

14068

SL110C2/10B

ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL - (O. M. V. S)

HAUT - COMMISSARIAT



PROGRAMME D'ATTENUATION ET DE SUIVI DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT
(PASIE)

ETUDE DU PLAN D'ALERTE / SYSTEME DE
COMMUNICATION DU FLEUVE SENEGAL (2^{ème} PHASE)

ETUDE DES TERMES DE REFERENCE RAPPORT

Août 2000

Dr. Ing. Ali NEUMANN, Peter ZEPPEFELD - Consultants

Eduardo Salazar Gómez N36-04
Cdla Borja Yerovi - El Batán
Quito - Equateur

Téléphone + Fax (00 593) 2-46 66 85 / 9-49 79 05
Fax Mauritanie (P. Zeppenfeld) (00 222) 29 09 37
e-mail : ali_neumann@email.com



SOMMAIRE

- 1^{ère} Partie : RAPPORT DE SYNTHESE
2^{ème} Partie : RAPPORT D'ETUDE
3^{ème} Partie : SUPPLEMENT RELATIF A LA CRUE DE 1999

1^{ère} Partie : RAPPORT DE SYNTHÈSE

CONTENU

1	APERÇU GENERAL DU SYSTEME PROPOSE	2
1	SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES	4
2	ANNONCE DES CRUES PAR LA SOGED (RECOMMANDATIONS)	6
3	ANNONCE DES CRUES PAR MANANTALI (RECOMMANDATIONS)	9
4	MISE EN PLACE D'UN SUIVI DE CRUE AU HAUT-COMMISSARIAT	9
5	INSTALLATION D'UNE SIRENE D'ALARME A MANANTALI	9
6	SUGGESTIONS RELATIVES AUX LOGICIELS DE PREVISION	9
7	ETUDE HYDRAULIQUE DE L'ECOULEMENT A L'AVAL DU BARRAGE DE DIAMA	9

1 APERÇU GENERAL DU SYSTEME PROPOSE

Objectifs

Après la 1ère phase de l'étude du Plan d'Alerte (1993 - 1997), qui devait être une phase test, les principales préoccupations exprimées par les riverains et usagers de l'eau de la moyenne et basse vallée ont été les suivantes:

1. l'annonce des crues, c'est-à-dire la transmission de l'information relative à la prévision des crues vers les riverains et usagers de l'eau, ne fonctionne pas toujours;
2. lorsque l'annonce des crues fonctionne, les informations reçues sont difficilement interprétables au niveau local, et ne sont donc pas d'une grande utilité.

Dans la haute vallée, les préoccupations se tournaient d'avantage vers les possibilités d'apparition d'une crue catastrophique due à un accident.

L'objectif de la 2ème phase a dès lors été formulé de la manière suivante:

"Les riverains et usagers de l'eau de toute la vallée du fleuve doivent pouvoir savoir à tout moment et dans les meilleurs délais quelles sont les valeurs attendues des principales caractéristiques prévisibles de l'écoulement dans le fleuve qui les intéressent, qu'il s'agisse de modifications de régime programmées, accidentelles ou dues à des phénomènes non contrôlables. Ils devront pouvoir interpréter ces valeurs et savoir quelles sont les mesures qui s'imposent."

Pour atteindre cet objectif, il sera nécessaire de travailler sur trois fronts: l'amélioration du système d'annonce des crues (qui répond aux préoccupations 1 et 2), l'étude des possibles conséquences d'un accident grave (qui répond davantage aux préoccupations des habitants de la haute vallée) et les mesures au niveau local (qui répondent à la deuxième préoccupation citée). Alors que l'amélioration du système d'annonce des crues sera essentiellement à la charge des structures de l'OMVS et des Etats (voir "recommandations essentielles" ci-dessous), un bureau d'études sera recruté pour les études et la mise en oeuvre des mesures au niveau local.

Fonctionnement du système proposé

Les données hydrologiques de base seront obtenues aux principales stations limnimétriques du haut bassin, y compris celle de Bakel, et aux barrages de Manantali et Diama, dans le cadre de la gestion hydraulique des barrages. La circulation de ces données s'appuyera sur le réseau radiophonique de l'OMVS qui sera complété et modernisé pour les besoins du Plan d'Alerte. Les programmes de gestion de l'eau, les débits observés à certaines stations et les prévisions de débit au jour-le-jour constitueront la base pour le déclenchement de l'annonce des crues. La prévision des débits et hauteurs d'eau se fera à l'aide des logiciels disponibles: PROGEMAN permet de faire des calculs de transformation de cote en débit et des calculs de prévision de débit à Kayes et Bakel. COREDIAM permet d'effectuer des prévisions de niveaux d'eau pour la moyenne et basse vallée.

L'annonce des crues se fera à partir de Manantali jusqu'à Bakel et au Guidimakha, et à partir de Diama et Rosso pour la moyenne et basse vallée (wilayas du Gorgol, du Brakna et du Trarza; départements de Matam, Podor, Dagana), sous le contrôle du Haut-Commissariat qui suppléera au manque d'information en cas de besoin. Les voies empruntées seront, outre l'information traditionnelle des ministères de tutelle et du Haut-Commissariat, l'information directe de l'administration locale au niveau de la vallée et l'information des stations de radiodiffusion qui répercuteront directement les messages vers les habitants de la vallée.

Pour que l'information de l'annonce des crues soit utile au niveau local, le long de la vallée, il faudra essentiellement procéder à un inventaire des cotes d'alerte (des villages, quartiers bas, digues de protection, digues de grands périmètres, entrées de cuvettes, routes, etc.), et identifier les refuges sûrs. Le relevé des cotes d'alerte sera fait à travers une campagne topographique au GPS différentiel. Une correspondance sera établie entre ces cotes et les cotes ou débits qui apparaissent dans les communiqués d'annonce des crues. Sur la base de ce travail préparatoire, des cartes d'alerte et des tableaux seront élaborés. Des manuels et des résumés des principaux conseils en cas de menace d'inondation compléteront la liste des outils qui seront mis au point.

Pour mettre en application ces outils, la vallée sera découpée en zones d'alerte d'un rayon ne dépassant pas 10 à 20 km. A l'intérieur de chaque zone sera installé un poste d'information sur les crues à la charge d'un agent de l'état (agent de l'hydraulique, encadreur agricole etc.). Ce dernier recevra l'information relative à l'annonce des crues par le circuit de l'administration locale ou par la radio. Il utilisera ensuite les outils mis à sa disposition pour déterminer les dangers qui menacent la zone qui est à sa charge, ou obtenir d'autres informations utiles par exemple concernant les zones qui vont être aptes à la culture de décrue. Les riverains et usagers de l'eau pourront ainsi obtenir auprès de lui les informations qui les intéressent. En cas de menace grave, il devra prendre les devants et chercher à informer les personnes menacées.

Ce système de postes d'information sur les crues qui dépend de l'administration sera dédoublé par un second ensemble de postes (un par zone d'alerte) situés cette fois-ci au niveau de la société civile. Les responsables seront des personnes que les chefs de village, élus locaux, représentants des groupements d'agriculteurs etc. auront bien voulu proposer et qui seront disposés à assumer la responsabilité correspondante. Ils disposeront des mêmes outils que les agents de l'état.

Une sensibilisation des populations riveraines sera par ailleurs entreprise dans le cadre de l'étude: des réunions d'information et de conversation seront organisées au niveau de chaque zone d'alerte.

La portée du Plan d'Alerte sera étendue aux crues catastrophiques dans la mesure où une étude des scénarios de rupture et une modélisation mathématique de l'écoulement en cas de crue catastrophique seront entreprises. Les résultats serviront à déterminer jusqu'à quels niveaux et avec quelle vitesse peuvent monter les eaux en cas de catastrophe, et à identifier des lieux sûrs pour les populations vivant dans des zones menacées. L'objectif prioritaire est de couvrir la zone Manantali - Mahina - Bafoulabé, la plus menacée. Une modélisation du reste de la vallée sera également entreprise, mais avec une précision bien inférieure. Elle sera essentiellement prospective et permettra d'identifier les investissements les plus opportuns pour améliorer la qualité des calculs de propagation des ondes de crues catastrophiques dans une phase ultérieure.

Déroulement de l'étude

On peut estimer que l'étude pourra commencer environ trois mois après la mise au point de la version définitive des termes de référence, soit vers le mois d'octobre 2000. Elle devrait durer environ 15 mois, y compris une évaluation du système mis en place après le passage de la crue de l'an 2001. En parallèle, il faudra veiller à ce que certaines autres actions, qui ne font pas partie de l'étude, mais dont dépend l'efficacité du Plan d'Alerte, soient entreprises. Des recommandations correspondantes sont formulées ci-dessous.

2 SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES

L'étude du Plan d'Alerte (2ème phase): une tâche pour un bureau d'études

Le contenu de l'étude du Plan d'Alerte a été élaboré en tenant compte des besoins, de la faisabilité technique des actions, et des contraintes budgétaires et de chronogramme. En ce sens, les Termes de Référence élaborés correspondent à un optimum de ce qui peut être fait au niveau de la deuxième phase d'étude du Plan d'Alerte par un bureau d'études. Cependant, certaines actions importantes qui sont en relation avec le Plan d'Alerte ne peuvent pas être confiées au bureau d'études. Elles font l'objet des "recommandations essentielles" suivantes. Il est vrai que ces recommandations seront en partie revues et améliorées par le bureau d'études qui sera chargé de l'étude du Plan d'Alerte. Toutefois, certaines recommandations doivent être transmises d'urgence aux institutions concernées, étant donné que ces dernières risquent de ne plus avoir la même marge de manoeuvre une fois que l'étude sera terminée. C'est essentiellement le cas de la SOGEM qui prépare actuellement les termes de référence pour le futur opérateur privé de l'aménagement de Manantali. Toutes les recommandations sont décrites en détail dans les prochains chapitres.

Annonces des crues: le Plan d'Alerte ne fonctionnera pas sans elles. Manantali et Diama/Rosso doivent jouer leurs rôles.

Il a été indiqué à maintes reprises lors de la première phase du Plan d'Alerte quelles institutions de l'OMVS devraient émettre quelles informations et sous quelle forme. Malheureusement, ces recommandations contenues dans des rapports ou formulées lors de séminaires n'ont pas été suffisantes pour que l'annonce des crues soit toujours effectuée depuis Manantali et Diama (ou Rosso) avec la qualité et la régularité nécessaires. Le Haut-Commissariat, qui aurait pu être l'institution de dernier recours pour suppléer au manque d'information, ne possédait pas les informations de base nécessaires.

Des recommandations détaillées sont à nouveau incluses dans le présent rapport pour que les institutions ou sociétés ayant à charge l'exploitation des barrages de Manantali et de Diama préparent des bulletins d'annonce des crues avec un contenu défini et les diffusent par certains canaux précisés, et pour que le Haut-Commissariat soit en mesure de contrôler le fonctionnement de l'annonce des crues et de suppléer au manque d'information en cas de besoin. Malheureusement, si cette annonce des crues ne se fait pas selon le schéma proposé ou un schéma équivalent, la 2ème phase de l'étude du Plan d'Alerte, malgré tous les efforts qui puissent être faits au niveau de l'étude, risque de manquer complètement son objectif.

A la SOGED, l'annonce des crues doit être régulière et opérée selon un schéma fixe, non seulement à l'avance en fonction du programme de gestion des eaux, mais aussi et surtout en temps réel en fonction du débit à Bakel. De plus, mise à part la transmission vers le Haut-Commissariat et les ministères de tutelle, la diffusion de l'information doit toujours aussi être directe, vers les autorités administratives et les radios de la vallée (comme ce fut le cas fin septembre 99). L'information du Haut-Commissariat et des ministères de tutelle doit être maintenue. Une proposition de schéma est donnée ci-après.

A Manantali, la diffusion de l'information au niveau local est bonne. Elle doit seulement être étendue à la zone de Bakel / Gouraye. Le Haut-Commissariat, les ministères de tutelle et la SOGED doivent aussi être informés. Le grand risque que nous voyons actuellement est cependant que le futur opérateur privé de la centrale ne continue pas à pratiquer l'annonce des crues avec le sérieux nécessaire. De plus, la fréquence des communiqués d'annonce des crues émis depuis Manantali est encore insuffisante: des communiqués supplémentaires ou rectificatifs doivent être émis avant chaque modification de débit importante. Il est donc impératif qu'un schéma d'annonce des crues bien défini soit convenu avec le futur opérateur privé.

Le Haut-Commissariat est le responsable du bon fonctionnement global du système d'annonce des crues. Par souci d'efficacité, il doit cependant faire faire les annonces de crues par d'autres institutions qui sont plus proches de l'information (SOGEM/SEM, SOGED). Le rôle qui lui revient alors est celui de veiller au bon fonctionnement du système d'annonce des crues, d'initier des mesures correctives, en cas de besoin, auprès des institutions concernées, et de suppléer au manque d'information. Cela signifie qu'il doit non seulement être informé de toutes les annonces de crues mais aussi qu'il doit recevoir l'information de base nécessaire depuis Manantali et Diama, qu'il doit être équipé des outils nécessaires à la prévision des crues, et qu'il doit affecter les ressources humaines nécessaires à ces tâches (les ressources matérielles seront mises en place avec l'étude).

Installation d'une sirène d'alarme à Manantali

En vue d'alerter les riverains du fleuve à l'aval du barrage lorsqu'une augmentation des débits restitués est prévue, ou en cas de catastrophe, il est souhaitable d'installer une sirène d'alarme sur le parement aval du barrage. Il n'est malheureusement pas possible de faire installer cette sirène par le bureau d'étude chargé de la 2^{ème} phase d'étude du Plan d'Alerte, vu que les lieux sur lesquels devrait être installée la sirène constituent en partie le chantier de l'usine hydroélectrique. Cependant, une recommandation peut être adressée au Maître de l'Ouvrage (la SOGEM) pour inciter celui-ci à faire étudier la possibilité de mise en place d'une sirène d'alarme dans le cadre de la construction de la centrale. Cette solution présenterait l'avantage de la disponibilité sur place de machines de chantier (grue par exemple) pouvant faciliter l'installation. Une offre pourrait être demandée à l'Entrepreneur par le Maître d'Oeuvre. Au cas où il ne serait pas possible de faire mettre en place la sirène par le constructeur de la centrale, un accord pourrait être trouvé avec le futur opérateur de la centrale.

Questions relatives aux logiciels de prévision

Quelques suggestions sont faites ci-dessous pour améliorer l'utilité des logiciels PROGEMAN et COREDIAM, qui constituent la base de la prévision des crues. Les codes de programmation de ces logiciels se trouvant auprès de l'IRD, il faudrait profiter de la présence de cet institut pour solliciter certaines améliorations, si celles-ci ne sont pas déjà réalisées ou prévues. Par ailleurs, les logiciels doivent être diffusés! La mauvaise performance de PROGEMAN au cours de la crue 1999, qui ne saurait que partiellement être expliquée par un éventuel détarage à Bakel, relance la question de l'utilité d'un modèle pluie-débit pour le bassin intermédiaire (différent de ceux pour Oualia et Gourbassi!).

Etude hydraulique de l'écoulement à l'aval du barrage de Diama

Différents commentaires recueillis indiquent qu'il pourrait y avoir eu – bien que les chiffres analysés sommairement ne permettent pas de le soutenir – une modification des conditions d'écoulement à l'aval du barrage de Diama, et notamment au niveau de la ville de Saint-Louis. Une étude hydraulique détaillée de l'embouchure du fleuve Sénégal permettrait d'une part de disposer d'un outil pour prévoir les niveaux d'eau dans cette zone et rechercher des solutions pour diminuer les risques d'inondation dans l'avenir, et d'autre part elle permettrait d'anticiper une atteinte à la sécurité de l'aménagement de Diama. En effet, si les niveaux d'eau correspondant à un débit donné augmentent à l'aval du barrage, il peut en résulter une forte diminution de la capacité d'évacuation des crues du barrage, ce qui mettrait en jeu la sécurité du barrage et des endiguements, avec tout le risque que cela représente pour les peuplements humains et les aménagements protégés par ces digues.

3 ANNONCE DES CRUES PAR LA SOGED (RECOMMANDATIONS)

3.1 Objectif

En vue de permettre aux riverains du fleuve et aux utilisateurs de l'eau d'optimiser leur utilisation de l'eau et de limiter les dégâts dûs aux crues, la SOGED doit utiliser les outils disponibles pour la prévision des crues et diffuser l'information ainsi produite le plus directement possible en direction des riverains, et cela chaque fois que des éléments d'information nouveaux sont disponibles.

3.2 Contenu des communiqués d'annonce des crues

Bases de travail

Les bases de travail sont constituées d'une part par les informations hydrologiques reçues quotidiennement, actuellement par radio, de tout le bassin du fleuve Sénégal, et plus particulièrement de Manantali et de Bakel, et d'autre part par les outils de prévision, actuellement les logiciels PROGEMAN et COREDIAM.

