas de contrat avec l'usine de transformation de tomates. Pour être autonome et se libérer des tracasseries de la banque, les femmes ont ouvert un compte d'épargne et de crédit afin de pouvoir financer les intrants agricoles.

- Augmentation des revenus des membres et accroissement du capital :

Avec les revenus générés par le maraîchage, les femmes achètent de petits ruminants et de la volaille qui vont constituer de l'épargne à utiliser en cas de besoin. En effet, les petits ruminants comme les ovins peuvent être revendus pendant les fêtes de Tabaski.

Ces revenus supplémentaires permettent également de payer les fournitures scolaires, d'améliorer les prises en charge sanitaires des membres du ménage, d'acquérir des biens durables et des effets vestimentaires : « avec les revenus que j'ai gagnés cette campagne-ci, j'ai acheté 2 « VIP » et des moutons dont je revendrai l'un pour les besoins de la fête de Tabaski qui se pointe » rapporte une participante.

En général, à la fin de la récolte, chaque membre du GPF a droit à un nombre de sacs de riz ou d'oignons qui lui permettent d'assurer une ration alimentaire de quelques mois.

Arboriculture

Tous les arbres plantés n'ont pas résisté. Seuls les citronniers ont commencé à produire des fruits qui sont cueillis pour être consommés ou vendus. Aucune estimation de ces revenus n'a été donnée.

Le projet « Agroforesterie » de l'association villageoise (GIE SALAMATOU) de Peulh Peulh Dioss : un espoir brisé

La lutte contre la désertification et l'amélioration des conditions des villageois dans le cadre d'un développement durable étaient les deux objectifs clé du projet. A terme, le projet a connu un échec avant d'être abandonné par le GIE.

La visite de site a révélé une très forte mortalité des espèces fruitières plantées : les manguiers, citronniers, bananiers, goyaviers sont tous morts. La clôture de barbelés avec des piquets en bois est très endommagée, tandis que la plantation d'acacia millefera (destinée à renforcer la clôture) est un échec. Le périmètre maraîcher est à l'abandon.

Appréciation des résultats et des impacts :

La mauvaise maîtrise de l'eau comme facteur essentiel de l'échec.

Maraîchage :

Les faibles résultats enregistrés pendant les premières campagnes ont découragé la majorité des participantes. La campagne d'oignons a généré une recette de 50 000 F CFA versée dans la caisse du groupement.

Arboriculture :

Dès que les citronniers ont commencé à produire, ils sont tous morts et il n'y a pas eu de récolte.

Les aspirations des bénéficiaires ont été déçues :

- « Si le projet avait bien marché, d'autres projets pouvaient venir en renforcement » ;
- « L'arbre est utile pour la brousse » ;
- « Le projet pouvait permettre de développer l'élevage » ;
- « le projet aurait pu permettre d'accroître les revenus, d'avoir de l'emploi, d'épargner pour l'autofinancement et produire le progrès ».

Les participants évoquent les difficultés d'exhaure de l'eau et de l'irrigation car, avec la chaleur, il faut arroser 2 fois par jour, ce qui était difficile à supporter par toutes les femmes malgré les tours de puisage et d'arrosage qui étaient organisés. Cette situation a eu un impact très négatif sur la survie des plantations d'acacia millefera qui devaient renforcer la clôture du périmètre. Ces difficultés ont été exacerbées par la divagation des animaux qui causaient des dégâts aux cultures.

L'impact de cet échec du projet a fait basculer les membres du GIE (surtout les femmes) dans une vulnérabilité totale. La majorité des jeunes qui travaillaient dans ce projet ont quitté le village pour regagner les villages à la recherche d'un mieux-être social.

D. Les microprojets en Mauritanie

Projet de « protection des terres cultivables » pour le compte de la Fedde Yelitaré de Aéré Goléré

Le projet a démarré timidement avec quelques activités maraîchères. Les femmes tirent le plus de profit de ce projet avec de petites parcelles dans lesquelles elles développent des spéculations comme l'oseille, la menthe, de la carotte, des aubergines. Ces activités leur permettent de tirer quelques revenus leur permettant de régler certains besoins sociaux.

Mais à l'heure actuelle on ne peut parler de réels impacts du projet chez les populations locales.

Projet de « Promotion de vulgarisation du biogaz » pour le compte de la coopérative féminine de Thidé

La coopérative compte actuellement plus de 200 membres et exploite un périmètre maraîcher de plus de 2 ha dont l'un des problèmes majeurs demeure le manque d'eau.

Le projet a installé 7 unités de biogaz dont 6 en béton et 1 en baril en 2007. Ces unités ont été mises en place par une ONG dite « AMAD » avec des maçons recrutés hors de la localité.

La participation des bénéficiaires consistait à collecter la bouse de vache, à fournir les matériaux locaux de construction et à fournir la main-d'œuvre d'appoint. Cela a duré 6 mois.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Visites de sites :

Sur les 7 installations, 5 ont complètement disparu, l'une est en très mauvais état et l'autre (en béton) conserve toujours son four et sa fosse mais n'a jamais fonctionné. Elles ont toutes été abandonnées.

Aperçu sur les causes d'un l'échec

Le manque de matières premières : les bouses de vaches ont été considérées comme un facteur d'échec car il fallait parcourir entre 4 et 7 km pour en trouver

Les vices de fabrication des fours empêchaient le gaz de s'accumuler.

Par-delà ces 2 limites objectives, la question de la démarche d'intervention peut se poser : en effet, l'ONG prestataire aurait disparu après les 6 mois pour aller s'implanter dans une autre zone qu'elle considère comme prioritaire et dotée d'usines de lait. Il n'y a pas eu de solutions alternatives à ce départ. L'implication plus forte de services techniques de l'Etat (Eaux et forêts, Environnement et Energie durable par exemple) aurait pu permettre de minimiser l'impact de ce départ sur la survie du projet. Toutefois, on ne saurait exclure une possible résistance culturelle à ce type d'énergie.

Cependant, les femmes continuent de réclamer une solution à leurs difficultés en combustibles.

Résultats attendus vs. résultats atteints :

- Résultats attendus : l'ensemble des bénéficiaires sont formés de manière à s'approprier toutes les techniques du biogaz ;
- Résultats atteints (bibliographie) : 25 unités seraient opérationnelles dans les foyers ; les femmes utiliseraient également l'effluent comme engrais biologique dans les périmètres maraîchers de la coopérative.

Commentaire de la mission

Ce projet devait permettre d'alléger les conditions de vie des femmes à travers la promotion de la vulgarisation du biogaz dans la zone du projet. Le processus d'installation des unités n'a même pas abouti car après les six mois d'essai pour conserver les fours, on n'a plus revu l'ONG qui était chargée d'accompagner les femmes dans le projet. Finalement les femmes ont abandonné le projet. Donc il n'y a pas eu d'impacts sur les populations de Thidé.

