

AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA  
REPUBLICQUE DE GUINEE


**Phase II : Etude d'Avant-Projet Détaillé**

**Rapport d'étude d'avant-projet détaillé :**

**Volume C – Données de Base**

**TRACTEBEL Engineering**  
GDF SUEZ

  
**COYNE ET BELLIER**  
Ingénieurs Conseils

						
B	25/02/2013	Selon Atelier de Présentation (Bamako – Octobre 2012)	plusieurs	XMO	JLC	Définitif
A	27/06/2012	Première émission	plusieurs	BTC	JLC	
révision	date	Objet de la révision	Rédaction	Contrôle	Approbation	statut

KTB	-	II 0 2	GE	-	RP	003	-	A	P.001237.0001
projet		Tâche	ouvrage		Type	Numéro		Révision	N°affaire



## **SOMMAIRE GENERAL DU RAPPORT D'AVANT-PROJET DETAILLE**

Le rapport d'Avant-Projet Détaillé de l'Aménagement Hydroélectrique de Koukoutamba est composé de cinq volumes suivants :

- **Volume A : Mémoire descriptif**
- **Volume B : Mémoire justificatif**
- **Volume C : Données de base**
- **Volume D : Estimation des coûts et échéancier**
- **Volume E : Cahier des plans**





## **SOMMAIRE DU VOLUME C**

### **DONNEES DE BASE**

**Chapitre C1 - hydrologie**

**Chapitre C2 - Topographie**

**Chapitre C3 - Géologie**

**Chapitre C4 - Géotechnique**

**Ce volume est complété par un CD comprenant :**

- **les données brutes d'hydrologie ainsi que le rapport de régularisation et productible issue de l'APS,**
- **le plan de base topographique,**
- **les différents rapports, géophysiques, géologiques de sondages et géotechniques concernant les sols,**
- **les rapports d'analyse de qualité chimiques de l'eau,**
- **les rapports de mesure de matières en suspension.**



## SOMMAIRE

<b>C1.1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>C1.2</b>	<b>SYNTHESE DES PRINCIPAUX RESULTATS</b>	<b>2</b>
<b>C1.3</b>	<b>PRESENTATION GENERALE</b>	<b>4</b>
<b>C1.3.1</b>	<b>Situation</b>	<b>4</b>
<b>C1.3.2</b>	<b>Caractéristiques physiques du bassin versant</b>	<b>4</b>
C1.3.2.1	Hydrographie	4
C1.3.2.2	Géomorphologie	7
C1.3.2.3	Géologie, hydrogéologie et végétation	8
<b>C1.3.3</b>	<b>Climat</b>	<b>9</b>
C1.3.3.1	Généralités	9
C1.3.3.2	Température	10
C1.3.3.3	Humidité	11
C1.3.3.4	Durée d'insolation	12
C1.3.3.5	Direction et vitesse du vent	12
C1.3.3.6	Evaporation	12
C1.3.3.7	Pertes nettes par évaporation sur la retenue	13
<b>C1.3.4</b>	<b>Analyse de la pluviométrie</b>	<b>15</b>
C1.3.4.1	Pluviométrie moyenne sur le bassin versant	15
C1.3.4.2	Variations de la pluviométrie annuelle	16
C1.3.4.3	Variations mensuelles de la pluviométrie	18
<b>C1.4</b>	<b>LES APPORTS EN EAU</b>	<b>20</b>
<b>C1.4.1</b>	<b>Les données disponibles</b>	<b>20</b>
<b>C1.4.2</b>	<b>Analyse critique des données</b>	<b>20</b>
<b>C1.4.3</b>	<b>Estimation de la série des apports liquides à Koukoutamba</b>	<b>24</b>
C1.4.3.1	Reconstitution des apports à Dakka Saidou de 1951 à 1958	24
C1.4.3.2	Méthode d'estimation des apports à Koukoutamba	25
C1.4.3.3	Apports mensuels et annuels à Koukoutamba	26
<b>C1.4.4</b>	<b>Régime des débits du Bafing à Koukoutamba</b>	<b>28</b>
C1.4.4.1	Analyse des débits annuels	28