Travail préparatoire et mise en forme de l'information

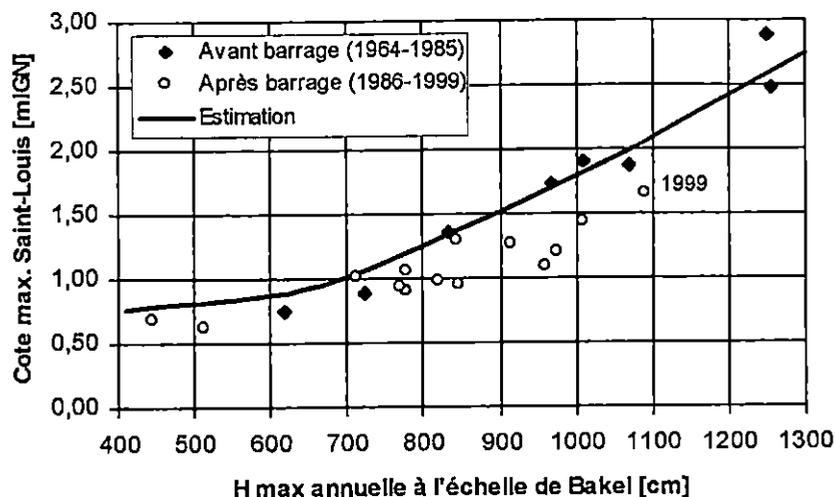
Le travail préparatoire consiste d'abord en l'acquisition des données journalières de hauteurs d'eau et de débit par voie de radio. On prendra note des informations suivantes, au moins une fois par jour (les transmissions par radio se font actuellement le matin entre 7h30 et 8h30, à midi et le soir):

Type	Lieu	Transmis par	Suppléant
Hauteur limnimétrique	à Diama	Opérateur barrage	-
Hauteur limnimétrique	à Bakel	Manantali	Lecteur Bakel
Débit	à Manantali (barrage)	Manantali	SOGEM; HC
Hauteur limnimétrique	à Kayes ¹⁾	Manantali	Hydr. Kayes
Hauteur limnimétrique	à Gourbassi ¹⁾	Manantali	Lecteur Gourbassi
Hauteur limnimétrique	à Oualia ¹⁾	Manantali	Lecteur Oualia

Ensuite, on introduira la hauteur limnimétrique à Bakel et les prévisions de hauteur d'eau à Diama dans COREDIAM pour obtenir les prévisions de hauteur d'eau le long de la moyenne et basse vallée, soit à Kaédi, Saldé, Boghé, Podor, Dagana et Rosso. Les résultats seront comparés aux résultats des prévisions antérieures. Si les prévisions antérieures donnent des cotes plus élevées, ces dernières seront conservées. Les résultats seront mis sous forme de tableau ou de liste mentionnant la ville ou l'échelle (on ajoutera Diama à la liste des échelles énumérées ci-dessus), la cote maximale attendue (en précisant IGN), et la date du maximum attendu.

Ces données constitueront la partie centrale du communiqué d'annonce de crues. On ajoutera au début du communiqué la hauteur limnimétrique à l'échelle de Bakel (ou bien, si une information fiable peut être donnée, le débit à Bakel) et la date d'observation. Dans le cas d'un communiqué relatif à un programme de gestion de l'eau, l'hydrogramme objectif à Bakel sera décrit.

¹⁾: Les autres données figurant au tableau ci-dessus (hauteurs limnimétriques à Kayes, Gourbassi et Oualia) ne sont pas utilisées mais sont gardées en réserve pour pouvoir suppléer en cas de besoin au travail de prévision à Bakel qui doit normalement être fait au niveau de Manantali. En cas de besoin, ce travail de prévision se fera à l'aide du logiciel PROGEMAN, et les prévisions à 2 jours seront diffusés par radio à destination de l'Hydraulique de Bakel et de la station qui sera mise en place côté mauritanien dans le Guidimakha.



On ajoutera aux prévisions de COREDIAM une prévision pour Saint-Louis (Capitainerie). En l'absence de modèle plus approprié, on pourra utiliser le graphique ci-dessus.

A la suite du tableau des prévisions, on donnera une appréciation de l'ampleur de la crue attendue, en fonction du débit ou de la hauteur limnimétrique à Bakel. On comparera la crue à quelques crues historiques :

- celle de 1999 (10,91 m à Bakel);
- celle de 1974 (11,89 m à Bakel);
- celle de 1958 (12,88 m à Bakel).

Dans le cas de crues faibles, on comparera l'ampleur de la crue aux crues des années précédentes. A cet effet, on trouvera dans le tableau suivant les hauteurs limnimétriques journalières maximales annuelles à Bakel pour les dernières 10 années. Il serait cependant souhaitable de se limiter aux dernières trois années.

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Hauteur à Bakel [m]	4,44	7,69	7,12	7,79	9,15	9,75	8,47	8,43	10,08	10,91

Si la crue est forte, il convient de donner une idée de la probabilité de la crue. Par exemple, on trouvera dans le tableau suivant quelques périodes de retour pour la période de l'avant-barrage (1903-1987) qui peuvent servir de point de comparaison.

T	2 ans	3 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Hauteur à Bakel [cm]	10,40	11,30	11,90	12,30	12,60	13,10	13,30

A titre d'exemple, on aurait pu avertir que "la crue de 1999, si les débits observés jusqu'à ce jour à Bakel n'augmentent pas, sera la plus forte des dernières 20 années, mais moins forte que celle de 1974. Cette ampleur de crue était atteinte en moyenne tous les 2 à 3 ans avant la construction du barrage de Manantali, entre 1903 et 1987".

On priera finalement le destinataire de procéder à une large diffusion de l'information.

Le communiqué ne devrait pas dépasser une page.

3.3 Diffusion

Les communiqués d'annonce de crue élaborés par la SOGED doivent être diffusés directement et sans délai, de préférence par fax (sinon par téléphone et courrier), vers:

1. les 4 walis (gouverneurs) de la vallée du fleuve en Mauritanie (Trarza, Brakna, Gorgol, Guidimakha) à travers le Wali du Trarza qui sera prié de transmettre l'information;
2. le Gouverneur de la Région de Saint-Louis (pour transmission vers les dépt. et arrond.)
3. la Radio Rurale mauritanienne;
4. au moins une station de radiodiffusion amplement écoutée dans la vallée sénégalaise et qui est disposée à assurer la diffusion de l'information;
5. une représentation de la SONADER dans la vallée (pour transmission dans la vallée)
6. une représentation de l'Hydraulique mauritanienne dans la vallée (pour transmission...)
7. une représentation de l'Agriculture mauritanienne dans la vallée (pour transmission...)
8. une représentation de la SAED dans la vallée (pour transmission dans la vallée)
9. une représentation de l'Hydraulique sénégalaise dans la vallée (pour transmission...)
10. une représentation de l'Agriculture sénégalaise dans la vallée (pour transmission...)
11. le ministère de tutelle en Mauritanie
12. le ministère de tutelle au Sénégal
13. le Haut-Commissariat

Les communiqués qui font suite à un nouveau programme de gestion de l'eau ("a" ci-dessous) sont les seuls qui doivent parvenir au Wali du Guidimakha (point 1 ci-dessus). Ce sont aussi les seuls que l'on fera parvenir au Préfet de Bakel (non mentionné ci-dessus).

On remarquera que les destinataires de la vallée mauritanienne peuvent actuellement être atteints sans trop de difficulté par téléphone, fax et messenger depuis Rosso, alors que les destinataires de la vallée sénégalaise peuvent être aisément atteints par téléphonie ou par messenger depuis le barrage de Diama.

3.4 Périodicité / Fréquence

L'élaboration et la diffusion d'un communiqué d'annonce de crue se fera:

- a) A chaque fois qu'un nouveau programme de gestion de l'eau a été décidé, donc en principe après chaque réunion de la CPE, mais dans tous les cas au moins 3 fois par an. (Il s'agit là d'une information très utile permettant aux usagers de l'eau de planifier et d'optimiser leurs activités).
- b) Additionnellement au moins une fois par semaine en période de crue (dès que la cote à l'échelle de Bakel dépasse 6,00 m), jusqu'au début de la décrue.
- c) En plus, dès que le débit à Bakel est supérieur à 2500 m³/s, à chaque fois que les prévisions pour l'une des échelles (et en particulier pour celle de Kaédi) varient de 20 cm ou plus (cela correspond, en gros, à une variation du débit à Bakel de l'ordre de 500 m³/s ou à une variation de hauteur à Bakel de l'ordre de 40 cm).
- d) En période de décrue et jusqu'à la prochaine crue, lorsqu'une modification anormale importante du débit à Bakel se présente.
- e) En cas de modification grave de la qualité de l'eau. (Il s'agira d'un communiqué spécial dont le contenu sera adapté au phénomène.)

4 ANNONCE DES CRUES PAR MANANTALI (RECOMMANDATIONS)

4.1 Objet

En vue de limiter les dégâts dus aux variations inattendues de débits à l'aval du barrage, la société qui exploitera la centrale et le barrage de Manantali devra annoncer à l'avance les variations de débit et utiliser dans ce cadre des méthodes de prévision conformes au stade d'avancement de la science. La diffusion devra se faire le plus directement possible en direction des riverains, et cela à chaque fois que des éléments d'information nouveaux sont disponibles. Elle devra par ailleurs fournir quotidiennement au Haut-Commissariat et à la SOGED les informations dont ces institutions ont besoin pour l'annonce des crues dans la moyenne et la basse vallée.

4.2 Les annonces des variations de débit programmées à l'aval du barrage

Les programmes de turbinage et de lâchers de soutien de crue constituent la base pour l'annonce des variations de débit programmées. Des annonces devront être faites lorsque les variations de débit sont de nature à représenter un risque pour les riverains du fleuve et leurs activités. Les annonces doivent se faire avec suffisamment d'anticipation pour que les riverains puissent être informés à temps (une semaine environ).

Les destinataires énumérés ci-dessous reçoivent actuellement des communiqués par voie écrite ou orale. Il faudra continuer à les informer à l'avenir.

- Haut-Commissaire de la Région de Kayes
- Délégué du Gouvernement auprès du Cercle de Bafoulabé
- Délégué du Gouvernement auprès des communes de l'ex arrondissement de Bamafélé
- Chef de village de Manantali
- Commandant de Brigade de Gendarmerie de Manantali
- Projets et grandes entreprises travaillant dans la zone du barrage
- Associations de pêcheurs
- ORTM – Kayes (radiodiffusion)
- Radio Bafing – Manantali
- Radio Mali Sadio – Mahina

Il faudra y ajouter, par voie de radio (fréquences OMVS) et par fax si possible:

- Hydraulique Bakel (pour le Préfet de Bakel et information du Département de Bakel)
- Gouraye (poste de réception qui sera installé – pour la Wilaya du Guidimakha)
- SOGEM
- Haut-Commissariat

4.3 Les annonces des prévisions de débit dans la haute vallée

Suspension provisoire de l'annonce: PROGEMAN est un logiciel en évolution et les résultats obtenus lors de la crue de 1999 ne semblent pas concluants. Les annonces des prévisions de débit dans la haute vallée commenceront lorsque les modèles disponibles permettront de faire l'annonce des crues avec une fiabilité suffisante pour que l'information puisse être considérée utile.

Bases de travail

Les bases de travail sont constituées d'une part par les informations hydrologiques reçues quotidiennement par radio de tout le haut-bassin du fleuve Sénégal, et qui servent à planifier la gestion de l'eau, et d'autre part par les outils de prévision, actuellement le logiciel PROGEMAN. Ce logiciel permet de faire des prévisions quotidiennes de débit à Kayes et à

Bakel à partir des débits à Manantali, Oualia (sur le Bakoye) et Gourbassi (sur la Falémé) pour en citer les plus importants. L'horizon de prévision à Bakel est de 3 jours.

Tout comme à l'heure actuelle, la société en charge de l'exploitation de l'aménagement de Manantali devra maintenir en état de fonctionnement le réseau de collecte de l'information hydrologique qui sert à la gestion hydraulique et à l'annonce des crues.

Travail préliminaire

Le travail préliminaire consiste en l'acquisition quotidienne des données limnimétriques par voie de radio, leur introduction dans PROGEMAN ou son équivalent, le calcul des débits observés et prévus. Les données qui doivent être obtenues et introduites dans le modèle sont:

Type	Lieu	Transmis par
Débit	à Manantali (barrage)	Opérateur barrage.
Hauteur limnimétrique	à Diangola	Lecteur
Hauteur limnimétrique	à Fadougou	Lecteur
Hauteur limnimétrique	à Daka Saidou	Lecteur
Hauteur limnimétrique	à Bafing Makana	Lecteur
Hauteur limnimétrique	à Oualia	Lecteur
Hauteur limnimétrique	à Gourbassi	Lecteur
Hauteur limnimétrique	à Kayes	Agent Hydraulique
Hauteur limnimétrique	à Bakel	Agent Hydraulique

Annnonce des débits prévus

Le logiciel PROGEMAN fournit immédiatement des prévisions de débit à différentes stations. Parmi celles-ci, on relèvera celle pour Kayes (à 1 ou 2 jours) et celles pour Bakel (à 2 ou 3 jours). Ces débits prévus seront alors transmis sans délai à destination:

- du Haut-Commissaire de Kayes (à travers son service régional de l'Hydraulique ou toute autre voie dont les parties conviendraient dans l'avenir)
- du Préfet de Bakel (à travers son service départemental de l'Hydraulique ou toute autre voie qui pourra être convenue)
- du Wali du Guidimakha (à travers un récepteur radio qui sera mis en place dans le cadre de la 2^{ème} phase de l'étude du Plan d'Alerte, ou toute autre voie qui pourra être convenue)

4.4 La fourniture des informations hydrologiques de base à l'OMVS

Pour permettre aux institutions de l'OMVS d'effectuer l'annonce des crues dans la moyenne et basse vallée du fleuve Sénégal et le contrôle de la gestion de l'eau, la société qui exploitera l'aménagement de Manantali devra leur faire parvenir quotidiennement l'information hydrologique de base nécessaire.

Données à transmettre

Les données suivantes devront être transmises:

- Débit lâché à Manantali (turbines + évacuateur)
- Niveau de la retenue de Manantali
- Hauteur limnimétrique et débit actuel à Bakel (cette information est recueillie par Manantali en vue de la gestion hydraulique de l'aménagement)

Destinataires de l'information

Les institutions concernées sont:

- la SOGEM, qui peut être atteinte à Bamako par radio et par téléphone / fax;
- le Haut-Commissariat, dont le siège est à Dakar, qui peut être atteint par téléphone / fax et le sera probablement prochainement par radio;
- la SOGED, dont le siège est à Diama, et qui opère la barrage de Diama. Elle peut être atteinte par téléphonie et radio tant à Rosso qu'à Diama.

Voie de transmission de l'information

Si la société qui exploite l'aménagement de Manantali choisit de fournir au Haut-Commissariat et à la SOGED les informations par voie radiophonique, elle devra assurer le fonctionnement des relais nécessaires (actuellement le représentant du service de l'Hydraulique à Bakel).

Dans un futur proche, on peut envisager la mise des informations sur internet à Manantali.

4.5 Les annonces exceptionnelles en cas d'accident

L'annonce des pollutions de l'eau

En cas de pollution accidentelle de l'eau ou plus généralement en cas de modification de la qualité de l'eau pouvant représenter un danger pour les riverains et usagers de l'eau se trouvant à l'aval, si l'état des choses est connu ou s'il y a de bonnes raisons de soupçonner un accident, une alerte générale doit immédiatement être donnée par les voies les plus rapides à tous les destinataires mentionnés ci-dessus pour les différents types d'information.

L'annonce des crues catastrophiques

La société qui exploitera l'aménagement de Manantali devra être prête, en cas d'événement catastrophique (rupture de digue, de vanne, fausse manoeuvre etc.) à annoncer l'événement aux autorités et populations selon un schéma qui sera convenu dans le cadre du Plan d'Alerte.

5 MISE EN PLACE D'UN SUIVI DE CRUE AU HAUT-COMMISSARIAT

5.1 Objet

Le Haut-Commissariat se doit de contrôler le bon fonctionnement du système d'annonce des crues dans toute la vallée du fleuve Sénégal et d'initier les mesures correctives nécessaires. Par ailleurs il doit, dans la mesure du possible, suppléer à tout manque d'information qui pourrait se manifester. Un suivi régulier des crues doit avoir lieu à cet effet.

5.2 Ressources nécessaires:

Il faudra disposer, au niveau du Haut-Commissariat, de préférence au niveau du Département Technique, des ressources suivantes:

- Une personne affectée à temps partiel au suivi de la crue (environ 1 h par jour pendant la durée de la crue et 1 h par semaine hors crue)
- Une radio USB pour obtenir les informations hydrologiques quotidiennes (sera fournie dans le cadre de l'étude du Plan d'Alerte)
- Les logiciels COREDIAM et PROGEMAN installés sur un ordinateur.

5.3 Activités

Collecte quotidienne des données hydrologiques:

Les données qu'il conviendra de collecter chaque jour par radio (ou autre) sont:

- Niveau de la retenue de Manantali (fourni par Manantali)
- Débit à Manantali (fourni par Manantali)
- Hauteur limnimétrique à Bakel (fourni par Bakel ou Manantali)
- Niveaux prévus de la retenue de Diama (fourni par la SOGED)

Temps de travail nécessaire: environ ½ heure par jour.

Prévision des niveaux d'eau pour la moyenne et basse vallée:

Après introduction de la hauteur limnimétrique à Bakel et des niveaux prévus de la retenue de Diama dans COREDIAM, on comparera les résultats aux résultats des prévisions antérieures et on conservera les prévisions pertinentes (le travail est similaire à celui qui doit être effectué par la SOGED en vue de l'établissement des communiqués d'annonce des crues). Dès que le site de l'OMVS fonctionnera, les prévisions pourront être placées sur Internet (le temps de travail sera alors un peu plus long et une connexion sera nécessaire).

Temps de travail nécessaire: environ ¼ d'heure par jour en moyenne.