Projet de « Gestion des terres et de la désertification » pour le compte de la coopérative féminine EI Moucharaka de Rosso

Le village a connu une succession d'intervenants majoritairement dans le domaine des ressources naturelles.

Le projet avait pour objet de minimiser les causes de la dégradation. Les arbres plantés ont permis de fixer les dunes de sables afin de les empêcher d'envahir le village du PK 15. La coopérative n'a pas mené d'autres activités visibles sur le terrain. La formation prévue pour les bénéficiaires, l'achat d'essence, l'équipement d'un puits équipé de pompe solaire, la réalisation de pépinières et le reboisement ont pu se tenir. Certaines espèces locales plantées sur le site portent les stigmates d'agressions par le bétail parce qu'elles sont appréciées.

Aucun impact direct ou indirect n'a été relevé chez les populations lors de la mission de terrain.

6.2.2.4. Cadre institutionnel

La mise en œuvre du PMS a nécessité un attelage institutionnel allant de la mise en place des CNC à celle des CLC. Les rôles avaient bien été déclinés mais les moyens de leur implication n'avaient pas toujours été mobilisés à temps de telle sorte que cela a pu impacter sur le planning initial de déroulement des activités de financement des Organisations Communautaires de Base (OCB) bénéficiaires.

Sur le plan institutionnel, il faut dire que les microprojets avaient été élaborés et financés au profil des OCB, soit pour atténuer les impacts des changements climatiques, soit pour permettre aux bénéficiaires de mener des AGR. Il s'agissait d'associations villageoises, de groupements de promotion féminine, d'ONG ou bien de GIE. Dix ans après la mise en place des microprojets (2007 / 2008), certaines associations (45%) continuent de fonctionner alors que d'autres ont complètement disparu (55%).

Aucune des organisations bénéficiaires ne dispose d'équipement, de siège et encore moins de document de travail permettant de faire le suivi des activités.

Compte tenu du fait que la majorité de ces organisations ont été créées pour mettre en œuvre des microprojets, il reste clair que quand il n'y aura plus d'activités, les structures mises en place pour les exécuter disparaîtront. Les raisons évoquées pour justifier les problèmes de fonctionnement de ces organisations sont notamment:

- le manque d'intérêt, c'est le cas en Guinée où les associations bénéficiaires de CRD de Parawol Marga et de l'UVADEPE ne s'intéressent plus au projet parce qu'elles n'en tirent plus profit. Les arbres plantés ont certes atteint la maturité mais ils ne produisent pas pour permettre aux populations d'avoir des revenus ;
- l'échec du projet, nous prenons ici l'exemple des GIE «Dunka fa Ton» de Tematessou au Mali, Bamtaré Cali de Thialy Makka et Salamatou de Peul Dioss au Sénégal, Salamatou de Moucharaka en Mauritanie. La non fonctionnalité de ces organisations est imputable en grande partie à une gestion personnalisée sans aucune implication des autres membres de leur localité.

Il importe, par ailleurs de noter l'existence de quelques organisations qui continuent de mener des activités dans le cadre de projet PAGIRE 1. Il s'agit notamment de la coopérative de Diangounté Camara au Mali, du GIE de Gandé, du GPF de Fanaye au Sénégal, de Fedde Yelitaré de Aéré Goléré et du GPF de Thidé en Mauritanie. Certaines de ces associations continuent de mettre en œuvre les activités du projet et en tirent un intérêt alors que d'autres continuent de fonctionner dans d'autres domaines. Pour le second groupe, l'échec ou les difficultés rencontrées dans le cadre du projet ne leur ont pas empêché de fonctionner et le dynamisme de leur groupe a été maintenu.

6.3. CONCLUSION SUR L'EVALUATION DE LA PREPARATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les quatre Etats du BFS se sont déjà préparés à travers le Programme d'action national aux fins de l'adaptation (PANA) à l'atténuation et à l'adaptation. Ils travaillent maintenant à l'élaboration des Plans Nationaux d'Adaptation (PNA). Les PNA, lorsqu'ils seront disponibles, seront les documents de référence en matière d'adaptation.

Les Nations Unies expliquent⁵⁴ que « *Les programmes d'action nationaux aux fins de l'adaptation (PANA) ont été élaborés pour répondre aux besoins urgents et immédiats des PMA. Ils ont été conçus pour servir de canal: par leur biais, les PMA pouvaient avoir rapidement accès à une aide et bénéficier de mesures gagnant-gagnant leur évitant des dommages plus importants et une mise en œuvre future plus coûteuse. Les PANA ont été élaborés il y a plus de 10 ans, à une époque où de nombreux PMA se voyaient soudainement affectés, de manière inédite ou aggravée, par une vulnérabilité accrue aux inondations, à la sécheresse et à d'autres effets nocifs des changements climatiques. Depuis, de nouvelles données scientifiques émanant du GIEC ont permis de mieux cerner le phénomène des changements climatiques ainsi que leurs impacts et de nombreux PMA ont commencé à sensibiliser leur population et à renforcer leurs capacités de planification de l'adaptation sur le moyen et le long terme. Le processus PNA est lui conçu pour permettre aux PMA d'adopter une approche plus réfléchie et de viser une transformation évolutive de leurs capacités d'adaptation. Une approche sur le moyen et le long terme s'impose pour réduire la*

⁵⁴ Nations Unies, Convention-Cadre sur le changements climatiques (2012) : Plans Nationaux d'Adaptation – Directives techniques pour le processus des plans nationaux d'adaptation.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques

R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

vulnérabilité aux effets nuisibles des changements climatiques; celle-ci doit être intégrée aux processus et stratégies nationaux de planification du développement. Dans ce contexte, le processus PNA s'appuiera sur les succès enregistrés et les leçons tirées du processus PANA. Parmi ceux-ci figurent la création d'un cadre institutionnel spécifique, le renforcement des capacités, les efforts de sensibilisation et les évaluations.