C1.4.4.2	Analyse des débits mensuels	30
<b>C1.4.5</b>	<b>Débits du Bafing à Manantali</b>	<b>32</b>
<b>C1.4.6</b>	<b>La variabilité climatique sur le Haut-Bafing</b>	<b>34</b>
<b>C1.5</b>	<b>L'ETUDE DES CRUES</b>	<b>36</b>
<b>C1.5.1</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>36</b>
<b>C1.5.2</b>	<b>Analyse régionale de Francou-Rodier</b>	<b>36</b>
<b>C1.5.3</b>	<b>Analyse statistique des crues</b>	<b>40</b>
C1.5.3.1	Les données disponibles	40
C1.5.3.2	Le régime des crues	41
C1.5.3.3	Analyse fréquentielle des débits maximaux journaliers	42
C1.5.3.4	Synthèse & comparaison avec l'APD	44
<b>C1.5.4</b>	<b>Analyse des hydrogrammes de crues</b>	<b>47</b>
<b>C1.5.5</b>	<b>Analyse fréquentielle des volumes de crues</b>	<b>52</b>
<b>C1.5.6</b>	<b>Hydrogrammes de crues à Koukoutamba</b>	<b>54</b>
<b>C1.5.7</b>	<b>Conditions de chantier</b>	<b>55</b>
C1.5.7.1	Analyse des débits mensuels	56
C1.5.7.2	Analyse des pluies mensuelles	58
<b>C1.6</b>	<b>TRANSPORTS SOLIDES</b>	<b>60</b>
<b>C1.6.1</b>	<b>Estimation par analyse documentaire</b>	<b>60</b>
<b>C1.6.2</b>	<b>Estimation par mesures in situ</b>	<b>61</b>
<b>C1.7</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>63</b>
<b>C1.8</b>	<b>REFERENCES</b>	<b>64</b>
<b>C1.9</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>64</b>

**LISTE DES FIGURES :**

Figure 1 : Réseau hydrographique, aménagements et stations hydrométriques sur le bassin du Sénégal.....	5
Figure 2 : Profil en long de la rivière Bafing et ses principaux affluents.....	6
Figure 3 : Courbe hypsométrique du Bafing à Koukoutamba (10 670 km <sup>2</sup> ).....	7
Figure 4 : Températures mensuelles maximales, minimales et moyennes .....	11
Figure 5 : Evaporations moyennes mensuelles (mm) à Labé, Mamou et Siguiri.....	13
Figure 6 : Carte des précipitations annuelles moyennes de la Guinée (Zoom) .....	15
Figure 7 : Isohyètes moyennes annuelles des hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie (1931 - 1993).....	16
Figure 8 : Localisation des stations pluviométriques à proximité du bassin de Koukoutamba .....	17
Figure 9 : Pluie annuelle à Mamou (période 1922-2006, reconstitution en 2000) .....	18
Figure 10 : Pluies mensuelles moyennes sur 4 stations pluviométriques régionales .....	19
Figure 11 : Apports annuels aux stations hydrométriques .....	21
Figure 12 – Apport annuels à Dakka Saidou – période 1902 – 2010 .....	22
Figure 13 : Débits mensuels spécifiques moyens aux stations hydrométriques.....	23
Figure 14 : Courbes de simple cumul des écoulements annuels normés aux trois stations .....	23
Figure 15 : Qmens à Dakka Saidou en fonction de Qmens à Bakel (m <sup>3</sup> /s) .....	24
Figure 16 : Débit moyen annuel à Koukoutamba (m <sup>3</sup> /s) .....	28
Figure 17 : Analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba (m <sup>3</sup> /s).....	30
Figure 18 : Débits mensuels moyen, minimum et maximum à Koukoutamba (m <sup>3</sup> /s) .....	31
Figure 19 : Débits moyens mensuels classés à Koukoutamba (1951 - 2009).....	31
Figure 20 : Occurrence des Qj <sub>max</sub> par mois et valeurs moyennes mensuelles associées .....	42
Figure 21 : Qjmax en fonction de T - extrapolation des valeurs extrêmes.....	43
Figure 22 : Echantillon de Qjmax disponibles à Dakka Saidou en 1976 et pour l'étude actuelle .....	46
Figure 23 : Echantillon d'hydrogrammes de crue au site de Koukoutamba .....	47
Figure 24 : D <sub>1/2</sub> en fonction de Qjmax .....	49
Figure 25 : Histogrammes normés des crues très lentes (D <sub>1/2</sub> > 55 jours).....	50
Figure 26 : Histogrammes normés des crues lentes (D <sub>1/2</sub> entre 25 et 55 jours) .....	50
Figure 27 : Histogrammes normés des crues rapides (D <sub>1/2</sub> < 25 jours) .....	51
Figure 28 : Histogrammes moyens normés – formes synthétiques .....	52
Figure 29 : Vcru (90 jours) en fonction du volume des 3 mois d'apports les plus forts à Koukoutamba .....	52
Figure 30 : Volumes de crue en fonction de T - extrapolation des valeurs extrêmes .....	53
Figure 31 : Trois hydrogrammes de la crue décennale à Koukoutamba .....	54
Figure 32 : Hydrogrammes de crues à Koukoutamba .....	55
Figure 33 : Quantiles Qmens(T) du Bafing à Koukoutamba .....	56
Figure 34 : Comparaison des quantiles Qmens(T) avec la chronique disponible.....	57
Figure 35 : Relation entre le débit moyen mensuel et le Qjmax associé .....	57
Figure 36 : Pluies mensuelles en fonction de la probabilité de dépassement .....	59