Contrôle des annonces de crues:

1) sur la base des copies de communiqués reçus de Manantali et de la SOGED: contrôle du contenu et de la fréquence des communiqués;

2) sur la base de contacts occasionnels avec les destinataires des communiqués: contrôle de la diffusion des communiqués;

Temps de travail nécessaire: environ ¼ d'heure par jour en moyenne.

Initiation des mesures correctives:

Au cas où le système d'annonce des crues ne fonctionnait pas comme attendu, le responsable du suivi de la crue cherchera à connaître les raisons de la défaillance et en informera son directeur de département pour que des mesures correctives soient initiées.

6 INSTALLATION D'UNE SIRENE D'ALARME A MANANTALI

Justification

Les variations brusques de débit de l'évacuateur de crues et, dans une moindre mesure, de la centrale, peuvent, surtout lorsqu'elles ne correspondent pas à un schéma journalier bien défini et connu des riverains du fleuve, provoquer des accidents: pertes de filets, de motopompes, d'animaux, d'autres objets laissés sur la rive et peut-être même noyades. Les variations de hauteur d'eau sont les plus brusques à l'aval immédiat du barrage. Le besoin d'alerte est donc le plus fort à l'aval immédiat du barrage. Dans la zone des villages proches du barrage (Manantali, Bingassi, Dialakoto, Nantéla, Sobéla), donc jusqu'à environ 10 km, une sirène pourrait être mise à profit pour donner l'alerte d'une manière efficace.

Une deuxième justification de cette sirène est donnée par son utilité en cas de catastrophe, pour inviter à une évacuation rapide de la vallée. En effet, la zone se trouvant immédiatement à l'aval du barrage est celle du danger le plus élevé, étant donné la brèveté du temps disponible pour alerter. Des alarmes sonores ou visuelles sont alors les seuls moyens pouvant toucher instantanément toute la population. En cas de catastrophe, la sirène pourra être utilisée en employant un schéma d'activation différent (par exemple, on pourra donner l'alerte d'augmentation de débit avec un son d'une minute interrompu deux fois, et l'alarme avec un son identique suivi d'un son ininterrompu).

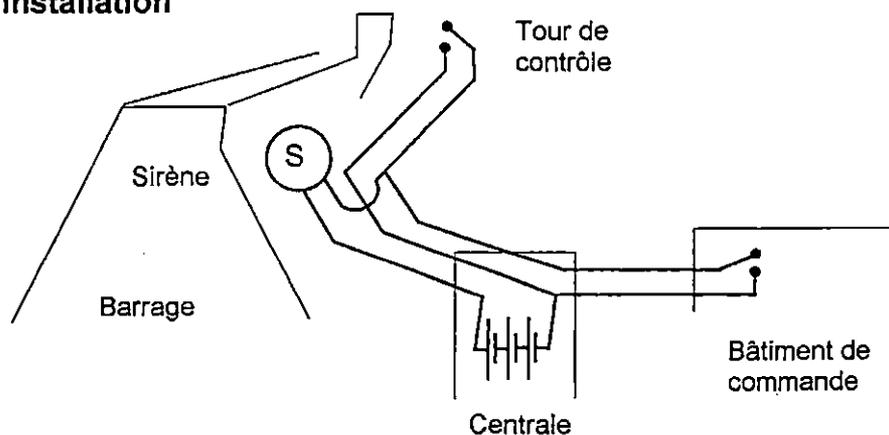
Les deux usages (alerte de variation de débit et alarme catastrophe) se complètent favorablement, vu que l'usage pour l'alerte permet de faire fonctionner régulièrement le système, ce qui donne une certaine garantie de fonctionnement en cas de catastrophe.

Spécifications techniques

Tout le matériel utilisé doit être peu exigeant en maintenance et d'une grande longévité et fiabilité. On évitera donc dans la mesure du possible les relais, les circuits intégrés, les matériaux pouvant se dégrader dans le milieu auquel ils sont exposés.

La sirène sera en principe d'un type standard pour les installations de protection civile (par ex. DIN 41096), à moteur et compresseur, avec une puissance supérieure à 120 dB (A), mais devra être adaptée aux conditions d'alimentation en énergie électrique.

Schéma d'installation



L'installation de la sirène devrait se faire sur le parement aval du barrage en béton ou sur la tour de contrôle, si possible à un endroit où l'accès pour la maintenance soit encore relativement aisé. L'alimentation devrait se faire à partir du circuit de secours (courant continu basse tension) de la centrale. Un interrupteur devrait se trouver au niveau de la tour de contrôle et un autre au niveau du bâtiment de commande de la centrale.

7 SUGGESTIONS RELATIVES AUX LOGICIELS DE PREVISION

PROGEMAN

Le logiciel PROGEMAN est essentiellement utilisé, à l'heure actuelle, pour moduler les débits lâchés à Manantali en vue d'atteindre un débit objectif à Bakel. Son utilisation se concentre donc sur les périodes d'étiage et les crues faibles lors desquelles il convient de procéder à un soutien de crue artificiel. Il serait souhaitable que la prévision des fortes crues soit parmi les objectifs prioritaires du modèle, et que l'on obtienne un outil performant pour la prévision des débits de pointe à Kayes et Bakel.

Comme tout modèle de prévision hydrologique, il s'agit d'un outil qui peut constamment être amélioré au fur et à mesure que de nouvelles données sont enregistrées au fil des années. Par ailleurs, de nouvelles idées concernant la structure du modèle peuvent mener à des modèles nouveaux plus performants, surtout si les objectifs prioritaires sont redéfinis.

Pour ce qui est de la forme, il serait souhaitable de disposer d'une version dont les données peuvent être facilement importées et exportées sous Windows. Par exemple, les données de base pourraient être enregistrées dans une base de données de type Access ou simplement dans un tableur dans lequel viendrait lire une macro. En attendant, la version élaborée pour la crue de 1999 gagnerait à être rendue plus conviviale. Par exemple:

- les hauteurs et débits antérieurs aux 10 derniers jours devraient aussi pouvoir être visualisés sans sortir du programme, surtout si l'on désire apporter des compléments;
- l'entrée des données devrait être plus conviviale et permettre le retour à un champ de saisie antérieur d'une même ligne et l'abandon d'une saisie au milieu d'une ligne;
- les premières lignes des fichiers COTELUxx et DEBILUxx (portant les noms des stations) devraient correspondre, en nombre de caractères, aux colonnes de chiffres se trouvant au dessous afin de faciliter l'exportation vers un tableur;
- le programme devrait chaque jour recalculer toutes les prévisions de débit. Par exemple avec les hauteurs d'eau du jour j, les prévisions de débit à Bakel ne devraient pas seulement être calculées pour les jours j+2 ou j+3, mais aussi pour le jour j+1, en ayant recours aux données des jours antérieurs à j;
- les rangs des jours de l'année devraient être supprimés au niveau de l'interface-utilisateur au profit de la date.

COREDIAAM

Le logiciel COREDIAM donne des résultats relativement satisfaisants pour la prévision des maximums de crue et de leurs dates de Kaédi à Rosso.

La principale recommandation concerne sa diffusion:

- le logiciel doit être largement diffusé au Haut-Commissariat et à la SOGED, où il est actuellement pratiquement introuvable ou disponible en versions antiques

Les améliorations suivantes seraient souhaitables:

- une version fonctionnant sous Windows (au lieu de DOS) serait la bienvenue;
- une option simple devrait être proposée à l'utilisateur pour tenir compte de l'évolution récente de la crue à Bakel (éventuellement avec stockage des données)
- le modèle devrait calculer automatiquement les branches Sénégal et Doué et laisser à l'utilisateur le choix de décider station par station quelles stations il désire évaluer (avec introduction d'une cote prévue à Diama pour chaque station, afin de réduire le risque d'une mauvaise utilisation du modèle).

8 ETUDE HYDRAULIQUE DE L'ÉCOULEMENT A L'AVAL DU BARRAGE DE DIAMA

Contexte

Lors de la crue de 1999, les quais de la ville de Saint-Louis ont été inondés, ainsi qu'une grande partie du sud de l'île. On s'était habitué à voir les nouveaux quartiers des zones basses menacés et envahis par les eaux en période des pluies, mais le niveau que les eaux ont atteint au cours de l'hivernage 1999 était hors du commun. Une comparaison sommaire des niveaux historiques à Saint-Louis (faite avec une base de données dont la qualité n'a pas pu être vérifiée) montre cependant que des hauteurs d'eau dépassant de plus d'un mètre ont été enregistrées en 1964 et 1965, ce qui tendrait à prouver le caractère subjectif des commentaires qui ont pu être entendu. Néanmoins, il est vrai que les variations morphologiques naturelles et les interventions humaines, voulues ou non, dans le schéma d'écoulement naturel peuvent avoir modifié ou pourraient modifier les conditions d'écoulement à l'aval du barrage de Diama, ce qui modifierait la capacité d'évacuation des crues du barrage et pourrait représenter un grave danger pour celui-ci et les populations et aménagements protégés par les digues. Il est vrai aussi que nous ne disposons pas, à l'heure actuelle, d'un outil de prévision des niveaux d'eau à Saint-Louis comme nous en disposons pour le reste de la vallée.

Objectifs

Il est de ce fait recommandé de faire réaliser une étude qui aurait deux objectifs:

- 1) connaître les phénomènes naturels et non naturels qui ont affecté ou pourraient affecter les conditions d'écoulement à l'aval du barrage de Diama et les répercussions de ces phénomènes sur la sécurité de l'aménagement de Diama;
- 2) comprendre les phénomènes qui influencent les niveaux d'eau dans l'embouchure du fleuve Sénégal, et plus particulièrement au niveau de la ville de Saint-Louis et disposer d'un outil de prévision à long terme (> 1 mois) des niveaux d'eau à Saint-Louis.

Il serait souhaitable d'atteindre ces deux objectifs. Toutefois, dans l'immédiat, une analyse sommaire des données disponibles, du même genre que celle présentée dans la partie relative à la crue de 1999 de la présente étude, mais réalisée de façon un peu plus poussée et avec des données vérifiées, permettrait de s'assurer de l'absence de risque imminent pour l'aménagement de Diama et de réduire pour le moment la portée du premier objectif. On trouvera ci-dessous en premier lieu la démarche proposée pour cette vérification succincte.

Démarche proposée pour une vérification de la capacité d'évacuation de Diama

Il doit être contrôlé que les hauteurs d'eau observées côté aval au barrage de Diama et plus en aval (notamment à la capitainerie du port de Saint-Louis) depuis la mise en service du barrage sont compatibles avec les hypothèses faites lors du dimensionnement de l'évacuateur de crues du barrage de Diama. Si les niveaux d'eau observés sont supérieurs aux niveaux qui avaient été admis, on évaluera la perte de capacité de l'évacuateur. En corollaire, on établira des abaques et un logiciel sous Excel permettant de calculer le débit de l'évacuateur de crues en fonction des niveaux d'eau et des ouvertures des vannes. (A l'heure actuelle, les responsables de la gestion hydraulique du barrage de Diama suspendent la détermination du débit lorsque les vannes sont complètement ouvertes, apparemment en raison de l'absence d'un outil de calcul approprié).

Démarche proposée pour une compréhension des écoulements à l'aval du barrage de Diama

On réalisera une modélisation numérique bidimensionnelle des écoulements à l'aval du barrage de Diama, avec représentation des phénomènes de transport et de sédimentation, sur la base d'une modélisation détaillée du terrain de certaines zones et d'une bathymétrie du lit du fleuve au passage de Saint-Louis et dans quelques sections à l'amont et à l'aval.

On donnera une appréciation des effets isolés et combinés de la sédimentation, de l'érection de digues de protection et de digues-route, des autres interventions humaines et d'un possible déplacement de l'embouchure (entre autres), après avoir défini les limites de variation raisonnables de ces paramètres.

On combinera le modèle avec le modèle COREDIAM et un modèle hydrologique simple de transit à travers la retenue et le barrage de Diama pour disposer d'un modèle de prévision à long terme des inondations dans la zone de Saint-Louis en fonction de l'hydrogramme de crue à Bakel.

On établira des abaques et un logiciel sous Excel permettant de calculer le débit de l'évacuateur de crues de Diama en fonction des niveaux d'eau et des ouvertures des vannes.

2^{ème} Partie : RAPPORT D'ETUDE

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	4
1.1	Base contractuelle	4
1.2	Consultants	4
1.3	Chronogramme et itinéraire de la mission	5
2	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	7
2.1	Contexte de l'étude	7
2.2	Conclusions de la 1 ^{ère} phase de l'étude du Plan d'Alerte	7
2.3	Objectifs de la mission d'étude des termes de référence de la 2 ^{ème} phase	8
3	RESUME DE LA METHODOLOGIE SUIVIE	10
4	RESULTATS DE LA MISSION, DEFINITION DU SYSTEME PROPOSE ET BESOINS IDENTIFIES	14
4.1	Principales conclusions de la tournée de consultation	14
4.2	Bilan succinct de la crue 1999	19
4.4	Besoins en formation, études et équipement identifiés	21
5	ESTIMATION DU COUT	22
6	CHRONOGRAMME DE L'ETUDE	37
6.1	Chronogramme des activités de l'OMVS / HC concernant le Plan d'Alerte	37
6.2	Chronogramme de l'Etude	38
7	MESURES D'ACCOMPAGNEMENT ET POSTERIEURES	42
7.1	Mesures d'accompagnement urgentes	42
7.2	Mesures postérieures au niveau du Plan d'Alerte	43

ANNEXE: TABLEAUX AUXILLIAIRES DU CALCUL DES COUTS

1 INTRODUCTION

1.1 Base contractuelle

Le présent rapport a été établi dans le cadre de l'étude effectuée en vue de l'élaboration des Termes de Référence de la 2^{ème} phase du Plan d'Alerte / Système de communication du fleuve Sénégal, sur la base du Contrat du 30 novembre 1999 entre l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) et les Consultants Dr. Ali Neumann et Peter Zeppenfeld, conformément aux exigences de ce contrat en matière d'établissement des rapports.

1.2 Consultants

Toujours en conformité avec les stipulations du Contrat susmentionné, l'étude a été réalisée par les Consultants suivants:

- Dr. Ing. Ali Neumann, Chef d'équipe, ingénieur hydraulique et hydrologue, ayant son domicile principal à Quito/Equateur
- Peter Zeppenfeld, Consultant local, agro-économiste, ayant son domicile principal à Nouakchott/Mauritanie

1.3 Chronogramme et itinéraire de la mission

Conformément à l'offre technique du Consultant, la mission s'est déroulée à Dakar et dans la sous-région du 14 mars au 18 avril 2000 comprenant les phases distinguées ci-dessous. Lors de la tournée de consultation, la mission a été accompagnée par M. Malang Diatta, hydrologue au Haut-Commissariat de l'OMVS.

- du 14 au 20 mars 2000 : études préliminaires à Dakar
- du 21 mars au 09 avril 2000 : tournée de consultation comportant les étapes principales suivantes : Dakar – Saint-Louis – Diama – Dagana – Rosso – Nouakchott – Rosso – Podor – Lexeiba – Matam – Kaédi – Bakel – Kayes – Bafoulabé – Manantali – Bamako – Dakar
- du 10 au 18 avril 2000 : définition du Plan d'Alerte à Dakar
- du 19 avril au 10 mai 2000 : établissement du présent rapport provisoire au domicile des Consultants

2 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

2.1 Contexte de l'étude

Répondant à un souci d'information et d'alerte des populations riveraines et des usagers de l'eau du fleuve Sénégal, l'OMVS a entrepris, dès 1992, la mise en place d'un Plan d'Alerte. A la première phase d'étude, qui a eu lieu entre 1992 et 1997, doit succéder une deuxième phase. C'est dans ce contexte que s'est déroulée la mission d'étude des termes de référence pour la 2^{ème} phase de l'étude du Plan d'Alerte / Système de communication, en mars et avril 2000.

2.2 Conclusions de la 1^{ère} phase de l'étude du Plan d'Alerte

L'étude de la 1^{ère} phase du Plan d'Alerte avait pour objet principal d'établir les principes généraux d'une annonce des crues et l'élaboration d'outils pour le niveau local au niveau de zones test. Cette première phase s'est poursuivie par un Séminaire tenu à Saint-Louis en 1996 et une évaluation des résultats de la 1^{ère} phase, en 1997. Lors de cette première phase, deux zones test avaient été choisies, l'une dans la haute vallée (Bafoulabé – Mahina au Mali), l'autre représentative de la basse et moyenne vallée (avec Lexeiba sur la rive mauritanienne et Podor sur la rive sénégalaise). L'évaluation de cette 1^{ère} phase a abouti à la proposition d'une deuxième phase devant couvrir l'ensemble de la vallée.

2.3 Objectifs de la mission d'étude des termes de référence de la 2^{ème} phase

L'étude vise à satisfaire aux exigences des termes de référence correspondants préparés par l'OMVS en août 1999. Ce document indique clairement que l'objectif consiste à "définir en détail le Plan d'Alerte des crues du fleuve Sénégal" qui sera mis en place par la suite par une firme de consultants recrutée à cet effet. Cette dernière "formera les intervenants et parties concernées et fournira les équipements et matériels nécessaires".

Il s'agissait en conséquence de définir dans le détail les mécanismes d'alerte adéquats, les acteurs impliqués, les actions d'information et de formation, les études techniques éventuellement nécessaires et les équipements à installer. Enfin, il fallait estimer le budget correspondant et préparer les termes de référence pour permettre le recrutement de la firme de consultants qui sera chargée de la réalisation.