Le processus PNA a été conçu pour faciliter les différentes démarches et intégrer pleinement les défis liés aux changements climatiques aux processus de planification et de prise de décision. Il couvre toutes les étapes indispensables au développement des connaissances nécessaires pour soutenir la prise de décision ainsi qu'au renforcement des capacités destiné à faciliter toutes les actions pertinentes dans le cadre d'un processus stratégique de planification de l'adaptation maîtrisé par les pays. À l'instar de tout processus de planification, le processus PNA peut aboutir à différents résultats en fonction des étapes considérées, parmi lesquels des plans, programmes et politiques d'adaptation détaillés au niveau national. La structure et le format de ces plans nationaux d'adaptation varieront d'un pays à un autre et peuvent inclure des plans sectoriels ou infranationaux, destinés à apporter les orientations nécessaires à la couverture des besoins en matière d'adaptation, là où ils se font les plus pressants. »

Il est clair que les mesures à prendre sur le BFS doivent être compatibles avec les mesures préconisées dans les PANA (qui portaient surtout sur le court terme) et surtout dans les PNA (qui porteront sur le moyen et long terme). Néanmoins, il est très important d'insister sur le fait que les changements climatiques ne sont pas les seuls responsables des grandes difficultés rencontrées par les populations locales. Comme le ressentent 98% des personnes consultées, les désordres observés seraient avant tout provoqués par la pression abusive des populations locales sur l'environnement avec notamment les coupes abusives de bois et les cultures au niveau des berges entraînant un ensablement des cours d'eau.

Ce ressenti, qui recoupe les observations de terrain signifie, que les changements climatiques viennent exacerber les problèmes systémiques liés à une inadéquation entre ce que l'environnement peut donner et ce qu'on lui demande.

Les mesures d'adaptation ne doivent donc pas être limitées aux seuls impacts des changements climatiques mais doivent être en mesure de résoudre un problème beaucoup plus global lié avant tout à la croissance très rapide de la population et aux nécessaires mutations qui doivent l'accompagner.

7. CONCLUSION SUR LA VULNERABILITE DU BASSIN DU FLEUVE SENEGAL AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le bassin du fleuve Sénégal est soumis depuis les années 1970 à des variations climatiques notables qui se sont d’abord manifestées par une sécheresse sévère qui s’est prolongée jusqu’en dans les années 1990.

La pluviométrie s’est redressée depuis la fin des années 1990 sans pour autant retrouver les hauteurs de précipitations observées avant les années 1970. Mais, depuis quelques années, il est observé un raccourcissement de la saison des pluies doublé d’un caractère aléatoire marqué des précipitations. Les quelques mois où il pleut, les précipitations sont plus intenses provoquant des crues et des inondations.

Les prédictions climatiques suggèrent que d’ici 2050 les précipitations totales annuelles seront peu affectées par rapport à ce qui a été observé sur les années 1990-2010 et suggèrent la pérennité du raccourcissement de la saison pluvieuse. Entre 2050 et 2100 les prédictions suggèrent une légère diminution des précipitations totales annuelles ; on retrouverait des totaux de l’ordre de ceux observés sur la période 1970-2010.

Cette situation erratique observée depuis les années 1970 est très dommageable pour les populations. Il devient très compliqué de pratiquer l’agriculture pluviale. Des récoltes sont perdues, soit parce que la période pour semer n’était pas bien calée, soit parce que la saison sèche arrive trop vite, soit parce que des plantations sont détruites par les inondations.

Néanmoins, les simulations hydriques montrent que, à l’aval des barrages-réservoirs, la demande en eau prélevée dans les cours d’eau devrait être globalement satisfaite jusqu’en 2050, les réservoirs venant compenser la mauvaise répartition des précipitations. Toutefois, ceci se fera au détriment de la culture de décrue.

Ces problèmes de variations climatiques, qu’on peut assimiler aux changements climatiques, viennent exacerber une situation de pression anthropique mal maîtrisée et très dommageable pour l’environnement. La très forte croissance démographique observée en Afrique et particulièrement dans les quatre Etats du BFS, sans qu’une mutation socio-économique n’ait été opérée dans le même temps, conduit à une situation de désespoir. Les populations sollicitent plus que de raison l’environnement avec, pour conséquences, une déforestation massive (charbon de bois), la déstabilisation des cours d’eau par la mise en culture systématique des berges, conduisant à leur ensablement, l’empoisonnement des cours d’eau par l’exploitation minière et par la pêche selon des méthodes illicites, des conflits mal maîtrisés entre les éleveurs et les agriculteurs, etc.

La conjonction des changements climatiques et de la pression anthropique non maîtrisée a des conséquences désastreuses sur l’environnement et sérieuses sur l’équilibre socio-économique des Etats. Dans ces conditions la vulnérabilité des populations est très élevée.

Il est urgent d’opérer une mutation socio-économique qui permette de mieux maîtriser la production des biens dans le respect de l’environnement. Il importe de mettre en place un développement durable. Même si leurs impacts sont une réalité, les grands ouvrages hydrauliques de l’OMVS participent de cette mutation. Ils permettent notamment de réguler l’écoulement des eaux de surface, de produire de l’électricité, d’irriguer des casiers agricoles, de développer la pêche et de faciliter la navigation. Afin d’en atténuer les impacts, la mise en place de ces ouvrages et leur exploitation doivent être accompagnée d’un plan de gestion environnemental et social (PGES). A l’échelle locale, mais susceptibles de produire un effet d’entraînement à l’échelle globale, les microprojets de l’OMVS peuvent et doivent également participer à cette nécessaire mutation en permettant aux populations de se mobiliser autour de projets viables et durables.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE

Les impacts des premiers ouvrages de l'OMVS ont été maîtrisés (par ex. les maladies hydriques) ou doivent encore l'être (par ex. les plantes aquatiques envahissantes). Il importe de tenir compte du retour d'expérience de ces premiers ouvrages pour la suite de l'aménagement du bassin. Il importe également d'analyser les raisons des succès et des échecs des microprojets et, avec ce retour d'expérience, lancer de nouveaux microprojets corrigés des erreurs des premiers.

oOo

ANNEXE 1

COMPTES-RENDUS DES REUNIONS AVEC LES COMITES NATIONAUX DE COORDINATION (CNC)

A.1.1

GUINEE

A.1.2

MALI

A.1.3

MAURITANIE

A.1.4

SENEGAL

ANNEXE 2

COMPTES-RENDUS DES REUNIONS AVEC LES COMITES LOCAUX DE COORDINATION (CLC)

A.2.1

GUINEE

A.2.2

MALI

A.2.3

MAURITANIE

A.2.4

SENEGAL

ANNEXE 3
DOCUMENTATION DU SYSTEME
HYDROLOGIQUE SPEED

LOGICIEL

SPEED (APPORTS)

SYSTÈME PROBABILISTE D'ÉTUDES PAR ÉVÉNEMENTS DISCRETS

APPLICATIONS

Toutes études hydrologiques d'aménagement en rivière. Les données de base peuvent être abondantes (les résultats seront alors précis) ou inexistantes (SPEED comporte dans ce cas une analyse régionale des pluies et des débits et sait exploiter les résultats). Le niveau d'étude peut aller de l'expertise rapide à l'étude détaillée.