**LISTE DES TABLEAUX :**

Tableau 1 : Caractéristiques géomorphologiques du Bafing à Koukoutamba .....	7
Tableau 2 : Estimation de la superficie de Dakka Saidou par différentes sources .....	8
Tableau 3 : Températures de l'air à Dabola en °C (période : 1994-2006) .....	11
Tableau 4 : Variations mensuelles de l'humidité relative minimale et maximale à la station de Labé (%) .....	12
Tableau 5 : Durée d'insolation moyenne journalière à la station de Labé (heures) .....	12
Tableau 6 : Vitesse moyenne du vent à Labé en m/s (période 1961 – 1990) .....	12
Tableau 7 : Evaporations mensuelles moyennes mesurées à trois stations (mm) .....	13
Tableau 8 : Calcul des pertes nettes par évaporation sur la retenue de Koukoutamba .....	14
Tableau 9 : Caractéristiques des stations pluviométriques régionales .....	16
Tableau 10 : Statistiques des pluies annuelles aux stations pluviométriques régionales .....	17
Tableau 11 : Moyennes des pluies mensuelles sur 4 stations pluviométriques régionales .....	19
Tableau 12 : Stations hydrométriques régionales disponibles .....	20
Tableau 13 : Caractéristiques des bassins de Koukoutamba et des stations hydrométriques sur le Bafing .....	25
Tableau 14 : Apports mensuels et annuels estimés à Koukoutamba (hm <sup>3</sup> ) .....	27
Tableau 15 : Statistiques des apports (hm <sup>3</sup> ) à Koukoutamba .....	27
Tableau 16 : Comparaison des apports liquides à Koukoutamba .....	29
Tableau 17 : Analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba (m <sup>3</sup> /s) .....	29
Tableau 18 : Statistiques des débits mensuels et annuels à Koukoutamba (m <sup>3</sup> /s) .....	30
Tableau 19 : Débits garantis (m <sup>3</sup> /s) à Koukoutamba (données de 1951 à 2009) .....	32
Tableau 20 : Débits mensuels et annuels à Manantali (m <sup>3</sup> /s) .....	33
Tableau 21 : Statistiques des débits (m <sup>3</sup> /s) à Manantali .....	33
Tableau 22 : Analyse de 3 scenarii de changement climatique sur les hauts bassins du Sénégal et de la Gambie (O. Dione [4]) .....	35
Tableau 23 : Synthèse de l'étude de crue de l'APD de 1976 [2] .....	37
Tableau 24 : Kfr correspondants au Q(T) dans l'APD de 1976 [2] .....	37
Tableau 25 : K(Fr) estimés en différents sites du Bafing et du Sénégal .....	38
Tableau 26 : Caractéristiques des sites de Sambangalou, Kaléta [5] et de Koukoutamba .....	39
Tableau 27 : Q(T) et K(Fr) associés à Sambangalou et Kaléta [5] .....	39
Tableau 28 : Quantiles de débit à Koukoutamba estimés à partir des K(fr) de Kaléta et Dakka Saidou .....	40
Tableau 29 : Qjmax à Dakka Saidou (15 700 km <sup>2</sup> ) de 1951 à 2009 (en m <sup>3</sup> /s) .....	41
Tableau 30 : Occurrence des Qjmax par mois et K(Fr) moyens associés .....	42
Tableau 31 : Résultats des ajustements statistiques de différentes lois à Dakka Saidou .....	43
Tableau 32 : Q(T) et Q'(T) à Koukoutamba (10 670 km <sup>2</sup> ) et les K(Fr) associés .....	44
Tableau 33 : Récapitulatif des quantiles de débit estimés à Koukoutamba .....	44
Tableau 34 : Classement des hydrogrammes de crue .....	48
Tableau 35 : Caractéristiques des trois familles de crues identifiées .....	49
Tableau 36 : Résultats des ajustements statistiques de différentes lois à Koukoutamba .....	53
Tableau 37 : Volume de la crue décamillénale à Koukoutamba selon les trois formes d'hydrogrammes .....	54
Tableau 38 : Débits mensuels moyens (m <sup>3</sup> /s) de périodes de retour 2 à 100 ans - Bafing à Koukoutamba .....	56
Tableau 39 : Apports mensuels moyens (hm <sup>3</sup> /mois) de périodes de retour 2 à 100 ans - Bafing à Koukoutamba .....	56
Tableau 40 : Pluies mensuelles en fonction de la probabilité de non-dépassement .....	59
Tableau 41 : Calcul du transport solide à Koukoutamba .....	60
Tableau 42 : Envasement de la retenue de Koukoutamba d'après trois analyses différentes .....	61
Tableau 43 – estimation de l'ensablement du barrage de Koukoutamba par analyse au laboratoire ..	62