3 RESUME DE LA METHODOLOGIE SUIVIE

L'étude s'est déroulée conformément à la méthodologie proposée par le Consultant intégrée sous forme d'Annexe A au contrat d'étude. Les bases de travail étaient essentiellement constituées par :

- les termes de référence des Consultants
- les documents de la première phase de l'étude du Plan d'Alerte,
- les rapports et notes relatifs aux autres études et travaux de l'OMVS, notamment dans le cadre du programme PASIE,
- les textes législatifs en vigueur et les projets existants,
- les manuels des logiciels ORSTOM (aujourd'hui IRD) et autres logiciels utilisés,
- les conclusions du Séminaire de Saint-Louis (1996),
- le rapport de la mission d'évaluation de la première phase de l'étude du Plan d'Alerte (1997),
- les renseignements à tirer de la crue 1999,
- les nouvelles connaissances des intervenants à l'issue de la mission.

Sur la base des documents existants et des conversations avec le Haut-Commissariat, les Consultants ont procédé à une formulation préliminaire du contenu à donner à la nouvelle phase de l'étude du Plan d'Alerte et du système de communication. Pour ce faire, ils ont suivi dans une large mesure les conclusions et recommandations de la mission d'évaluation de 1997 qui contient déjà des propositions détaillées et toujours d'actualité pour une deuxième phase d'étude. Ces conclusions ont été discutées avec les représentants du Haut-Commissariat, notamment au Département Technique.

Une formulation préliminaire de l'objectif, dérivée de celle figurant dans le rapport d'évaluation de la première phase, a servi de base aux discussions avec les autres parties intéressées qui ont été rencontrées au cours de la tournée de consultation. Les objectifs, les mécanismes d'annonce des crues et les besoins de formation, d'études techniques complémentaires, d'outils de travail et d'équipements ont été les principaux points abordés au cours de ces discussions.

Outre le Haut-Commissariat, les consultations ont concerné les parties intéressées suivantes :

- la SOGED à Rosso et à Diama,
- la SOGEM à Bamako et à Manantali,
- les Etats, avec en particulier :
 - les Cellules nationales OMVS,
 - les autorités impliquées ou qui devraient être impliquées dans la transmission de l'information,
 - les autorités concernées par la mise en place des structures supplémentaires éventuelles jugées indispensables pour l'information des riverains (comme par exemple les postes d'annonce des crues décentralisés),

- les riverains et usagers de l'eau, y compris les collectivités locales, en certains endroits selon un choix opéré par les Consultants qui a essentiellement pris en compte les zones test de la première phase d'étude et les zones de plus grande vulnérabilité.

L'ensemble des discussions avec ces parties a permis, par la suite, d'adapter et de préciser les objectifs et les systèmes à prévoir pour l'annonce des crues et l'alerte, de définir les actions à entreprendre, de les planifier selon un calendrier précis et de les budgétiser.

Les documents élaborés par les Consultants à l'issue de la mission d'étude des termes de référence de la 2^{ème} phase du Plan d'Alerte sont en particulier :

- le Rapport de l'étude, dont fait partie le présent "rapport d'étude";
- un projet de Termes de Référence pour la deuxième phase.

4 RESULTATS DE LA MISSION, DEFINITION DU SYSTEME PROPOSE ET BESOINS IDENTIFIES

4.1 Principales conclusions de la tournée de consultation

Les principales conclusions du séminaire de Saint-Louis et de la mission d'évaluation de 1997 se confirment: malgré l'existence des outils de prévision des crues, parmi lesquels COREDIAM fonctionne relativement bien entre Bakel et Diama, l'annonce des crues ne se fait toujours pas d'une manière efficace, et les besoins au niveau local, essentiellement en matière de connaissance des cotes d'alerte, ne sont pas satisfaits. Une évaluation des mesures de la 1^{ère} phase, effectuée dans le cadre de la présente étude des termes de référence, est donnée au paragraphe 3.2 des Termes de Référence.

La tournée de consultation a en outre permis d'éclairer les points suivants, qui ont été pris en compte, dans la mesure du possible, lors de l'élaboration des Termes de Référence et lors de la rédaction des "recommandations essentielles" du rapport de synthèse.

Etudes

- La société qui exploitera Manantali devra continuer à faire l'acquisition des données hydrologiques et les prévisions pour l'amont et l'aval du barrage.
- Il ne serait pas souhaitable de faire une étude et de l'oublier. Il est nécessaire de faire un suivi. Un premier suivi devrait être inclus au niveau même de l'étude. Par la suite, le Haut-Commissariat devra continuer à veiller au bon fonctionnement et à l'amélioration du Plan d'Alerte.
- La ville de Saint-Louis souffre d'inondations graves, mais aucun outil ne permet de faire des prévisions pour cette ville. Une étude doit être recommandée. Il faudrait au moins disposer d'un outil de prévision pour les cotes à Saint-Louis en fonction des niveaux et débits prévus à Diama, si possible en fonction des débits ou hauteurs d'eau à Bakel.
- En cas de catastrophe, il serait souhaitable de disposer de procédures d'alerte pour la zone située à l'aval immédiat du barrage. Des recommandations relatives à l'envergure et la fréquence de simulations, et à l'organisation de la logistique seraient utiles.
- Une sirène d'alarme doit être installée à Manantali pour avertir des ouvertures des vannes et pouvoir sonner l'alarme en cas de catastrophe.
- La mauvaise performance du logiciel PROGEMAN au cours de la crue 1999 semble indiquer que les apports du bassin intermédiaire ont joué un rôle important au cours de cette crue, et qu'il serait souhaitable de disposer d'un moyen pour les évaluer ou, mieux encore, en faire des prévisions: il s'agirait alors probablement du modèle pluie-débit pour le bassin intermédiaire. Ce dernier ne doit pas être confondu avec les modèles pluie-débit pour Oualia et Gourbassi dont l'IRD met en cause l'utilité dans ses dernières études relatives à l'optimisation de la crue artificielle.
- Les défluent tels le système des lacs Térékolé-Kolebiné-Lac Magui fait partie de la zone d'influence directe du barrage de Manantali.

Prévisions et communication

- L'opérateur radio de Bakel, qui est l'agent de l'Hydraulique sénégalaise dans cette ville, est actuellement incontournable pour la transmission des informations entre Manantali et la moyenne et basse vallée. Il faut s'assurer de ce que la SEM continuera à le prendre en

charge (indemnités). En plus il est souhaitable de le doubler par un opérateur coté mauritanien.

- Le barrage de Manantali devrait être mieux desservi par le téléphone. Les problèmes y afférant sont à régler d'urgence. La SOGEM doit faire pression en ce sens auprès de l'Entreprise ou auprès de la SOTELMA. La gendarmerie devrait également être raccordée.
- Le Haut-Commissariat doit être connecté au réseau radiophonique de l'OMVS. Il lui faut à cet effet régler ses problèmes avec la SONATEL et disposer d'un équipement.
- Le téléphone fonctionnant très mal à Rosso, il faudra s'assurer de ce que la radio fonctionne correctement pour disposer d'un second système. Il convient de remplacer la radio existante et l'antenne, obsolètes.
- Manantali doit faire l'annonce des crues jusqu'à la zone de Bakel / Gouraye: jusque là, la propagation des crues est très rapide (entre zéro et trois jours) et seule l'information en provenance de Manantali peut être assez rapide. L'information nécessaire pour la prévision dans ce secteur est celle recueillie régulièrement par Manantali dans le cadre de sa gestion hydraulique.
- Des prévisions pour Bakel et le Guidimakha doivent être faites à partir de Manantali et diffusées par radio si les outils et données nécessaires sont disponibles et fonctionnent.
- Au delà de la zone Bakel / Gouraye, la SOGED est mieux placée pour faire l'annonce des crues: d'une part, elle dispose de structures à Rosso et à Diama, avec accès téléphonique "national" aux deux états, et d'autre part, elle est intéressée à la satisfaction des besoins des usagers de l'eau, ce qui inclut nécessairement le besoin de prévision.
- Des recommandations relatives aux communiqués d'annonce des crues doivent être faites afin d'en améliorer la teneur, la fréquence et la diffusion.
- En particulier, lors de la diffusion, il faut continuer à insister pour que celle-ci soit directe vers les autorités et radios de la vallée.
- Des alertes doivent aussi être données en cas de pollution de l'eau.
- Il serait utile que les informations (tant de base que les prévisions) soient mises sur Internet.
- Le logiciel COREDIAM devrait être mis à disposition des services et institutions désirant l'utiliser.

Topographie

- Il est très important de rattacher les bornes de référence des stations limnimétriques au cours de l'inventaire des cotes d'alerte.
- La topographie devrait se concentrer là où la population, les investissements et les risques sont élevés.

Postes d'information sur les crues

- Des postes d'information sur les crues devraient être implantés tant au niveau de la population civile qu'au niveau de l'administration, les deux systèmes ayant leurs avantages et leurs inconvénients.
- Il serait utile de disposer d'informations tirées des crues du passé, type cartes synoptiques d'inondation au cours de certaines crues. Remarque: cette recommandation n'a finalement pas été incluse en ces termes dans les Termes de Référence, vu qu'elle demanderait un grand volume de travail et que son utilité serait limitée: un niveau d'instruction relativement élevé est nécessaire pour en faire une bonne interprétation. En

revanche, les niveaux de crues de certaines périodes de retour seront indiqués sur les outils élaborés.

Sensibilisation

- Il est nécessaire de sensibiliser les riverains aux possibilités offertes par le Plan d'Alerte.

4.2 Bilan succinct de la crue 1999

Au niveau de la vallée du fleuve Sénégal, la crue de l'année 1999 a généralement été perçue et décrite comme une " crue exceptionnelle ", bien qu'elle n'ait pas atteint le niveau d'une crue exceptionnelle au sens hydrologique du terme et que des crues plus importantes et plus dévastatrices aient été enregistrées dans le passé (notamment en 1974).

La crue de 1999 permet, cependant, de retenir un certain nombre d'informations et de renseignements, en particulier sur les trois plans suivants :

- les aspects hydrologiques de la crue et la précision des prévisions,
- le fonctionnement du système d'annonce des crues et l'information des populations,
- les dégâts provoqués par la crue dans les domaines économique et social.

Une analyse détaillée de la crue de 1999 est faite dans la 3^{ème} partie de ce rapport.

4.3 Mécanismes proposés pour l'alerte et l'annonce des crues

Les mécanismes proposés pour l'alerte et l'annonce des crues et la préparation au niveau local sont amplement décrites dans les Termes de Référence (section 4.3). Un résumé a par ailleurs été donné dans le rapport de synthèse. Il n'était donc pas utile de les répéter ici.

Comme le lecteur pourra le constater, le système proposé tient compte de l'évaluation de la 1^{ère} phase et des recommandations formulées au paragraphe 4.1 ci-dessus.

4.4 Besoins en formation, études et équipement identifiés

Les besoins en formation, études et équipement sont également abordés dans la section 4.3 des Termes de Référence, où ils trouvent leur justification. Ils sont décrits en détail dans le chapitre 5 des Termes de Référence, raison pour laquelle il n'a pas été jugé nécessaire de les répéter ici.

5 ESTIMATION DU COUT

RECAPITULATION		(FRF)
ETUDE DES REPERCUSSIONS DES CRUES CATASTROPHIQUES ET ALERTE		879 400
RENFORCEMENT DU SYSTEME DE COMMUNICATION ET D'ANNONCE DES CRUES		70 850
CREATION D'OUTILS, SENSIBILISATION ET FORMATION		3 879 630
EVALUATION		246 900
GRAND TOTAL		5 076 780

Le coût estimé de l'étude du Plan d'Alerte / Système de communication (2ème phase) telle qu'elle est décrite dans les Termes de Référence est d'environ cinq millions de francs français, soit 500 000 000 FCFA ou environ USD 700 000.

A ces prix pourra éventuellement venir s'ajouter celui de l'installation d'une sirène à Manantali (estimé à 60 000 FF y compris une étude succincte par le Maître d'Oeuvre), si un autre financement n'est pas trouvé dans le cadre de la construction de la centrale.

L'estimation des coûts présuppose l'adoption d'une certaine méthodologie pour mener l'étude. En annexe, le lecteur trouvera quelques tableaux expliquant la façon de procéder du bureau d'études que nous avons admise. Ces tableaux permettent une analyse des activités et permettent ainsi d'obtenir le temps global nécessaire pour chacune d'entre elles, qui entre alors dans le tableau principal d'évaluation du coût.

Les principaux prix unitaires adoptés pour le personnel sont indiqués au tableau suivant. Les prix "en mission" incluent les per diems pour le logement et l'alimentation. On remarquera que la durée de la semaine de travail a été admise égale à 5 jours de 8 heures au siège et 5,6 jours de 8 heures en mission (journée courte le samedi).

Le coût très élevé des véhicules est dû au nombre élevé de kilomètres parcouru, qui à son tour est dû aux déplacements de et vers les lieux de repos nocturne. Le bureau d'études pourrait choisir une autre méthodologie en équipant par exemple son personnel d'équipement et de voitures-camping. Cette façon de procéder aura cependant aussi son coût.

Prix unitaires du personnel et de certains équipements

Désignation	Prix par jour (FRF)		Prix par mois (FRF)	
	siège	mission	siège	mission
Ing. hydraul. expat.	3 400	3 500	71 400	84 000
Ing. géomètre expat.	3 400	3 500	71 400	84 000
Ing. expert rupture	4 400			
Ing. géotechnicien	4 200			
Ing. modélisateur	3 400			
Spécialiste protection civile	4 200	4 300		
Ing. géomètre local		1 100		26 400
Animateur		1 100		26 400
Techn. aide de camp		900		21 600
Equipement GPS		200		4 800
Véhicule (y.c. 250 km) / j de travail		1 300		31 200

Estimation du coût de l'étude de la 2ème phase du Plan d'Alerte / Système de communication

ETUDE DES REPERCUSSIONS DES CRUES CATASTROPHIQUES ET ALERTE				
	nombre	unité	P.U. (FF)	Prix tot. (FF)
Création de la base topographique				281 800
Préparation				
Ing. géomètre expat.	5	jour	3 400	17 000
Rattachement + repli				
Ing. géomètre expat.	11	jour	3 500	38 500
Ing. géomètre local	7	jour	1 100	7 700
Technicien aide de camp	7	jour	900	6 300
Profil long. barrage - Diéguéra				
Ing. géomètre expat.	2	jour	3 500	7 000
Ing. géomètre local	2	jour	1 100	2 200
Technicien aide de camp	2	jour	900	1 800
Profils en travers				
Ing. géomètre expat.	27	jour	3 500	94 500
Ing. géomètre local	27	jour	1 100	29 700
Technicien aide de camp	27	jour	900	24 300
Logistique				
Vols internationaux	1	vol	6 000	6 000
Véhicule 4x4	36	jour	1 300	46 800
Etude et modélisation des scénarios				473 000
Mission expert				
Ing. expert rupture	6	jour	4 500	27 000
Vols internationaux	1	vol	6 000	6 000
Véhicule 4x4	6	jour	1 300	7 800
Détermination et analyse des scén.				
Ing. expert rupture	20	jour	4 400	88 000
Ing. géotechnicien	10	jour	4 200	42 000
Modélisation mathématique				
Ing. expert rupture	20	jour	4 400	88 000
Ing. modélisateur	63	jour	3 400	214 200
Etude protection civile				124 600
Mission expert				
Spécialiste protection civile	6	jour	4 300	25 800
Vols internationaux	1	vol	6 000	6 000
Véhicule 4x4	6	jour	1 300	7 800
Etude				
Ing. expert rupture	5	jour	4 400	22 000
Spécialiste protection civile	15	jour	4 200	63 000
Total				879 400

RENFORCEMENT DU SYSTEME DE COMMUNICATION ET D'ANNONCE DES CRUES				
	nombre	unité	P.U. (FF)	Prix tot. (FF)
Fourniture de matériel radio				38 100
Radio BLU	3	u	7 000	21 000
Bloc alimentation	2	u	3 000	6 000
Antenne, câbles	3	u	2 500	7 500
Panneau solaire, régulateur, batterie	1	u	3 000	3 000
Lot table + chaise	2	u	300	600
Ordinateur PC suivi de crue				8 000
Ordinateur Pentium + écran 15"	1	u	8 000	8 000
Installation radio HC				4 550
Technicien installateur	2	j	800	1 600
Câble d'antenne HC	50	m	15	750
Petit matériel	1	u	2 200	2 200
Installation radio Rosso				8 700
Technicien installateur	3	j	800	2 400
Per diems	3	j	300	900
Véhicule	3	j	1 300	3 900
Mât et haubans	1	u	1 500	1 500
Installation radio Guidimakha				11 500
Technicien installateur	4	j	800	3 200
Per diems	3	j	300	900
Véhicule	3	j	1 600	4 800
Mâts, haubans, protection panneau	1	u	2 600	2 600
Total				70 850

CREATION D'OUTILS, SENSIBILISATION ET FORMATION				
	nombre	unité	P.U. (FF)	Prix tot. (FF)
Préparation				<i>168 000</i>
Ing. hydraul. expat.	1	mois	84 000	84 000
Ing. géomètre expat.	1	mois	84 000	84 000
Personnel tournées				<i>2 545 200</i>
Ing. hydraul. expat.	10,5	mois	84 000	882 000
Sociologue/Technicien local	10,5	mois	26 400	277 200
Ing. géomètre expat.	10,5	mois	84 000	882 000
Ing. géomètre local	10,5	mois	26 400	277 200
Technicien aide de camp	10,5	mois	21 600	226 800
Logistique				<i>1 166 430</i>
Vols internationaux	3	vol	6 000	18 000
3 véhicules 4x4 (250 km/j de travail)	31,5	mois	31 200	982 800
Matériel GPS	11	mois	4 800	52 800
Jeu de cartes orig.	2	u	2 500	5 000
3 jeux de cartes montées x90	270	u	50	13 500
3 jeux pour Cercle/Wilaya/Dépt. x94	282	u	20	5 640
9 jeux reliés complets x94	846	u	15	12 690
Interprètes	270	jour	100	27 000
Raffraîchissements pour séances	90	u	300	27 000
Barres d'acier (bornes)	1 500	u	2,67	4 000
Indemnisations agents divers	90	u	200	18 000
Total				<i>3 879 630</i>

EVALUATION				
	nombre	unité	P.U. (FF)	Prix tot. (FF)
Personnel tournées				<i>168 000</i>
Ing. hydraul. expat.	2,0	mois	84 000	168 000
Logistique				<i>78 900</i>
Vols internationaux	1	vol	6 000	6 000
Véhicule 4x4 (250 km/j de travail)	2,0	mois	31 200	62 400
Perdiems représentant HC	1,0	mois	10 500	10 500
Total				<i>246 900</i>

6 CHRONOGRAMME DE L'ETUDE

6.1 Chronogramme des activités de l'OMVS / HC concernant le Plan d'Alerte

Si l'objectif est d'achever l'étude avant fin 2001, le temps disponible est court. En effet, il faut compter environ 45 semaines pour l'installation des postes d'information sur les crues et l'élaboration des outils correspondants, sans compter que la haute vallée ne devrait être abordée qu'une fois connus les résultats de l'étude des crues catastrophiques; que l'on ne pourra pas travailler efficacement au cours de l'hivernage; et qu'une évaluation doit encore être faite après la crue de l'an 2001.