DESCRIPTION

Le système SPEED est constitué d'un ensemble de logiciels permettant d'effectuer des simulations probabilistes dans le cadre de la théorie du Processus de Poisson et de la Théorie de l'Echantillonnage, selon une méthodologie mise au point par Artelia.

Son objectif est de déterminer des maxima annuels ou périodiques, des totaux annuels ou autres et leurs fréquences d'occurrence.

Le but de SPEED (APPORTS) est d'estimer des valeurs de pluie et/ou de débits (volumes ou lames d'eau) de projet qui sont nécessaires au dimensionnement optimal d'aménagements en rivière (réservoirs de stockage, volumes liquides disponibles pour l'alimentation en eau, l'irrigation, la production d'énergie, etc.).

SPEED assure à la fois l'efficacité des études, la fiabilité des résultats, et leur meilleure précision compte tenu des observations disponibles.

Les résultats sont les valeurs de projet associées à une probabilité donnée.



ARTELIA - EBD - EE - Logiciel SPEED (APPORTS) - Photos - ARTELIA | EDITION 11_2013 FR 1



■ LOGICIEL

SPEED (APPORTS)
 SYSTÈME PROBABILISTE D'ÉTUDES
 PAR ÉVÉNEMENTS DISCRETS

QUELQUES RÉFÉRENCES

- O. Cayla et J. C. Carré
 "Analyse probabiliste régionale de la pluviométrie extrême en France métropolitaine", Evénements extrêmes fluviaux et maritimes, SHF - Paris 1-2 février 2012.
- O. Cayla
 "Probability calculation of design floods - SPEED" (calcul probabiliste des crues de projet), ASCE Hydraulics Division, Engineering Hydrology, San Francisco, juillet 1993.
- J.P. Broch et O. Cayla
 "Probalistic regional analysis" (synthèse régionale probabiliste), Hydropower 92, Lillehammer, Norvège, juin 1992.
- O. Cayla
 "L'information hydrologique et son traitement pour des projets hydroélectriques", Colloque sur "L'avenir de l'hydroélectricité au Cambodge, au Laos et au Vietnam", Vientiane, Laos, octobre 1992.
- J.P. Broch (Norvège)
 "Probalistic flood calculations in small catchment areas" (mémoire de fin d'études) - Hovedoppgave Ved Institutt for Vassbygging, Norges Tekniske Hogskole, Décembre 1991.
- O. Cayla et al
 Conférence internationale sur les ressources en eau en régions montagneuses, Lausanne, août 1990.
 - modélisation des petits bassins versants au moyen de lois probabilistes : exemple des crues,
 - seuil jaugeur adapté aux petits bassins versants à fort transport solide,
 - synthèse régionale pluviométrique en région montagneuse.

ANNEXE 4

BIBLIOGRAPHIE

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

N°	Référence
1	OMVS (2002) : Charte des eaux du Fleuve Sénégal.
2	République du Mali : Ministère de l'Equipement et des Transports, Direction Nationale de la Météorologie. Programme d'Action National d'adaptation aux changements climatiques ; juillet 2007.
3	République de Guinée : mise en œuvre en Guinée du programme de micro-subvention du GEF/BFS ; août 2008.
4	République du Mali : Panorama de la mise en œuvre du programme de micro-subvention au Mali ; 2004-2008.
5	République de la Mauritanie : les fiches projets de la phase 1.
6	République du Sénégal : les fiches projets de la phase 1.
7	OMVS. Rapport final d'activités du projet GEF/BFS/OMVS de 2004-2008 ; septembre 2008
8	République du Sénégal Ministère de l'environnement et de la protection de la nature : plan d'action national pour l'adaptation aux changements climatiques ; 2006.
9	Ministère de l'environnement et du Développement durable ; Direction de l'environnement et des Etablissements classés : Troisième Communication nationale du Sénégal à la Convention Cadre des Nations Unies sur les CC, juillet 2015.
10	Ministère de l'environnement et du Développement durable. Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN), septembre 2015.
11	République du Mali. Ministère de l'environnement et de l'assainissement. Stratégie Nationale Changements Climatiques, version 3, juillet 2011.
12	OMVS : Programme de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement des Usages Multiples du Bassin du fleuve Sénégal (PGIRE): Evaluation d'impact du programme de gestion intégrée des ressources en eau et de développement des usages multiples dans le bassin du fleuve Sénégal (PGIRE I) et établissement de la situation de référence du PGIRE II. RAPPORT FINAL ; mai 2017.
13	OMVS :Projet de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement des Usages Multiples du Bassin du fleuve Sénégal (PGIRE), Rapport d'Achèvement (RdA) du PGIRE 1 ; juillet 2013.
14	SENAGROSOL-CONSULT: Projet de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement des Usages Multiples du Bassin du fleuve Sénégal (PGIRE). Étude d'actualisation de la pêche et de l'aquaculture dans les cercles de Kayes et de Bafoulabé au Mali. Rapport final, juillet 2009.
15	SONED-Afrique/ SCET-Rim. Projet de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement des Usages Multiples du Bassin du fleuve Sénégal (PGIRE). Etude pour la caractérisation (état des lieux) de la pêche et de l'aquaculture continentales et élaboration d'un plan de développement pour les sites retenus dans les Wilayas de Gorgol et Trarza, République Islamique de Mauritanie. Rapport définitif. Avril 2010.
16	République de Guinée. Ministère de la Pêche et de l'aquaculture: Rapport sur l'étude de Caractérisation de la pêche continentale dans la zone du bassin du fleuve Sénégal.
17	UEMOA. Atlas de l'enquête-cadre de la pêche continentale au Mali.
18	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) : Situation économique et sociale du Sénégal en 2014 ; août 2017.
19	Service Régional de la Statistique et de la Démographie de Kédougou : Situation économique et sociale régionale 2014.
20	Service Régional de la Statistique et de la Démographie de Louga : Situation économique et sociale régionale 2014.
21	Service Régional de la Statistique et de la Démographie de Matam : Situation économique et sociale régionale 2014.
22	Service Régional de la Statistique et de la Démographie de Saint-Louis : Situation économique et sociale régionale 2014.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