**NOTATION :**

<i>S</i>	Superficie du bassin versant	km <sup>2</sup>
<i>P</i>	Périmètre	m
<i>L</i>	Longueur du thalweg principal	m
<i>H<sub>min</sub></i>	Hauteur minimale du bassin versant	m
<i>H<sub>moy</sub></i>	Hauteur moyenne du bassin versant	m
<i>H<sub>max</sub></i>	Hauteur maximale du bassin versant	m
<i>I<sub>p</sub></i>	Indice de pente	
<i>ETP</i>	Evapotranspiration	mm
<i>P</i>	Pluie annuelle	mm
<i>PMP</i>	Pluie Maximale Probable	mm
<i>M</i>	Moyenne de l'échantillon	
<i>E.T.</i>	Ecart type de l'échantillon	
<i>C<sub>v</sub></i>	Coefficient de variation	
<i>Min</i>	Valeur minimale de l'échantillon	
<i>Max</i>	Valeur maximale de l'échantillon	
<i>Me</i>	Valeur médiane de l'échantillon	
<i>K<sub>Hershfield</sub></i>	Coefficient Hershfield pour le calcul de la PMP	
<i>P<sub>jmax</sub></i>	Pluie maximale journalière	mm
<i>P(T)</i>	Quantile de pluie journalière	mm
<i>Q</i>	Débit	m <sup>3</sup> /s
<i>L</i>	Ruissellement	mm
<i>C</i>	Coefficient de ruissellement : proportion de la lame d'eau écoulee par rapport à la lame d'eau précipitée	
<i>q<sub>s</sub></i>	Débit spécifique	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
<i>K ou K(Fr)</i>	Index de Francou Rodier	
<i>Q<sub>p(T)</sub></i>	Quantile de débit de pointe	m <sup>3</sup> /s
<i>Q(T)</i>	Quantile de débit sur 24 heures	m <sup>3</sup> /s
<i>T<sub>s</sub></i>	Transport solide en suspension (t/km <sup>2</sup> /an)	
<i>V<sub>s</sub></i>	Volume sédimentaire annuel	m <sup>3</sup>
<i>V<sub>sTot</sub></i>	Volume solide total incluant le charriage de fond	m <sup>3</sup>