Les délais à respecter jusqu'au démarrage de l'étude devraient alors être les suivants:

Activité	Début	Durée	Fin
Appel d'offres	03-09-00 ¹ 01-09-00	4 semaines	04-10-00 ¹ 29-09-00
Evaluation des offres	02-10-00	1 semaine	09-10-00 ¹
Notification, négociation, signature	09-10-00 ¹	2 semaines	23-10-00 ¹
Etude	01-11-00 ¹	14 mois	31-12-01 ²

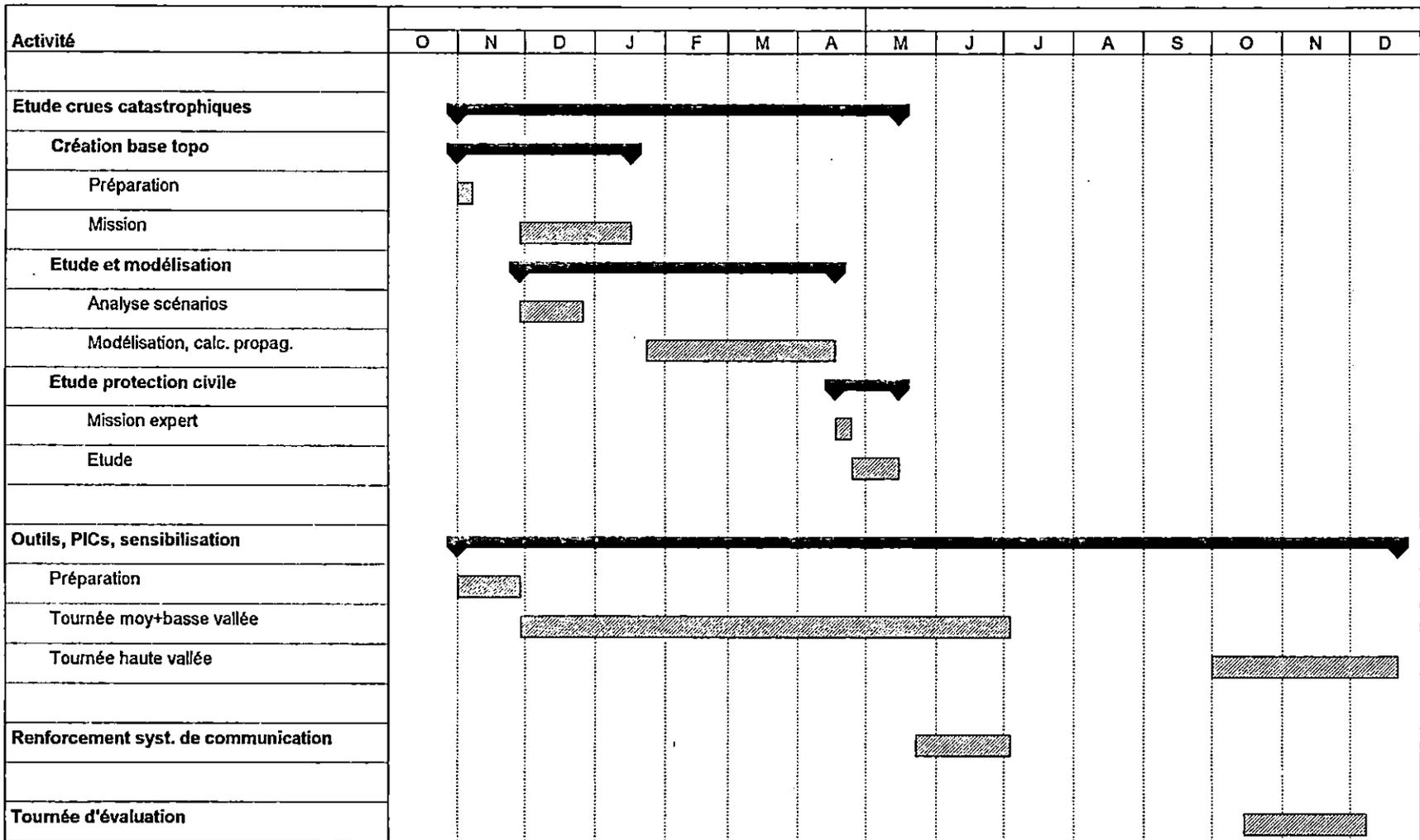
6.2 Chronogramme de l'Etude

Une ébauche de chronogramme de l'étude est donnée à la page suivante. Les principes généraux sont les suivants:

L'étude des crues catastrophiques peut démarrer immédiatement avec la création de la base topographique. L'analyse des scénarios peut également démarrer dès le début de l'étude. Par contre, le début de la modélisation dépend de l'achèvement des relevés topographiques de la zone située à l'aval immédiat du barrage (et de l'étude des scénarios). L'achèvement de l'étude des crues catastrophiques est à son tour une condition pour le début de la mise en place des postes d'information sur les crues dans la haute vallée, qui pourrait donc en principe commencer en avril 2001. Toutefois, pour utiliser la même équipe qui réalise le travail dans la moyenne et basse vallée, l'attaque de la haute vallée attend ici jusqu'après l'hivernage (octobre 2001).

La brèveté du temps disponible n'est pas favorable au bon déroulement de l'étude: d'une part, il est nécessaire de commencer avec deux équipes topo, ce qui signifie que chacune d'entre elles va avoir besoin d'un temps de repérage et de mise au point de son système d'avancement; d'autre part, la mission d'évaluation devant intervenir avant la fin de 2001, il n'est guère possible qu'un même chef d'équipe hydrologique et hydraulique participe à la mise au point des outils dans toute la vallée et en même temps à l'évaluation. Par conséquent, un temps d'apprentissage d'une personne supplémentaire sera là aussi nécessaire.

Une solution possible serait de travailler, lors de l'élaboration des cartes d'alerte, avec deux équipes topo, de manière à pouvoir faire plus que deux zones par semaine, avec cependant le risque de manque d'homogénéité des cartes.



7 MESURES D'ACCOMPAGNEMENT ET POSTERIEURES

7.1 Mesures d'accompagnement urgentes

Les mesures d'accompagnement qui font l'objet des recommandations spéciales du Rapport de Synthèse sont en grande partie nécessaires au bon fonctionnement du Plan d'Alerte. Il est recommandé de les mettre en oeuvre dès à présent, pour que l'annonce des crues fonctionne correctement en l'an 2000 et pour que le Plan d'Alerte puisse être testé dans des conditions optimales au cours de la crue de l'an 2001. Quelques précisions sont données ci-après:

Au niveau de l'élaboration et de la transmission des annonces, il doit être fait obligation aux sociétés de gestion des barrages de s'acquitter de cette tâche essentielle qui conditionne le fonctionnement de tout le système : sans annonce (et transmission correcte et rapide) des prévisions de crues, aucune préparation ne peut se faire au niveau des riverains et usagers de l'eau et ces derniers seront surpris par l'arrivée de la crue, comme en 1999. Pour être efficace et suivie, l'obligation doit être précisée et il faut responsabiliser le service compétent et son titulaire au niveau de la société de gestion. Des sanctions sont à prévoir en cas de non respect. Un suivi des crues doit être installé au Haut-Commissariat pour rendre possible et efficace le contrôle et l'adoption de mesures correctives.

Si le transfert de la gestion des ouvrages de Manantali à un opérateur privé se réalise, l'obligation dont il a été question doit être prévue au moment de la constitution du Dossier d'appel d'offres et figurer dans le cahier des charges de l'opérateur. Le contrat une fois signé avec cet opérateur, il sera plus difficile d'exiger de sa part des prestations complémentaires, en particulier si elles entraînent des coûts.

7.2 Mesures postérieures au niveau du Plan d'Alerte

Un certain nombre de recommandations sont données ici concernant la poursuite des activités relatives au Plan d'Alerte par l'OMVS et les Etats. Le bureau d'études chargé des études de la 2^{ème} phase devra aussi fournir des suggestions pour l'amélioration du système et la poursuite des activités.

Le Plan d'Alerte une fois mis en place et opérationnel, l'OMVS et les Etats riverains doivent s'assurer du fonctionnement du système mis en place durant de longues années. En effet, il y a un risque de relâchement et de laisser-aller, notamment dans le cas de crues successives de faible ampleur.

Au niveau local, le même risque de relâchement qu'au niveau des institutions impliquées dans l'annonce des crues existe. La sensibilisation et la mobilisation des riverains et usagers doit être maintenue, notamment par l'arrivée régulière sur place de communiqués d'annonce des crues. Les informateurs locaux doivent être soutenus par l'Administration dont les représentants, lors de leurs déplacements dans les localités de leur circonscription, doivent souligner l'utilité et l'intérêt pour les populations. L'Administration devra veiller à ce qu'un nouvel informateur soit mis en place au niveau de la société civile dès que l'un des deux informateurs volontaires (l'informateur ou son remplaçant) ne pourra plus assumer ses fonctions. Pour ce faire, il ne faudra pas attendre que le remplaçant ait disparu lui aussi pour choisir un nouvel informateur, le savoir-faire accumulé par les prédécesseurs risquerait alors d'être perdu.

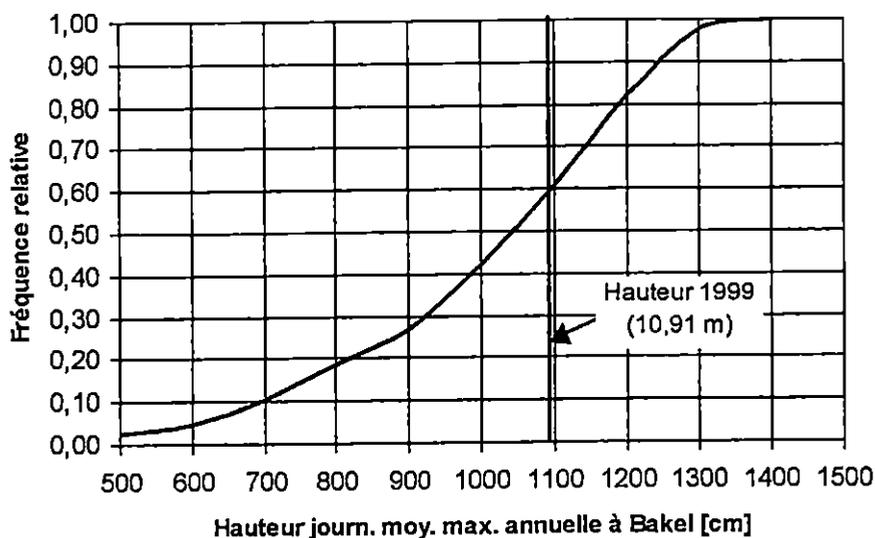
Sur un plan plus général l'OMVS et, en particulier, les Etats riverains devraient surveiller de plus près l'installation de populations et implantation de périmètres agricoles non sécurisés dans des zones régulièrement menacées. En effet, l'étude des dégâts provoqués par la crue

de 1999 a démontré que depuis le début des années de sécheresse et la mise en service des barrages, de nombreuses localités se sont installées ou étendues sur des zones autrefois non habitées parce que les populations locales étaient conscientes des risques encourus. Deux exemples criants sont le village de Goumel près de Dagana et celui de Donaye près de Podor qui n'ont pas seulement été fortement touchés par la crue de 1999 mais dont certains quartiers sont régulièrement inondés aux dires des habitants rencontrés (notamment en 1989, 1994, 1995, 1999, pour ne parler que de la période la plus récente). Pour ce genre de lieux, les autorités compétentes, de concert avec les populations concernées, devraient rapidement chercher des solutions permettant une sécurisation (endiguement des villages ou quartiers sensibles, rehaussement ou réhabilitation de digues existantes, etc.) ou, dans les cas extrêmes, conseiller le déménagement des population et l'abandon définitif des lieux.

Ces recommandations et d'autres sont résumées ici sous forme de liste:

- Il conviendra de veiller constamment au bon fonctionnement du système d'annonce des crues.
- Il faudra chercher à développer des modèles de plus en plus fiables, surtout pour le haut bassin, et à promouvoir la prévision et l'annonce des crues avec les meilleurs outils disponibles.
- Selon l'état de développement des modèles et des systèmes d'acquisition des données, il pourra être possible d'envisager non seulement une prévision satisfaisante des crues dans le Bafing et le Sénégal, mais également le long des autres grands affluents.
- Lorsqu'une cartographie détaillée et récente de la vallée deviendra disponible, ou lorsque des changements importants se manifesteront au niveau des paramètres reportés sur les cartes d'alerte et autres outils, il deviendra opportun de procéder à une mise à jour de ces outils. Une nouvelle cartographie détaillée de la vallée du fleuve permettrait aussi d'améliorer la qualité des modélisations d'écoulements de crues catastrophiques à l'aval du barrage.
- Lorsque les grandes lignes de la politique d'exploitation de l'aménagement de Manantali auront été fixées, ce qui permettra de connaître plus en détail la probabilité d'apparition de différents débits le long du fleuve, il devra être vivement recommandé aux Etats de définir des zones de sécurité à l'intérieur desquelles tout peuplement humain doit être interdit et évacué s'il s'y est déjà installé, lorsqu'il n'est pas possible de le protéger efficacement. La Charte des Eaux, les manuels de gestion des barrages et les outils élaborés au cours de la 2ème phase d'étude du Plan d'Alerte devraient en principe suffire pour procéder à un travail dans ce sens. Une étude hydrologique relativement courte sera suffisante pour définir les paramètres d'un tel plan de zones.

**3^{ème} Partie : SUPPLEMENT RELATIF A
LA CRUE DE 1999**



Fréquence relative de la hauteur de 1999 à Bakel au cours de la période 1903-1987

Si l'on compare le niveau atteint par la crue de 1999 à Bakel aux niveaux maximaux atteints au cours de la période avant-barrage, on se rend compte que ce niveau est tout-à-fait moyen. La fréquence avec laquelle les crues du passé ont été inférieures à celle de 1999 est de l'ordre de 60% (figure ci-dessus). En considérant les stations de Matam et Podor situées plus à l'aval et pour lesquelles des données sont également disponibles pour la période citée, la fréquence en question passe à 49% et 54% respectivement (tableau ci-dessous), ce qui confirme le caractère relativement moyen de cette crue dans le contexte de l'avant-barrage.

Echelle de →	Bakel	Matam	Podor
Hauteur observée	10,91 m	8,50 m	5,65 m
Fréquence	59%	49%	54 %

Fréquence, pendant la période 1903-1987, des hauteurs maximales annuelles inférieures ou égales à celles observées en 1999, à différentes échelles

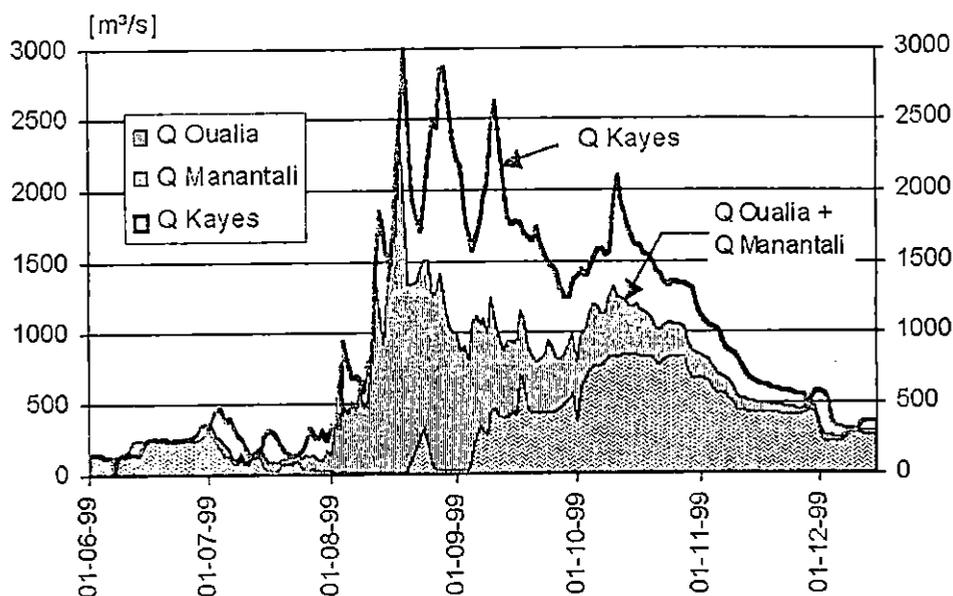
La crue de 1999 dans le contexte de l'après-barrage

Dans le contexte de l'après-barrage, la hauteur d'eau observée correspond bien sûr à une crue plus exceptionnelle qu'une crue moyenne. Comme nous le verrons ci-dessous, en l'absence du barrage de Manantali, la crue de 1999 aurait fait environ 11,70 m à Bakel (environ 1000 m³/s de plus), d'où une fréquence proche, d'après le graphique ci-dessus, de 100%-80% = 20%, ce qui correspond à une période de retour de 5 ans.