23	Service Régional de la Statistique et de la Démographie de Tambacounda : Situation économique et sociale régionale 2014.
24	République Islamique de Mauritanie ,Ministère des affaires économiques et du développement, Office National de la Statistique : Annuaire statistique 2014.
25	République Islamique de Mauritanie, Ministère de l'économie et des finances, Office National de la Statistique : Annuaire statistique 2016.
26	République Islamique de Mauritanie, Ministère des affaires économiques et du développement, Office national de la Statistique : Profil de la pauvreté en Mauritanie en 2014. Août 2015
27	République du Mali, Ministère de l'aménagement du territoire et de la population, Institut National de la Statistique : annuaire statistique du Mali 2014 ; édition de décembre 2015.
28	Groupe d'Etudes de Recherches et d'Appui au Développement (GERARD) : Etude diagnostique des secteurs économiques porteurs et espaces économiques partagés dans la région de Kayes, Mali. Rapport final, mars 2012.
29	Projet de Mobilisation des Initiatives en matière de Sécurité Alimentaire au Mali (PROMISAM). Région de Kayes, Cercle de Diéma : Synthèse des plans de sécurité alimentaire des communes du cercle de Diéma 2007-2011.
30	République de Guinée, Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts, Direction Nationale des Eaux et Forêts, annuaire des statistiques forestières 2004-2013, novembre 2015.
31	République de Guinée, Ministère du Plan et de la Coopération Internationale, Institut National de la Statistique. Annuaire statistique 2014, juin 2016.
32	République de Guinée, Ministère du Plan. Institut National de la Statistique. Enquête Légère pour l'Evaluation de la Pauvreté, ELEP-2012. Rapport final, décembre 2012.
33	République de Guinée, Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et des Eaux et Forêts, Service National des Statistiques Agricoles. Recensement national de l'agriculture.
34	République de Guinée, Campagne Agricole 2000-2001, Rapport général, volume 1 : Rapport général des principaux résultats du recensement.
35	République de Guinée. Décret n° D/2015/229/PRG/SGG/portant publication des résultats définitifs du 3 ^e RGPH réalisé du 1 ^{er} mars au 2 avril 2014.
36	Funk, C., Rowland, J., Adoum, A., Eilerts, G., Verdin, J. and White, L. (2012). A Climate Trend Analysis of Senegal, U.S. Geological Survey Fact Sheet 2012 3123, 4 pages.
37	Gaye, A. T., Lo H. M., Sakho-Djimbira S., Fall M. S. et Ndiaye I. (2015). Sénégal: Revue du contexte socioéconomique, politique et environnemental, Le programme de recherche du projet Promouvoir la Résilience des Economies en zones Semi-Arides (PRESA), IED Afrique, 88 pages.
38	République de Guinée, (2015) : Contribution prévue déterminée au niveau national (CPDN) au titre de la Convention des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) ; 15 pages.
39	République de Guinée, Ministère de l'Environnement (2006) : synthèse des études de vulnérabilité adaptation du secteur foresterie aux changements climatiques en guinée ; 40 pages.
40	République de Guinée, Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage, de l'Environnement, des Eaux et Forêts (2007) : Plan d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA) de la république de Guinée ; 118 pages.
41	République de Guinée, Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts (2015) : Evaluation des systèmes agricoles dans les préfectures du projet REMECC-GKM ; 95 pages.
42	République islamique de Mauritanie(2015) : Contribution prévue déterminée au niveau national de la Mauritanie à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) ; 12 pages.
43	République islamique de Mauritanie(2004) : Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA-RIM) ; 72 pages.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

44	République islamique de Mauritanie(2014) : Stratégie et Plan d'Action de mise en œuvre de l'Initiative de la Grande Muraille Verte en Mauritanie ; 17 pages.
45	République islamique de Mauritanie(2014) : Plan d'Action National pour l'Environnement 2012-2016.
46	République du Mali (2007): Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques ; 100 pages.
47	République du Mali (2007): Contribution prévue déterminée au niveau national (CPDN) ; 24 pages.
48	Cercle de Bafoulabé(2006) : Synthèse des plans de sécurité alimentaire 2007-2011 des communes du cercle de Bafoulabé ; 11pages.
49	Cercle de Diéma (2006) : Synthèse des plans de sécurité alimentaire 2007-2011 des communes du cercle de Diéma ; 21 pages.
	Région de Kayes (2012) : Programme de Développement de la Région de Kayes ; 40 pages.
50	République du Sénégal (2015) : Contribution prévue déterminée au niveau national (CPDN) ; 19 pages.
51	République du Sénégal (2015) : Programme d'Action National pour l'Adaptation aux changements climatiques ; 84 pages.
	République du Sénégal (2015) : Troisième communication nationale du Sénégal ; 267 pages.
52	OMVS (Mai 2017) : Evaluation d'impact du programme de gestion intégrée des ressources en eau et de développement des usages multiples dans le bassin du fleuve Sénégal (PGIRE I) et établissement de la situation de référence du PGIRE II ; 220 pages.
53	OMVS (novembre 2013) : Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES) des investissements du PGIRE II, Rapport final ; 268 pages.
54	OMVS (2017) : Plan d'Action Stratégique de Gestion des Problèmes Environnementaux Prioritaires du Bassin du Fleuve Sénégal 2017-2037 ; 94 pages.
55	OMVS (2016) : Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière du Bassin du Fleuve Sénégal ; 195 pages.
56	OMVS (2016) : Mesures d'atténuation des impacts de l'aménagement de Félou sur l'environnement et mesures d'accompagnement et de suivi ; 69 pages.
57	OMVS (février 2013) : Actualisation de l'Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES) ; 327 pages.
58	OMVS (2009), SCP-CG-GINGER-CSE : SDAGE du Fleuve Sénégal – Phase 1 – Etat des lieux et diagnostic ; 443 pages.
59	OMVS (2010), SCP-CG-CSE : SDAGE du Fleuve Sénégal – Phase 2 – Schéma sectoriels ; 293 pages.
60	OMVS (2010), SCP-CG-CSE : SDAGE du Fleuve Sénégal – Etude complémentaire – Elaboration d'un modèle de gestion de ressource - Rapport intermédiaire : Présentation des hypothèses ; 28 pages.
61	OMVS (2011), SCP-CG-CSE : SDAGE du Fleuve Sénégal - Phase 3 – Schéma Directeur ; 138 pages.
62	OMVS (2011), SCP-CG-CSE : SDAGE du Fleuve Sénégal - Phase 3 – Annexes ; 88 pages.
63	OMVS (2013), BRL – Eau Vive : SDAGE du Fleuve Sénégal – Phase 3 – Guide de vulgarisation ; 45 pages.
64	Tamsir Ndiaye (OMVS), Jean-Marc Philip (SCP) – SDAGE du fleuve Sénégal – Présentation lors du RIOB, Dakar, 21 janvier 2010
65	Lamagat J.P., Bader J.C., (2003), Gestion intégrée des ressources en eau du bassin du Sénégal – Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Patrick Le Goulven, Sami Bouarfa, Marcel Kuper. Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irriguées) sur la Gestion Intégrée de l'Eau au Sein d'un Bassin Versant, 2003, Montpellier, France. Cirad – IRD - Cemagref, 14 p, 2005. <cirad-00178260>

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

66	Bader J.C., Lamagat J.P., Guichen N., (2003), Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal: analyse quantitative d'un conflit d'objectifs. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 48(4) août 2003 ; 14 pages.
67	A.B. Baldé, Müller B., Ndfiaye O., Stuerze S., Sow A., Diack B.S., Changement climatique dans la vallée du fleuve Sénégal : Implications sur les systèmes de culture du riz irrigué. XXVII ^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 2-5 juillet 2014, Dijon (France) ; 5 pages.
68	Boinet M.E., La gestion intégrée des ressources en eau du fleuve Sénégal : bilan et perspectives – Mémoire de stage, promotion 2011, Université Paris Sud XI
69	Ndèye Aïda Thiam, Allocation optimale de l'eau dans le bassin versant du fleuve Sénégal. Mémoire de thèse, 2016, Université Laval, Québec, Canada ; 84 pages.
70	OMVS – SOGED (2015), Levés topographiques annuels du barrage de Diama ; 29 pages.
71	OMVS (1974) ORSTOM : Monographie du fleuve Sénégal
72	OMVS (2013), SCP-IRD-IDEV, Actualisation de la Monographie du fleuve Sénégal, Rapport final ; 852 pages.
73	OMVS (2015), IRD-SCP-IDEV, UMR G-EAU, Bader J.C. éditeur : Monographie hydrologique du fleuve Sénégal, De l'origine des mesures jusqu'en 2011 ; 80 pages.
74	OMVS (2013), SCP-IRD-IDEV, Etude d'évaluation des inondations dans le bassin du fleuve Sénégal, Rapport final.
75	OMVS (2007), AFD-OMM, Sénégal-HYCOS, Document de Projet préliminaire, Une composante du WHYCOS ; 53 pages.
76	OMVS (2012), AFD-OMM, Sénégal-HYCOS, Document de Projet, Une composante du WHYCOS ; 110 pages.
77	OMVS, DHI – Tropis, Atelier régional de restitution des résultats de l'Etude sur la modélisation Pluies-Débits d'un système d'alerte précoce dans le haut bassin du fleuve Sénégal, Présentation faite à Conakry/Guinée du 14 au 16 juillet 2008 ; 26 pages.
78	OMVS (2013), DHI – Tropis, Projet de gestion des ressources en eau et de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal, Projet GEF/BFS, Etude sur la modélisation pluies/débits et la conception d'un système d'alerte précoce contre les inondations dans le haut bassin du fleuve Sénégal
79	DGPRES (2007) - AAD, FAE – Projet de la mise en œuvre du plan d'action GIRE du Sénégal – Rapport d'évaluation ; 39 pages.
80	Sall M., Tall S.M., Tandian A., Samb Al A., Changements climatiques, stratégies d'adaptation et mobilités. Evidence à partir de quatre sites au Sénégal. IIED. Human Settlements Working Paper Series. Rural-Urban Interactions and Livelihood Strategies – 33 ; 49 pages.
81	DGPRES (2007), Plan d'actions de gestion intégrée des ressources en eau du Sénégal
82	DGPRES (2011), IDEV-COWI, Étude du Projet de mise en œuvre du Plan d'Action de Gestion Intégrée des Ressources en Eau du Sénégal - Rapport de restitution de tous les résultats
83	Ardoïn-Bardin S., Dezetter A., Servat E., Mahe G., Paturol J.E., Dieulin C., Casenave L., (2005) - Évaluation des impacts du changement climatique sur les ressources en eau d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Regional Hydrological Impacts of Climatic Change— Hydroclimatic Variability (Proceedings of symposium S6 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 296, 2005.
84	Madiodio Niasse (2005) : Prévenir les conflits et promouvoir la coopération dans la gestion des fleuves transfrontaliers en Afrique de l'Ouest, Vertigo – la revue électronique en environnement, Vol. 5, N°1 / mai 2004, Energie et environnement ; 25 pages.
85	Madiodio Niasse (2007) : Programme Adaptation au Changement Climatique en Afrique – Eléments de stratégie régionale d'adaptation au changement climatique basée sur l'approche de partage des risques – Afrique de l'Ouest ; 62 pages.
86	Krupnik T.J. et al., FAO (2012) : Améliorer la production du riz irrigué dans la vallée du fleuve Sénégal à travers l'innovation et l'apprentissage par l'expérience ; 28 pages.
87	Faye Cheikh, 2015, Impact du changement climatique et du barrage de Manantali sur la

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

	dynamique du régime hydrologique du fleuve Sénégal à Bakel (1950-2014), BSGLG, 64, 2015, 69-82 ; 14 pages.
88	USGS, USAID, FEWSNET (2012) Famine Early Warning Systems Network— Informing Climate Change Adaptation Series – A climate trend analysis of Senegal, Fact Sheet 2012-3123 ; 4 pages.
89	Diallo M.D. Point focal GIRE/Guinée (2015), Mise en œuvre de la GIRE transfrontalière dans le contexte guinéen
90	OMVS (2009) – CG, Appui à la gestion de la ressource en eau du fleuve Sénégal – Mise en place du Tableau de Bord de la Ressource, 4 Documents de formation ; 48 pages ; 60 pages ; 16 pages ; 15 pages.
91	OMVS (1998) – ORSTOM, Etudes de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS – Phase 1 – Rapport de synthèse
92	OMVS (2001) – IRD, Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs, Formation des gestionnaires de la retenue de Diama, Manuel de gestion du barrage de Diama, OMVS-SOGED ; 2 documents : 59 pages ; 117 pages.
93	OMVS – IRD (1999), Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs, Phase II, Synthèse et annexes.
94	OMVS – IRD (1999), Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs, Phase II, Manuel des consignes de gestion.
95	OMVS – IRD (1999), Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs, Phase II, Note sur la consigne de gestion du barrage de Manantali, relative au laminage des crues exceptionnelles de la rivière Bafing ; 10 pages.
96	OMVS (2000) - IRD, Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs, Phase III, Rapport intermédiaire ; 156 pages.
97	OMVS (2000) - IRD, Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs, Phase III, Etalonnages Kayes, Gourbassi, Bakel ; 41 pages.
98	OMVS (2006) – IRD, SIMULSEN : Logiciel de simulation de gestion d'un barrage à objectifs multiples, au pas de temps journalier. Manuel de référence et d'utilisation des versions DOS et Windows XP de décembre 2005.
99	OMVS (2002) – IRD, PROGEMAN : Logiciel d'aide à la gestion en temps réel du barrage de Manantali.
100	Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés, Sénégal (2007) – Gora Ndiaye, Projet appui capacités d'adaptation aux changements climatiques, Rapport provisoire de consultation ; 47 pages.
101	Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés, Sénégal (2012) – UNEP, GEF, ENDA : Evaluation des Besoins Technologiques (EBT) et plans d'Action Technologiques (PAT) aux fins d'adaptation aux effets du changement climatique ; 266 pages.
102	OMVS (2005) Bah Ould Sid'Ahmed, Projet GEGF / Bassin Fleuve Sénégal – Projet de rapport national d'analyse transfrontalière du bassin du fleuve Sénégal : Mauritanie ; 43 pages.
103	OMVS (2008) – Cellule nationale OMVS de Guinée, Projet GEF/BFS, La mise en œuvre en Guinée du programme de micro subvention du GEF/BFS ; 17 pages.
104	OMVS (2008) – Cellule nationale OMVS du Mali, Projet GEF/BFS, Panorama de la mise en œuvre du programme de micro-subventions au Mali 2004-2008 ; 45 pages.
105	OMVS (2008) – Cellule nationale OMVS de Mauritanie, Projet GEF/BFS, Fiches des microprojets ; 12 fiches de 1 page.
106	OMVS (2008) – Cellule nationale OVS du Sénégal, Projet GEF/BFS, Fiches de microprojets ; 13 fiches de 1 page.
107	Ahmed Salem Mohamed (2012). Approches géochimique et hydrodynamique de la recharge de la nappe du Trarza, Sud-Ouest de la Mauritanie. Sciences de la Terre. Université Paris Sud - Paris XI, 2012 ; 181 pages.
108	Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique – République du Sénégal (2005), Arrêté