La fréquence qu'aura finalement une crue de cette ampleur dans l'avenir dépendra beaucoup des priorités qui seront fixées dans le cadre de la gestion du barrage (et, bien sûr, de l'hydraulique des années à venir).

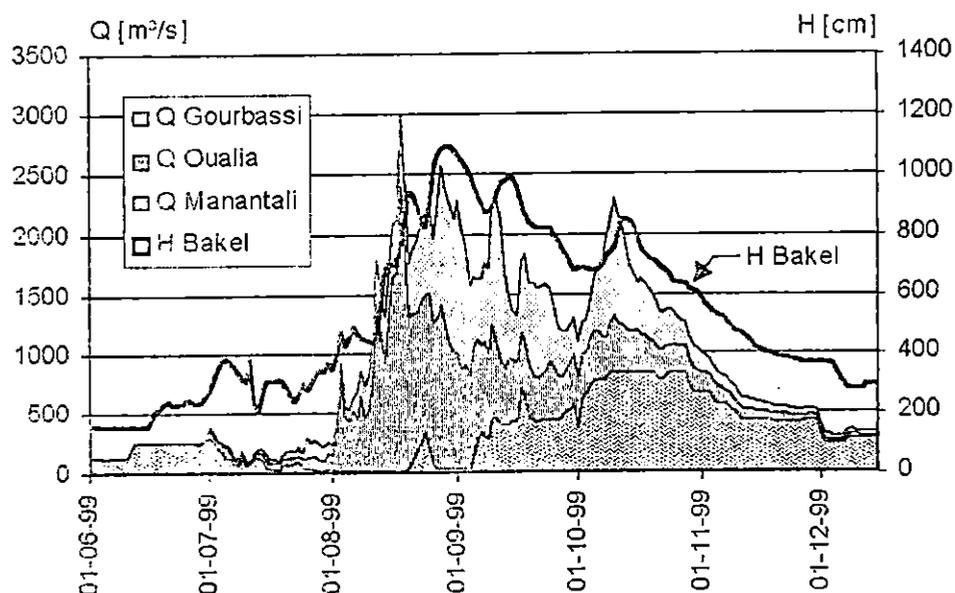
Indépendamment des règles de gestion adoptées pour le barrage de Manantali, les barrages de seconde génération, s'ils se construisent, permettront de réduire davantage encore la fréquence d'apparition d'une crue comme elle a été vécue. C'est essentiellement le cas de Goubassi, Petit Gouina et Férou étant plutôt des barrages au fil de l'eau.

2.2 La crue de 1999 dans le Haut-Bassin jusqu'à Bakel



Débits à Manantali (sortie barrage), Oualia et Kayes pendant la crue de 1999

En observant la figure ci-dessus, on constate que la crue de 1999 à Kayes a essentiellement été marquée par l'influence du Bakoye (Q Oualia), surtout pour ce qui est de la première pointe de crue à la mi-septembre (environ 3000 m³/s). Les deuxième et troisième pointes, légèrement moins fortes que la première, ne s'expliquent que très partiellement par les débits de Oualia et Manantali. Elles doivent surtout être l'oeuvre des apports du bassin intermédiaire, et en particulier de la Kolombiné. Les apports du Bafing ont été différés jusqu'en début-octobre, lorsque les volumes lâchés, associés à une petite pointe du Bakoye, provoquent une nouvelle pointe à Kayes, beaucoup plus faible cependant que les précédentes.

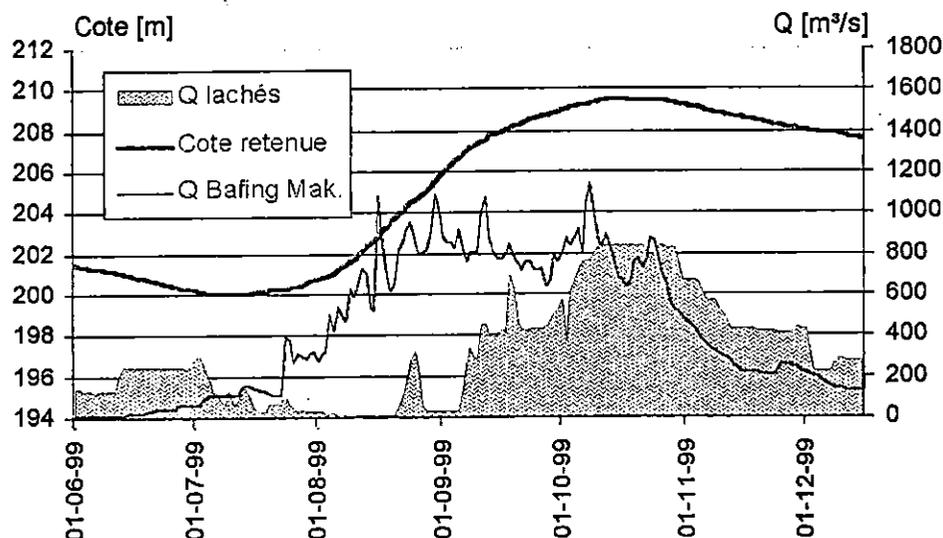


Débits à Manantali, Oualia, et Gourbassi et hauteur à Bakel pendant la crue de 1999

Les pointes de débit de la Falémé (Q Gourbassi) se sont ajoutées à celles du Sénégal à Kayes pour produire quatre pointes de crue à Bakel. Bien que les débits cumulés de la

première pointe à Kayes et Gourbassi soient plus forts que dans le cas des pointes suivantes, le breveté de l'augmentation de débit n'a pas suffi pour produire à Bakel la hauteur maximale de l'année. Celle-ci sera enregistrée au cours de la deuxième pointe, qui surviendra alors que les effets de la première pointe ne se sont encore que très peu atténués. La troisième pointe interviendra alors que la hauteur d'eau aura déjà baissé de plus de 2m, mais ses effets se feront surtout sentir dans la basse vallée, tout comme, dans une moindre mesure, ceux de la quatrième pointe – celle où interviennent les volumes lâchés par Manantali.

2.3 La gestion de Manantali et le rôle du barrage



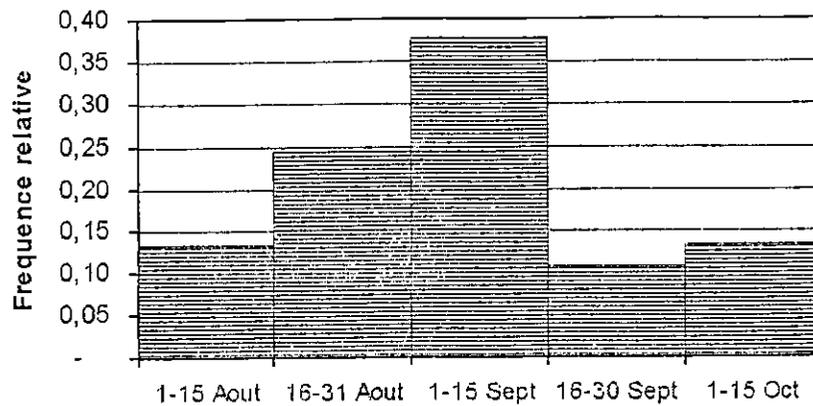
Gestion du barrage de Manantali pendant la crue de 1999

Nous avons indiqué plus haut que l'écoulement du Bafing a été différé. En fait, en analysant la figure ci-dessus, on constate qu'une grande partie des volumes du Bafing à Bafing-Makana (Bafing-Makana représente presque la totalité des apports au lac) ont contribué au remplissage de la retenue et n'ont pas été relâchés ($> 3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$). Cette rétention importante était possible parce que le niveau de la retenue avant la crue subissait encore les conséquences de l'abaissement du plan d'eau pour la réparation du rip-rap. 1999 a été la première année pendant laquelle la cote 208,00, celle de la retenue normale du barrage, a été atteinte depuis la réparation du rip-rap.

Les conditions étaient donc idéales pour un écrêtage efficace de la crue du Sénégal. On peut dire que les débits à Bakel ont été réduits pratiquement de 1000 m³/s. En fait, pour réduire les effets de la crue dans la basse vallée, l'exploitation du barrage a joué sur la revanche disponible (au dessus de la cote 208,00) afin de retarder au maximum les écoulements provenant de Manantali. La cote 208,00 a été dépassée le 16 septembre et le niveau maximum de la retenue de Manantali a été atteint les 12 et 13 octobre avec 209,53 m. Cette stratégie n'est pas sans risque, pas tellement parce que le barrage pourrait être débordé (l'évacuateur des crues étant contrôlé par des vannes, les débits peuvent être rapidement augmentés à des niveaux proches de ceux des débits entrant dans la retenue lors de la crue millénale), mais surtout parce que l'apparition d'une crue exceptionnelle lorsque la revanche est déjà utilisée obligerait à relâcher les débits entrants sans écrêtage.

La figure ci-dessous, qui représente la distribution des dates d'apparition des maximums annuels du Bafing, nous montre que près de 25% des pointes de crue apparaissent après le 15 septembre. Même si le risque couru paraît faible en comparaison avec les conséquences des inondations encore plus fortes qui ont pu être évitées dans la basse

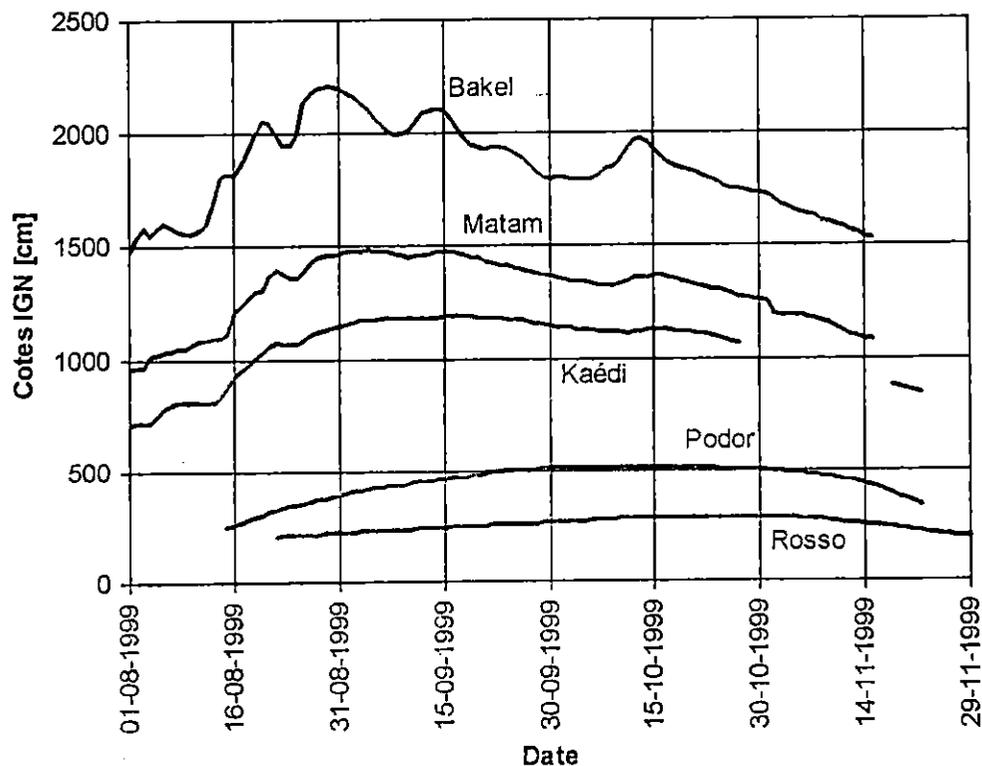
vallée grâce à la stratégie adoptée, il paraît important de fixer des limites à ne pas dépasser dans le cadre des consignes de gestion.



Distribution des dates des maximums annuels à Bafing-Makana (1961-1999)

Il est certain que la gestion réalisée a été d'une grande utilité pour réduire les dommages à l'aval de Bakel. Comme déjà annoncé, sans le barrage, la pointe de la crue aurait pu être de quelques 1000 m³/s plus forte. Cela aurait signifié environ 80 cm de plus de hauteur d'eau (pente de la courbe de tarage entre 5000 et 6000 m³/s). Alors la crue à Bakel, comparée aux crues de l'avant-barrage, aurait eu une fréquence de 1/5 au lieu de 1/2 environ.

2.4 La crue de 1999 dans la moyenne et basse vallée

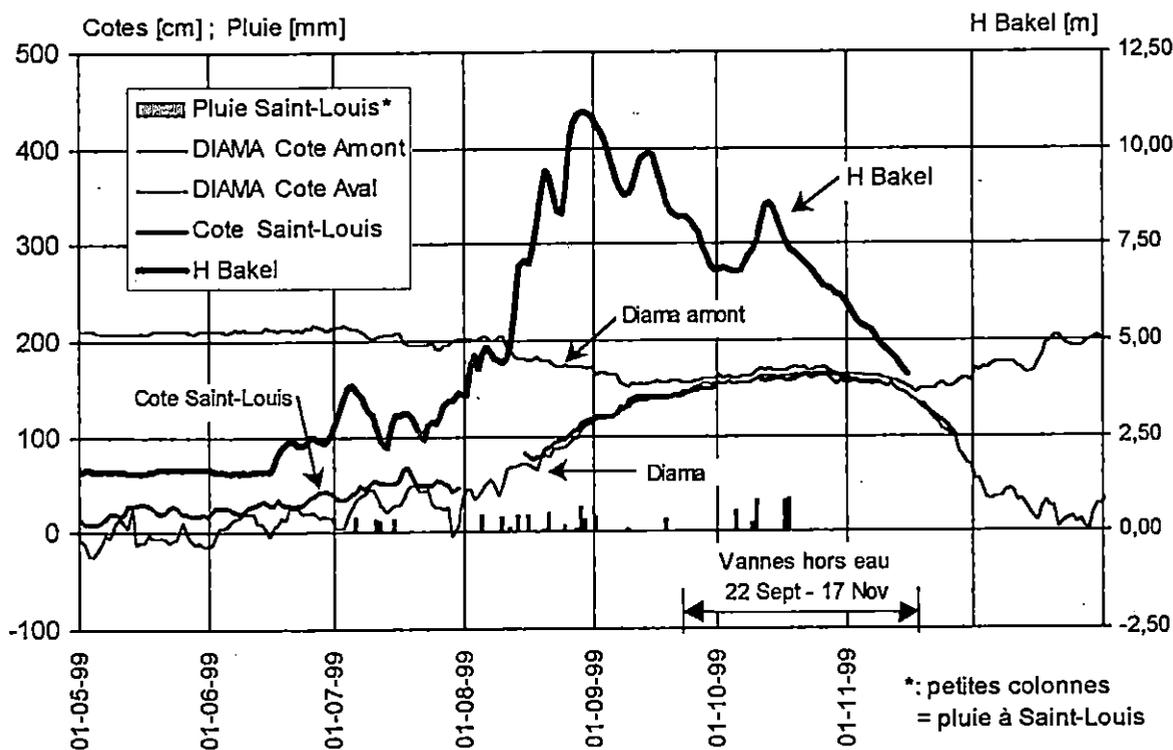


Propagation de la crue de 1999 à l'aval de Bakel, en cotes IGN

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de Bakel vers l'aval, les pointes de crue distinctes fusionnent peu à peu et la crue s'étale, sa propagation se ralentit, les maximums se font plus tardifs. Il s'agit là du schéma usuel de la propagation des crues du fleuve Sénégal dans la moyenne et basse vallée où les affluents se font rares et le relief devient de plus en plus plat. Ce schéma se retrouve en 1999, assorti de quelques détails.

Le maximum de la crue est atteint à Bakel le 29 août. Il s'agit là de la deuxième pointe de l'hydrogramme. A Matam, le maximum est atteint quelques jours plus tard, sous l'effet de la même deuxième pointe qui avait donné lieu au maximum à Bakel. Toutefois, la troisième pointe de Bakel, qui est encore aisément identifiable à Matam, conduit à un niveau quasiment équivalent à la mi-septembre. A partir de Kaédi, où le maximum est enregistré le 17 septembre, la troisième pointe ne se distingue plus de celle qui la précède, et à partir de Podor l'hydrogramme n'est plus qu'une seule forme de cloche homogène très aplatie. La quatrième pointe de l'hydrogramme à Bakel, qui intervient pratiquement un mois après la troisième, contribue ici à retarder considérablement la décrue.

2.5 La gestion du barrage de Diama



La gestion du barrage de Diama et l'évolution de la crue de 1999 à Saint-Louis

Comme le montre la figure ci-dessus, le niveau du lac de Diama a commencé à être sérieusement abaissé à partir du moment où les eaux montaient déjà fortement à Bakel. La question qui a alors été posée a été dans quelle mesure l'abaissement tardif du plan d'eau de Diama aurait contribué aux inondations qui ont eu lieu tant à l'amont qu'à l'aval du barrage.