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

	Ministériel portant création, organisation et fonctionnement du Comité National de Coordination des Projets de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal ; 3 pages.
109	OMVS (2005) – Nampaa N. SANOGHO : Rapport national final d'analyse diagnostique environnementale transfrontalière du bassin du fleuve Sénégal – Mali ; 58 pages.
110	OMVS (2007) : Projet FEM/BFS, Composante 3, Analyse Diagnostique Environnementales Transfrontalière (ADT) du Bassin du Fleuve Sénégal – Synthèse Régionale ; 139 pages.
111	OMVS (2008) : Plan d'Action Stratégique (PAS) de gestion des problèmes environnementaux prioritaires du Bassin du Fleuve Sénégal ; 133 pages.
112	OMVS (2017) – Madiodio Niasse, Analyse diagnostique Environnementale Transfrontalière du Bassin du Fleuve Sénégal – ADT 2016 - Rapport final ; 195 pages.
113	OMVS (2017) – Madiodio Niasse, Plan d'Action Stratégique de gestion des problèmes environnementaux prioritaires du Bassin du Fleuve Sénégal 2017-2037 – PAS 2016 – Version finale ; 94 pages.
114	OMVS (2017) – AIDF-CSE-CRDS, Evaluation d'impact du programme de gestion intégré des ressources en eau et de développement des usages multiples dans le bassin du fleuve Sénégal (PGIRE I) et établissement de la situation de référence du PGIRE II, Rapport final ; 220 pages.
115	République de Guinée (2015) : Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN) au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) ; 15 pages.
116	République du Mali (2015) : Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN) au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) ; 24 pages.
117	République Islamique de Mauritanie (2015) : Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN) au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) ; 12 pages.
118	République du Sénégal, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (2006) : Plan d'action national pour l'adaptation aux changements climatiques ; 84 pages.
119	République du Sénégal, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (2015) : Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN) ; 19 pages.
120	République du Sénégal, Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (2016), Malou R., Cisse B., Contribution Déterminée Nationale (CDN) – Etudes de vulnérabilité du secteur des ressources en eau dans le cadre : volet adaptation, Rapport provisoire ; 26 pages.
121	République du Sénégal, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (2016) – MEDD/DEEC/COMNACC : Atelier de haut niveau sur le renforcement des capacités des décideurs - Echanges avec les ministères sectoriels sur la CPDN/CDN ; 34 pages.
122	GAC J.Y., Carn M., Evora N, Cogels F.X., Coly A (1992) : Fonctionnement et bilan hydrologique du lac de Guiers en 21991 – Projet CEE (EQUESEN) TS 0198 F EDB ; 56 pages.
123	Cogels F.X., Gac J.Y. (1982), Le lac de Guiers : Fonctionnement, bilans hydriques, Evaporation d'une nappe d'eau libre en zone sahélienne (Sénégal), Cah. ORSTOM, sér. Géol., vol XII, n°1, 1981-1982 : 41-60 ; 20 pages.
124	ARDOIN-BARDIN Sandra (2004) : Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne – Thèse de doctorat de l'Université Montpellier II ; 440 pages.
125	MALOU Raymond (2004) : Impact du climat sur les ressources en eau en zone soudano-sahélienne (Sénégal) ; Thèse es Sciences, Université Cheikh Anta Diop – Dakar ; 148 pages.
126	CISSE Boubacar (2011) : Les eaux de drainage des périmètres irrigués du Delta du fleuve Sénégal : systèmes d'évacuation et qualité des eaux ; Thèse de doctorat de troisième cycle de géographie, Université Cheick Anta Diop-Dakar ; 310 pages.

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

127	KANE Coura (2010) : Vulnérabilité du système socio-environnemental en domaine sahélien : l'exemple de l'estuaire du fleuve Sénégal – De la perception à la gestion des risques naturels ; Thèse de doctorat de l'Université de Strasbourg et de l'université Cheikh Anta Diop - Dakar ; 318 pages.
128	SALL Moussa (2006) : Crue et élévation du niveau marin à Saint-Louis du Sénégal : impacts potentiels et mesures d'adaptation ; Thèse de doctorat de l'Université du Maine ; 332 pages.
129	GNING Abdoul Aziz (2015) : Etude et Modélisation Hydrogéologique des Interactions Eaux de Surface-Eaux Souterraines dans un Contexte d'Agriculture Irriguée dans le Delta du Fleuve Sénégal ; Thèse de doctorat, Université de Liège et Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; 259 pages.
130	GUEYE Souleymane (1999) : Etude de l'évolution de la région du lac de Guiers – Apports de la télédétection au suivi du milieu ; Mémoire de maîtrise, Université Gaston Berger ; 114 pages.
131	OMVS (1997) – Babacar DIENG, EIER Ouagadougou : Synthèse et analyse de données hydrogéologiques de la moyenne vallée du fleuve Sénégal ; 42 pages.
132	Babacar DIENG, EIER Ouagadougou (1999) : Impact des barrages de Diama et Manantali sur les nappes de la vallée du fleuve Sénégal ; 8 pages.
133	SAED (2017) – Etat d'avancement des opérations SAED-IRD-ISRA-CIRAD – Perspective des cultures de décrue ; 21 pages.
134	SAED (2017) - Etat d'avancement des opérations SAED-IRD-ISRA-CIRAD - Suivi-évaluation d'un échantillon statistique d'exploitations agricoles irriguées ; 6 pages.
135	OMVS (2013) – Bah Ould Sid'Ahmed : PGIRE, Phase 2 du programme (PGIRE, FEM, TF, PDS et PDR) - Etude d'impact environnemental et social (EIES) des investissements du PGIRE II, Rapport final ; 268 pages.
136	République du Sénégal (2017) : Plan de Convergence pour la gestion et l'utilisation durables des écosystèmes forestiers en Afrique de l'Ouest – Le Programme National d'Investissement Forestier (2018-2022) (PNIF) – Rapport-Pays ; 55 pages.
137	République du Sénégal, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (2006) : Politique forestière du Sénégal 2005-2025 – Documents annexes ; 105 pages.
138	République du Sénégal, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (1999) : Rapport national sur la mise en œuvre de la convergence des Nations Unies sur la lutte contre la désertification à la troisième COP de Recife (Brésil), novembre 1999 ; 39 pages.
139	Dioup D., Neyra M., Sougoufara B., Lesueur D. (2001) - Le plan d'action forestier du Sénégal : bilan et perspectives des activités de reboisement de 1993 à 1998 ; Bois et Forêts des Tropiques, 2001, N°270 (4), Dossier Plan d'action forestier / Zones sèches ; 9 pages.
140	CEDEAO – Moussa LEKO : Plan de Convergence Forestier de l'Afrique de l'Ouest – 7 domaines prioritaires d'intervention ; 19 pages.
141	GRDR (2014) : Atlas, la moyenne vallée du fleuve Sénégal, centres et périphéries, Mali-Mauritanie, Sénégal ; 80 pages.
142	OMVS (2009) - Tamsi NDIAYE : Hydropower development in the Senegal River Basin ; Water Week, World Bank, February 2009 ; 22 pages.
143	OMVS (1997) – Babacar DIENG, EIER : Synthèse et analyse de données hydrogéologiques de la moyenne vallée du Fleuve Sénégal, Rapport de synthèse ;
144	OMVS (2012) – SNC Lavalin : PGIRE, Etude de faisabilité et d'avant-projet sommaire (APS) de l'aménagement hydroélectrique de Goubassi ; 104 pages.
145	Banque Mondiale (2015) – République du Sénégal, Mission d'appui à la mise en œuvre du Projet de Développement Inclusif et Durable de l'Agriculture au Sénégal (PDIDASS), mission du 29/09 au 09/10/2015, Aide Mémoire ; 32 pages.
146	OMVS/SOGED (2006) : Rôle et enjeux du barrage de Diama dans la problématique du développement du bassin du fleuve Sénégal ; 22 pages.
147	OMVS (2003) – Conférence des chefs d'Etat et de Gouvernement : Déclaration de

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques**R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE**

	Nouakchott relative au cadre d'orientation stratégique pour l'OMVS ; 5 pages.
148	USGS (2012) : Second projet de Renforcement Institutionnel du Secteur Minier de la République Islamique de Mauritanie (PRISM-II), Phase V ; Synthèse des données hydrologiques ; Livrable 57 ; 27 pages.
149	OMVS (2005) – E. Babaly DEME : Tableau de Bord de la gestion des ressources en eau du fleuve Sénégal, Analyse du volet « Navigation » ; 17 pages.
150	OMVS (1997) – COB-FICHTNER-TECSULT : Projet Energie Manantali - Programme d'Atténuation et de suivi des impacts sur l'environnement (PASIE) ; 109 pages.
151	OMVS (2017) : Avis de sollicitation de manifestation d'intérêt (PGIRE N°02/2017) – Réalisation de l'étude de faisabilité de 12 projets pilotes d'adaptation aux changements climatiques dans le bassin du fleuve Sénégal ; 1 page.
152	OMVS (2013) – ARTELIA-BETICO-HYDROCONSULT-IRC : PGIRE, Elaboration de la nomenclature des seuils d'autorisation et de déclaration des prélèvements d'eau du fleuve Sénégal ; 269 pages.
153	OMVS (2014) – TECHNIPLAN : Politique Energétique Commune des pays membres de l'OMVS (PEC-OMVS), Rapport final ; 120 pages.
154	GIEC (2013) : Changements climatiques 2013 – Les éléments scientifiques – Résumé à l'intention des décideurs, Résumé technique et foire aux questions ; Contribution du groupe de travail I au 5 ^{ème} rapport d'évaluation du GIEC ; 222 pages.
155	Nations Unies, Convention-Cadre sur le changements climatiques (2012) : Plans Nationaux d'Adaptation – Directives techniques pour le processus des plans nationaux d'adaptation ; 162 pages.
156	OMVS 2014 : PGIRE II – Manuel de mise en œuvre
157	Ministère de l'Equipement, Mali – M.G. Konaté, 2001 : L'Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) – République du Mali
158	Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement du Mali, AEDD (2010) – BM, UNDP, GTZ, UE, FEM, FAO, TerrAfrica : Cadre stratégique d'investissement pour la gestion durable des terres au Mali, Rapport
159	Ministère de l'Agriculture du Sénégal - INP (2012) – BM, Sen Ing. Consult : Projet de gestion durable des terres/GDT – Cadre national d'investissement stratégique pour la gestion durable des terres au Sénégal (CNIS/GDT) – Rapport final.
160	Union Européenne (2000) : Directive 2000/60/CE établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (appelée Directive Cadre sur l'Eau – DCE)
161	Sagna P., O. Ndiaye, C. Diop, A. D. Niang and P. C. Sambou (2015) : Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? Atmosphère : Pollution Atmosphérique No. 227 – Octobre-Décembre 2015.
162	OMVS (2012) - BRL Ingénierie & Asconit Consultants : Conception d'un réseau de suivi de la qualité des ressources en eau du bassin du fleuve Sénégal. Rapport provisoire.

oOo

ANNEXE 5
COMTE-RENDUS DES ATELIERS
NATIONAUX

A.5.1

GUINEE

A.5.2

MALI

A.5.3

MAURITANIE

A.5.4

SENEGAL

PGIRE II – Vulnérabilité du Bassin du Fleuve Sénégal face aux Changement Climatiques
R2 - RAPPORT DE DIAGNOSTIC D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE – VERSION FINALE