En supposant que le volume de la retenue de Diama est de 250 millions de m³ à la cote 1,50 m et de 580 millions de m³ à la cote 2,50 (objectifs de l'aménagement), on obtient un stockage de 330 millions de m³ dans cette tranche de 1m. En supposant que le plan d'eau aurait été abaissé de 20 cm supplémentaires avant l'arrivée de la crue, on aurait donc pu stocker environ $0,2 \times 330 = 66$ millions de m³. Ce volume de stockage supplémentaire aurait

permis d'emmagasiner les eaux de seulement sept heures d'écoulement pour un débit de 2500 m³/s ($66.10^6 / 2500 \times 3600 = 7,33$). Il semble donc que le bénéfice d'un abaissement précoce aurait été relativement réduit pour l'amont du barrage. Il en est probablement de même pour l'aval du barrage, le volume d'eau que l'on aurait pu évacuer avant l'arrivée de la crue étant relativement petit. Un phénomène qui n'a pas été pris en compte au niveau de ce calcul simplifié est celui du rechargement des nappes phréatiques: si le plan d'eau est maintenu longtemps à un niveau élevé, les nappes sont chargées lorsque la crue arrive et ne peuvent plus contribuer autant au stockage. Son rôle serait à étudier.

Même si l'on ne peut à priori incriminer l'abaissement tardif du plan d'eau de Diama lorsqu'il s'agit des inondations, il convient de faire remarquer un danger important inhérent à la politique d'abaissement tardif: celui de devoir libérer plus d'énergie dans l'évacuateur de crues que ne permettent les Consignes générales d'exploitation et d'entretien du barrage de Diama:

"Afin de limiter l'énergie à dissiper en aval du barrage au début de la crue, il est nécessaire dans un premier temps de remplir la retenue jusqu'à une cote telle que l'on ne dépasse pas une énergie équivalente à 1000 m³/s sous 1 m de chute, soit: $Q \times H \leq 1000 \text{ m}^4/\text{s}$ avec Q débit et H chute."

" $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \text{Haval} \cong 0,50 \text{ m} \Rightarrow \text{Hamont} \leq 1,50 \text{ m}$ dans un premier temps"

Si la différence entre le niveau amont et le niveau aval est trop forte lorsque la crue commence à entrer dans la retenue, il peut arriver qu'il ne soit plus possible de respecter la limite ci-dessus, ce qui représente un danger pour le bassin d'amortissement et, par suite, pour l'évacuateur de crues. Remarquons qu'au cours de la crue de 1999, la limite de 1000 m⁴/s a été largement dépassée, un chiffre d'environ 1400 m⁴/s ayant été atteint le 11 août.

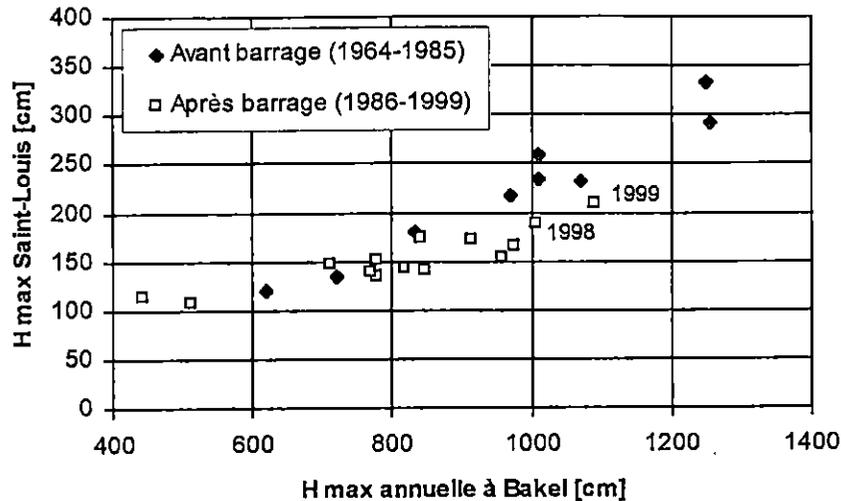
2.5 La crue de 1999 à Saint-Louis

Sur le graphique ci-dessus représentant la gestion du barrage de Diama et l'évolution de la crue 1999 à Saint-Louis, on est surpris de constater que les hauteurs limnimétriques à Saint-Louis, obtenues auprès du Service de l'Hydraulique, et sensées être des moyennes journalières, sont constamment égales ou même supérieures aux hauteurs à l'aval du barrage de Diama. Cet état des choses est physiquement impossible, vu qu'une perte de charge est nécessaire pour que l'eau puisse s'écouler de Diama à Saint-Louis. Il n'a pas été possible de dégager les raisons de cette contradiction, mais plusieurs hypothèses peuvent être avancées: il existe un décalage des zéros des échelles qui n'est pas correctement pris en compte; les valeurs enregistrées à Saint-Louis sont en fait des maximums journaliers influencés par les marées (ces dernières ne représentent cependant que quelques centimètres en période de crue); les données de Saint-Louis sont erronées; les données de Diama sont erronées. Faute de mieux, nous allons pour l'instant admettre que le problème se situe au niveau des zéros d'échelle et nous tâcherons d'éviter de donner trop d'importance aux valeurs absolues des hauteurs limnimétriques à Saint-Louis.

En tout état de cause, on peut admettre que les hauteurs limnimétriques à Saint-Louis en période de crue du fleuve Sénégal sont essentiellement influencées par le débit du fleuve Sénégal dont l'un des indicateurs est la hauteur aval au barrage de Diama. On remarque par ailleurs que les pluies à Saint-Louis n'expliquent pratiquement rien dans le domaine des variations limnimétriques. On remarque ensuite que la fermeture partielle des vannes de Diama en novembre fait très rapidement baisser le plan d'eau à Saint-Louis.

Pour répondre à une inquiétude relative à l'accroissement de l'intensité des inondations avec le temps ("cette crue était moins forte que celle de 1974 mais nous avons eu plus d'inondations"), nous avons examiné la relation entre l'intensité de la crue à Bakel (mesurée par sa hauteur maximale annuelle) et l'ampleur des inondations à Saint-Louis,

mesurée par la hauteur maximale annuelle à Saint-Louis. Les résultats se trouvent dans la figure ci-dessous.



Corrélation entre les hauteurs maximales annuelles à Bakel et Saint-Louis

Cette figure permet de constater que, pour autant que les données utilisées soient correctes, les hauteurs d'eau observées à Saint-Louis après la mise en service du barrage de Diama ne sont nullement supérieures à celles enregistrées avant: il semble plutôt y avoir un effet d'écrêtement des crues par le réservoir de Diama et la basse vallée en général. Néanmoins, les données utilisées (base de données limnimétriques obtenue auprès de l'IRD et données du service de l'Hydraulique de Saint-Louis) et les niveaux de référence utilisés mériteraient d'être vérifiés avant d'avancer une conclusion définitive.

3 L'annonce des crues en 1999: potentiel et réalisation

3.1 Ce que pouvait donner PROGEMAN

Les tableaux ci-dessous montrent des exemples de données qui auraient pu être introduites dans le modèle ou obtenues à partir de celui-ci. Dans le premier tableau, nous avons les hauteurs limnimétriques aux stations de la haute vallée, introduites jusqu'au 17 août, la veille du maximum de crue à Kayes.

le 17-8-1999 a 13H27mn21'55''													
2000: COTES ET DEBITS ENREGISTRES LES PLUS RECENTS													
date	DIAN	FADO	DAKA	MAKA	SOUK	OUAL	GOUR	Int1	KAYn	Int2	MANA	KAYE	BAKE
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	m3/s	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	m3/s	(cm)	(cm)
08.08	220	237	338	326	661	-	347	266	-	-	10	326	452
09.08	221	239	344	364	638	-	386	282	-	-	14	285	444
10.08	222	263	298	352	664	-	414	307	-	-	14	355	441
11.08	223	388	288	302	684	-	528	346	-	-	14	370	456
12.08	224	448	333	257	675	-	747	339	-	-	14	509	486
13.08	225	360	334	238	623	-	657	327	-	-	13	601	597
14.08	226	475	328	244	641	-	576	347	-	-	13	560	698
15.08	227	718	369	289	749	-	733	338	-	-	13	499	710
16.08	228	773	325	312	712	-	822	362	-	-	14	550	696
17.08	229	741	344	312	684	-	813	373	-	-	6	649	741

Hauteurs d'eau aux stations du Haut-Bassin enregistrées jusqu'au 17-8-99

Le second tableau nous montre quels calculs de débit et quelles prévisions de débit pouvaient être faites avec PROGEMAN à l'aide de ces données.

1e 17-8-1999 a 13H28mn25'26''													
2000: DEBITS OBSERVES ET PREVUS LES PLUS RECENTS (m3/s)													
date	DIAN	FADO	DAKA	MAKA	SOUK	OUAL	GOUR	Int1	KAYn	Int2	MANA	KAYE	BAKE
13.08	225	-	309	336	553	658*1132	349	172*1759*	139*	13	1846	2022	
14.08	226	-	300	348	599	703* 905	394	141*2416*	156*	13	1650	2632	
15.08	227	-	365	461	1064	1153*1363	374	215*1961*	147*	13	1360	2297	
16.08	228	-	295	521	855	950*1655	428	243*1749*	142*	14	1603	2338	
17.08	229	-	325	521	735	834*1624	452	210*2731*	201*	6	2099	2841	
18.08	230	-	343*	516*	550*	655* 791*	417*	115*2848*	219*	-	1912*2752*		
19.08	231	-	347*	503*	544*	649* 829*	460*	120*2669*	188*	-	1840*2548*		
20.08	232	-	-	-	530*	636* 807*	486*	114*1561*	138*	-	-	2488*	
21.08	233	-	-	-	-	780*	491*	-	1598*	139*	-	-	-
22.08	234	-	-	-	-	782*	-	-	1557*	-	-	-	-

* : débits prévus

Prévisions de débit dans le Haut-Bassin avec PROGEMAN le 17-8-99 (simulation ex-post)

Les prévisions de débit à Kayes (KAYE) sont faits deux jours à l'avance et celles à Bakel (BAKE) trois jours à l'avance. Les principales variables explicatives sont les débits à Oualia (OUAL), Gourbassi (GOUR) et Manantali (MANA). D'autres prévisions sont faites pour les autres stations avec différents types de fonctions.

Le troisième tableau finalement nous montre quels débits "réels" pouvaient être obtenus quelques jours plus tard, une fois observées les hauteurs limnimétriques réelles.

1e 22-8-1999 a 9H20mn54'5''													
2000: DEBITS OBSERVES ET PREVUS LES PLUS RECENTS (m3/s)													
date	DIAN	FADO	DAKA	MAKA	SOUK	OUAL	GOUR	Int1	KAYn	Int2	MANA	KAYE	BAKE
18.08	230	-	298	477	630	733*2405	597	390*2848*	261*	14	2513	3527	
19.08	231	-	478	506	677	778*1848	508	249*2669*	199*	14	3286	4034	
20.08	232	-	455	654	814	911*1299	434	208*3527*	381*	49	2557	4213	
21.08	233	-	494	651	901	995*1238	551	208*2875*	257*	111	1941	3437	
22.08	234	-	496	630	922	1015*1167	618	208*2417*	166*	181	1789	2809	

Débits enregistrés dans le Haut-Bassin du 18 au 22-8-99 (valeurs qui auraient été obtenues par traduction de cotes en débits avec PROGEMAN le 22-8-99)

En comparant ces tableaux, on constate que les prévisions à Kayes et Bakel sous-estiment fortement les débits "réels" calculés par la suite. Une partie des erreurs est peut-être due à des erreurs affectant les courbes de tarage. Remarquons toutefois qu'il faudrait que le débit à Bakel soit revu à la baisse de 4213m³/s à 2488 m³/s, soit une variation de plus de 40% (!) pour expliquer la totalité de l'erreur observée le 20 août à Bakel.

Pour conclure, le modèle PROGEMAN a certainement connu une mauvaise année en 1999.

3.2 L'annonce des crues par Manantali en 1999

Les prévisions faites avec PROGEMAN n'ont pas été diffusées par Manantali au cours de la crue de 1999, du moins pas à notre connaissance, et les potentiels destinataires de l'information n'ont rien perdu au passage, comme nous venons de le voir.

Un communiqué de crue a été élaboré avant le 22 août en prévision des augmentations de débit lâché destinées au soutien de crue à Bakel. Selon ce que nous avons pu vérifier, ce communiqué a effectivement été correctement diffusé à l'aval du barrage et jusqu'à Kayes, où il a été transmis par le Haut-Commissaire de la région (ex Gouverneur) au Délégué du Gouvernement auprès du Cercle de Kayes, qui à son tour a préparé un communiqué radio

qui a été diffusé par l'ORTM dans les langues locales. Des communiqués supplémentaires auraient cependant dû être préparés et diffusés lorsque le programme de gestion de l'eau a été changé par la suite.

Bien que la zone de Bakel / Gouraye aurait en principe pu être avertie par les Etats ou par la SOGED après la réunion de la CPE qui a proposé le calendrier de la gestion hydraulique, il aurait été préférable que cette zone soit aussi avertie par Manantali étant donné que c'est à Manantali que se décident les détails de la gestion hydraulique du barrage et que le temps de propagation depuis le barrage est court.

3.3 Ce que pouvait donner COREDIAM

Le tableau ci-dessous représente un extrait du fichier de résultats de COREDIAM qui pouvait être obtenu en introduisant les données qui étaient connues au niveau des institutions de l'OMVS après le passage de la pointe de la crue à Bakel, en 1999. Une hypothèse concernant le niveau prévu au barrage de Diama pour le jour T(Bakel) + dT0 devait être faite pour chaque station. Ci-dessous, la valeur introduite est de 1,60 m, ce qui correspond plus ou moins à l'évolution réelle aux dates correspondant aux stations de la basse vallée. Pour les stations à l'amont de Podor, ce chiffre n'est pas tout-à-fait correct mais l'influence du remous y est négligeable.

pour prévision à:	Rosso	Dagana	Podor	Boghe	Salde	Kaedi
dT0 (jours) vaut:	32	30	20	6	-2	-12
Cote dans la retenue de Diama au temps T(Bakel) + dT0 : 1.60 m IGN						
Cote a l'échelle de	Cotes (m. IGN) aux stations situées à l'aval, et temps de propagation moyen depuis Bakel (jours). L'étoile indique les stations dans le remous du barrage.					
Bakel	Kaedi	Salde	Boghe	Podor	Dagana	Rosso
10.91	11.98 10	10.55 15	8.20 19	5.31 26	3.15* 31	2.60* 32

Prévisions de crue dans la moyenne et basse vallée avec COREDIAM avec la cote à Bakel du 29-8-99 (10,91 m)

Ces résultats sont comparés aux valeurs observées dans le tableau suivant:

Echelle →	Kaédi	Podor	Dagana	Rosso
Maximum prévu	11,98 m IGN	5,31 m IGN	3,15 m IGN	2,60 m IGN
Maximum observé	11,92 m IGN	5,21 m IGN	3,36 m IGN	2,86 m IGN
Date prévue	08-9-99	24-09-99	29-09-99	30-09-99
Date observée	17-9-99	09-10-99	19-10-99	19-10-99

Comparaisons des cotes et dates des maximums de crue prévues avec COREDIAM et observées.

On observe une coïncidence relativement bonne entre les niveaux observés et les niveaux prévus (en fait, la coïncidence pour Dagana et Rosso d'améliore beaucoup lorsque l'on introduit 1,72 m pour le niveau d'eau à Diama, chiffre qui a effectivement été atteint au cours de cette crue). En revanche, les dates auxquelles les maximums ont réellement été

observés sont parfois de plus de 2 semaines plus tardives que les dates prévues. Ce phénomène est probablement dû à l'existence de plusieurs pointes de crue à Bakel.

3.4 L'annonce des crues par la SOGED en 1999

Lors de notre passage à Rosso en mars 1999, il n'a malheureusement pas été possible de rencontrer le directeur de la SOGED qui, par le passé s'était chargé personnellement de l'annonce des crues. La révision des archives chronologiques a cependant montré qu'un seul communiqué d'annonce avait été envoyé, et cela le 21 septembre (en prévision de la réunion de la CPE extraordinaire), alors que la plupart de la vallée subissait déjà les méfaits de la crue qui avait surpris par son ampleur.

3.5 L'intervention du Haut-Commissariat

Le Haut-Commissariat n'a pas non plus pris les devants pour avertir les riverains du fleuve (que ce soit directement ou indirectement à travers les Etats) de l'imminence d'une crue extraordinairement forte. Les raisons possibles sont:

- impossibilité de communiquer quotidiennement par radio avec la vallée;
- inexistence ou manque de diffusion des logiciels de prévision et manque de formation;
- absence d'une personne spécialement responsabilisée du suivi de la crue.

4 Dégâts provoqués par la crue sur les plans économique et social

Trois remarques préliminaires s'imposent en ce qui concerne les dégâts et dommages occasionnés par cette crue :

- La mission de consultation effectuée dans la vallée dans le cadre de l'étude de préparation de la 2^{ème} phase du Plan d'alerte s'est déroulée en mars et avril 2000, c'est-à-dire environ six mois après le passage de la crue 1999. Il était, en conséquence, trop tard pour que le consultant puisse évaluer personnellement les dégâts dont les séquelles n'étaient plus visibles (notamment les dégâts aux cultures et les pertes de récoltes). Par ailleurs, la durée de la tournée dans la vallée (3 semaines) était trop courte pour permettre une visite de toutes les localités, infrastructures, etc. touchées par la crue. De ce fait, le consultant se limite ci-après à donner un résumé des dégâts recensés par les autorités et services techniques des Etats riverains et des informations recueillies au cours de la tournée auprès des autorités, techniciens, riverains et usagers d'eau rencontrés.
- Si la liste des dégâts recensés et communiqués au consultant sur la rive mauritanienne du fleuve est très complète, il n'en est pas de même sur la rive sénégalaise où seuls les états des dégâts dans le domaine agricole sont précis. Concernant les infrastructures publiques et privées endommagées, les données obtenues se limitent ici aux localités et au nombre de familles touchées par les effets de la crue. Par ailleurs, les données ci-dessous ne tiennent pas compte des dommages subis au niveau de la zone urbaine de Saint-Louis.
- En République du Mali, dans la haute vallée du fleuve, la crue 1999 n'a pas provoqué de dégâts, ni aux infrastructures ni aux cultures exception faite de quelques dommages signalés dans certaines localités au niveau des cultures maraîchères pratiquées sur les berges du fleuve (falo).

D'entrée il faut se féliciter que, nulle part, la crue n'ait provoqué des dégâts humains. Bien que sur les deux rives la situation ait souvent été critique et que, dans de nombreuses localités, les habitants aient été surpris par la crue aux heures de la nuit, le pire a pu être évité, souvent grâce à la solidarité des voisins et autres bénévoles.

Si des pertes humaines ont été évitées, il n'en est pas de même sur le plan économique et social (bâtiments publics, habitations et bâtiments à usage professionnel, aménagements hydro-agricoles, récoltes, pertes de bétail, etc.). Sur les deux rives, les habitants de villages entiers ont dû être déplacés suite aux inondations avec toutes les pertes que cela occasionne, sans parler des problèmes en matière d'approvisionnement en vivres, en médicaments, etc. Bien que les Gouvernements des deux pays aient rapidement mobilisé des secours et des dons en matériel (tentes, vivres, médicaments, moyens de transport, etc.), de nombreux ménages ont dû s'endetter pour faire face à la situation. Les bonnes perspectives en cultures de décrue suite à cette crue "exceptionnelle" ne sont qu'une faible consolation pour les familles touchées.

Ci-dessous une récapitulation des dégâts dus aux inondations sur les deux rives (pour plus de détails, voir Annexe I) :

4.1 Sur la rive gauche (République du Sénégal)

- Nombre de ménages et personnes touchés par les inondations:

Département	Nombre de ménages	Nombre de personnes
Dagana	608	5 831
Podor	4 916	37 855
Matam	4 536	44 109
Bakel	env. 200	1 800
Total	10 260	89 595

- Nombre de périmètres irrigués et superficies inondées:

Département	Nombre de périmètres	Superficies inondées (ha)
Dagana	2	40
Podor	27	781
Matam	36	726
Bakel	3	105
Total	68	1 652

4.2 Sur la rive droite (République Islamique de Mauritanie)

- Habitations endommagées ou détruites : 10 160 familles (60 960 personnes)
- Constructions sociales détruites :

Salles de classes :	268
Postes de santé :	31
Puits :	42

▪ Nombre de périmètres irrigués et superficies inondées

Wilaya	Nombre de périmètres	Superficies inondées (ha)
Trarza	304	5 198
Brakna	85	1 356
Gorgol	67	1 319
Guidimakha	13	294
Total	469	6 168

ANNEXE : PRINCIPAUX DEGATS DUS A LA CRUE DE 1999**RIVE GAUCHE : REPUBLIQUE DU SENEGAL**

(Sources : - Inspection Régionale de l'Agriculture de Saint-Louis, Note introductive au CRD de Taredji sur les inondations, Saint-Louis le 03.12.1999
- Direction Générale de la SAED, Saint-Louis)

Nombre de ménages et de personnes ayant subi des pertes par les inondations***Département de Dagana (hors zone urbaine de Saint-Louis)***

<u>Arrondissement et Communauté Rurale</u>	Village	Nombre de Ménages	Nombre de Personnes
Mbane Gae	Kharé Guidakhar Goumel		
Mbane	Témeye Mbane Saninthe Tack Badinkobé Ndiakhaye Louguéré Bailo	187	1 820
Ross Béthio Ross Béthio	Savoigne Lampsar	271	2 580
Rao Gandon	Sanar Doune B. Diéye Diéle Mbame Keur Bernard	6	60
		144	1 371
	TOTAL	608	5 831

Les ménages recensés sont ceux ayant subi des pertes au niveau des cultures entraînant une perte totale ou partielle des récoltes sur les parcelles inondées. Ces dernières se situent dans leur majorité dans le walo particulièrement exposé. Il y a lieu de signaler des dégâts aux habitations, au niveau de certains villages, de même qu'aux aménagements (dégâts non recensés de façon définitive).

Département de Podor

Arrondissement et Communauté Rurale	Village	Nombre de Ménages	Nombre de Personnes
<u>Thillé-Boubacar</u> Fanaye	Fanaye Walo	131	965
	Dara Salam	22	158
Ndiayenne		153	1 123
	Louboudou-Doué	125	1 123
	Niandane	442	3 418
	Bourlol	16	216
		583	4 757
<u>Gamasji-Saré</u> Guédé	Dado	29	304
	Doué	59	479
	Ngawlé	23	227
	Diatar	160	1 795
	Donaye	231	1 692
	Mboyo	134	1 065
		636	5 562
Dodel	Paté-Gallo	133	186
	Dara-Alaybé	190	1 540
	Sinthiou Dangdé	85	914
	Sassel Talbé	89	627
	Démette	184	1 678
			681
<u>Cas-Cas</u> Aéro-Lao	Boki	197	1 563
	Walaldé	208	1 833
	Wandé Diaynga Soubalo	102	1 116
	Wordé Koyel	130	1 186
	Kogga	83	596
		720	6 294
Médina Ndiatbé	Siwré	101	719
	Cas-Cas	348	2 266
	Doumguel	201	1 187
	Barangol	32	332
		682	4 504
Mboumba	Dioudé Diabé	240	1 700
	Bito	62	365
		302	2 065
<u>Saldé</u>	Divers villages	1 159	8 605
	TOTAL	4 916	37 855

Département de Bakel

Comme dans la haute vallée, les dégâts ont été peu importants et ne concernent que quelques cultures irriguées (105 ha pour l'ensemble du Département).

Dégâts occasionnés aux cultures irriguées (rive gauche)

Département	Périmètres irrigués inondés	
	Nombre	Superficies inondées (ha)
Dagana	2	40 ha de riz
Podor	27	694,5 ha de riz 86 ha de coton Total : 780,5 ha
Matam	36 dont par secteur : 14 à Dioulol 22 à Diamei	715,65 ha de riz 11,7 ha de sorgho Total : 726,35 ha (dont 481,48 ha à récolte perdue à 100%)
Bakel		105 ha de riz
Total		1 651,85 ha de cultures irriguées

Comme dans le Département de Dagana, ce sont les parcelles installées dans le Walo qui ont le plus été touchées. Les dégâts aux habitations et infrastructures agricoles n'ont pas été communiqués, à signaler toutefois les villages de Donaye, Ngawlé et Pouri où les dégâts aux habitations ont été particulièrement importantes.

Département de Matam

Arrondissement et Communauté Rurale	Village	Nombre de Ménages	Nombre de Personnes
<u>Agnam Civol</u> Dabia Odéji	Gababé Peul	57	508
	Gababé Pêcheur	70	801
		127	1 309
<u>Ogo</u> Bokidiawé	Bokidiawé (Touc. et Sarak.)	508	4 725
	Mbakhna	264	1 722
	Dounga Ouro Alpha	283	2 459
		1 055	8 906
Nabadji Civol	Nabadji	247	2 661
Nabadji	Ndouloumadji	291	2 962
	Tiguéré Yéné	107	889
		398	3 851
Ogo	Diandioly	433	1 933
<u>Orkadière</u> Bokiladji	Dembacané	221	3 718
Aouré	Diamouguel	240	2 478
Orkadière	Orkadière	436	4 810
<u>Sinthiou Bambambé</u> Sinthiou Bambambé	Hamady Ounaré	529	6 576
<u>Commune de Matam</u>	Nawel	120	1 230
	Diamel	220	1 538
	Soubalo	510	5 099
		850	7 867
	TOTAL	4 536	44 109

Dans le Département de Matam, l'habitat a été épargné et les ménages et personnes recensés ci-dessus n'ont subi que des dégâts au niveau des cultures, essentiellement au niveau des parcelles implantées dans les zones de Walo.

RIVE DROITE : REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

- (Sources : - Rapport de mission conjointe MDRE, MHE, CDHLCPI au Trarza du 30 septembre au 02 octobre 1999
 - Rapport de mission pluridisciplinaire MDRE – MIPT – UNCACEM au Brakna du 02 au 05 octobre 1999
 - Note sur la crue 1999, Oumar Coulibaly, Directeur adjoint DEAR/MDRE, du 17 octobre 1999
 - Programme d'appui aux populations des zones sinistrées suite aux inondations de 1999, Groupe de travail interministériel, novembre 1999
 - Synthèse de l'évaluation des dégâts causés par les inondations (hivernage 1999), SONADER, 04 mars 2000)

Dégâts aux infrastructures publiques et privées**a) Bâtiments publics et privés**

Wilaya	Nbre de familles dont l'habitat a été sinistré	Infrastructures sociales endommagées		
		Salles de classes	Postes de santé	Points d'eau
Trarza	4 395	83	11	6
Brakna	3 185	122	14	14
Gorgol	2 580	63	6	22
TOTAL	10 160*	268	31	42

* comprenant 60 960 personnes

b) Infrastructures routières et hydro-agricoles

▪ Infrastructures routières :

- Trarza : Route Rosso – Dar-El-Barka - Boghé avec les ouvrages de Tounguène, Meysoukh, Chgara, R'Ghaiwatt, Oul Lekhwa, Naïm, Chorfa, Gani, Machraa Sidi, Lemleiga, Lexeiba, Synthiane
- Brakna : Tronçon Dar-El-Barka – Boghé de la piste Rosso – Boghé, piste Niabina – M'Bagne, piste de Naïm (Bababé)

▪ Infrastructures hydro-agricoles

- Trarza : Endiguements, aménagements intérieurs, installations d'irrigation et motopompes de très nombreux périmètres fortement endommagés : Moughataa de Rosso : 14 périmètres coopératifs (145 ha), des milliers d'hectares d'aménagements privés (non recensés), Moughataa de R'Kiz : (i) Arrondissement de Tékane : 19 périmètres collectifs (371 ha) et 26 périmètres privés (superficies non recensées),

(ii) Arrondissement de Lexeiba : 18 périmètres collectifs (400 ha) et 16 grands périmètres individuels (superficies non recensées).

- Brakna : Endiguements, aménagements intérieurs, installations d'irrigation et motopompes de plusieurs périmètres fortement endommagés dans les Moughataa de Boghé, Bababé et M'Bagne. Digue de protection du CPB (Boghé) endommagée.
- Gorgol : Digues de protection du PPG 1 et, en particulier, du PPG 2 à Kaédi fortement endommagés. Ainsi, la digue du PPG 2 est endommagée sur toute sa longueur de 11 000 m, dont très fortement sur 6 000 m, et celle du PPG 1 sur 400 m. Le coût de réparation (sans ré-haussement) est estimé à 125 millions d'UM (étude SONADER du 15.02.2000)

La SONADER (04 mars 2000) a évalué les superficies aménagées détruites sur le plan des aménagements à 8215 ha (dont 6198 ha au Trarza, 1573 au Brakna et 444 au Gorgol).

Dégâts occasionnés aux cultures et récoltes

Wilaya	Nbr. périmètres inondés évalués	Superficie totale emblavée (ha)	Superficie à récolte perdue (ha)*
Trarza	304	15 000	5 198
Brakna	85	2 116	1 356
Gorgol	67	3 778	1 319
Guidimakha	13	687	294
TOTAL	469	21 581	8 168

* il s'agit pour pratiquement la totalité de culture de riz

Sur la base d'un rendement moyen en paddy de 4 tonnes/ha et un prix d'achat de 40 UM/kg, la perte pour les producteurs (et pour l'économie nationale sans compter les pertes en aval de la filière) sont de l'ordre de plus de 1,3 milliards d'UM.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	2
2	Aspects hydrologiques de la crue de 1999	2
2.1	La crue de 1999 dans le contexte historique	2
2.2	La crue de 1999 dans le Haut-Bassin jusqu'à Bakel	4
2.3	La gestion de Manantali et le rôle du barrage	5
2.4	La crue de 1999 dans la moyenne et basse vallée	6
2.5	La gestion du barrage de Diama	7
2.5	La crue de 1999 à Saint-Louis	8
3	L'annonce des crues en 1999: potentiel et réalisation	9
3.1	Ce que pouvait donner PROGEMAN	9
3.2	L'annonce des crues par Manantali en 1999	10
3.3	Ce que pouvait donner COREDIAM	11
3.4	L'annonce des crues par la SOGED en 1999	12
3.5	L'intervention du Haut-Commissariat	12
4	Dégâts provoqués par la crue sur les plans économique et social	12
4.1	Sur la rive gauche (République du Sénégal)	13
4.2	Sur la rive droite (République Islamique de Mauritanie)	13
	ANNEXE : PRINCIPAUX DEGATS DUS A LA CRUE DE 1999	15

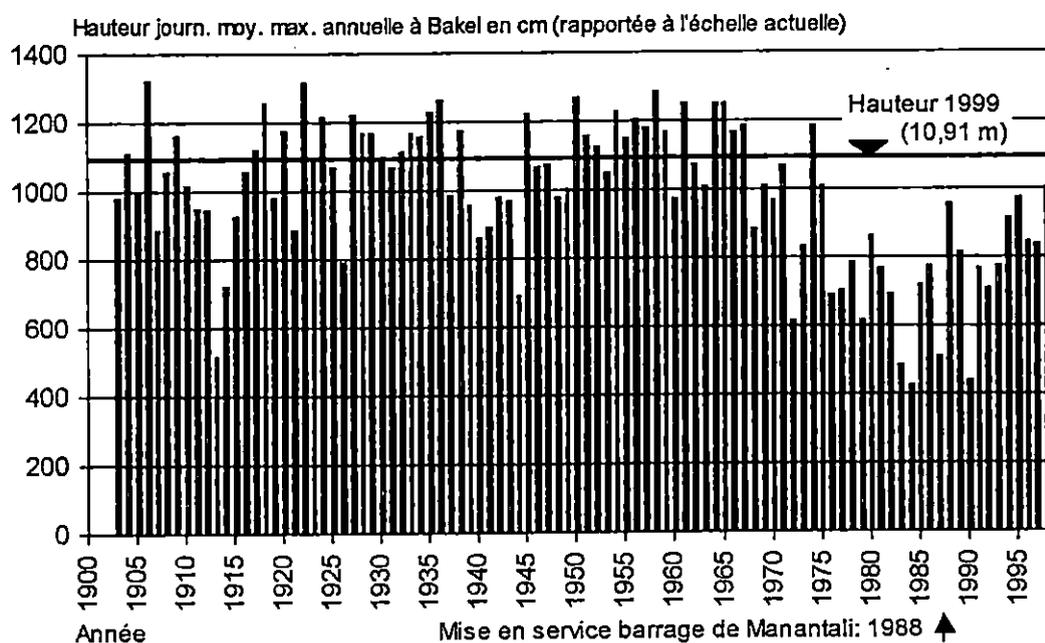
1 Introduction

La crue de 1999 ayant été la plus forte enregistrée dans la vallée du fleuve Sénégal depuis 1974, il était normal que la mission d'étude des Termes de Référence du Plan d'Alerte consacre une partie de son temps à analyser cette crue et ses effets, la façon dont elle a été ressentie et la façon dont elle a été gérée.

Par la suite, on trouvera une brève analyse hydrologique de la crue, qui comprend une analyse de la gestion des ouvrages, puis une discussion de l'efficacité des modèles et de l'annonce des crues qui a eu lieu et enfin une description des principaux dégâts qui ont été recensés par les autorités des états riverains.

2 Aspects hydrologiques de la crue de 1999

2.1 La crue de 1999 dans le contexte historique



Hauteurs maximales observées à Bakel depuis 1903 et crue de 1999

(Source: base de données limnimétriques de l'IRD)

L'ampleur des crues du fleuve Sénégal est habituellement mesurée à l'aide de ses caractéristiques à la station clé de Bakel. Dans le graphique ci-dessus, on peut comparer la hauteur d'eau de 1999 à Bakel aux hauteurs d'eau maximales annuelles (il s'agit de moyennes journalières) enregistrées à cette station depuis 1903. Les débits n'ont pas été utilisés étant donné le doute qui pèse sur l'exactitude de la courbe de tarage à Bakel, plus spécialement depuis les jaugeages réalisés par l'IRD en 1999, dont les résultats ne sont pas encore officiellement connus.

On remarque que l'ampleur de la crue de 1999 n'a pas été égalée au cours des 25 dernières années, soit depuis 1974. En particulier, il s'agit de la plus forte crue enregistrée depuis la mise en service du barrage de Manantali, qui joue un rôle régulateur depuis 1987. Cette année marque forcément une rupture dans la série chronologique à Bakel, puisque l'on est passé d'un régime d'écoulement naturel à un régime partiellement contrôlé. Le rôle du barrage pendant la crue de 1999 sera discuté ci-dessous.