## C1.1 INTRODUCTION

Ce rapport présente les résultats de la mise à jour des données hydrologiques du futur aménagement hydroélectrique de Koukoutamba. Il comporte :

- Une présentation générale du bassin versant du Bafing à Koukoutamba ;
- Une étude climatologique du futur site du barrage ;
- Une mise à jour de la chronique des apports mensuels ainsi qu'une analyse du régime des débits ;
- Une étude des crues incluant une analyse statistique des paramètres de crues (débits maximaux journaliers et volumes) et de la forme des hydrogrammes ;
- Une estimation du transport solide du Bafing à Koukoutamba.

Une première étude citant le site de Koukoutamba a d'abord été réalisée par EDF en 1950 [1]. Energoprojekt a ensuite réalisé une étude d'Avant-Projet Détaillé spécifique au futur site de Koukoutamba en 1976 [2], puis Polytechna-Prague en 1981 [3] qui classe Koukoutamba parmi les ouvrages à réaliser en priorité pour l'aménagement du fleuve Sénégal.

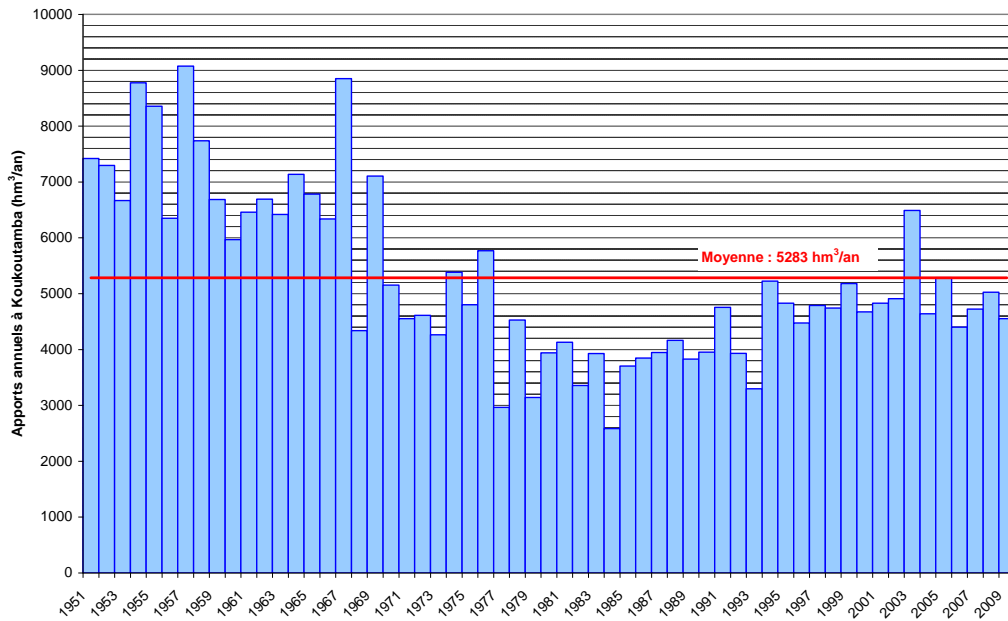
Le présent rapport est une mise à jour des données hydrologiques et un approfondissement des études antérieures sur la base de l'ensemble des données collectées auprès de l'OMVS, de la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) de Guinée et de la DNH du Mali.

L'étude de régularisation fait l'objet d'un rapport indépendant, KTB-I06GE-RP001, relatif à la tâche n°6 de la Phase I.

## C1.2 SYNTHESE DES PRINCIPAUX RESULTATS

Superficie du bassin versant : 10 670 km<sup>2</sup>

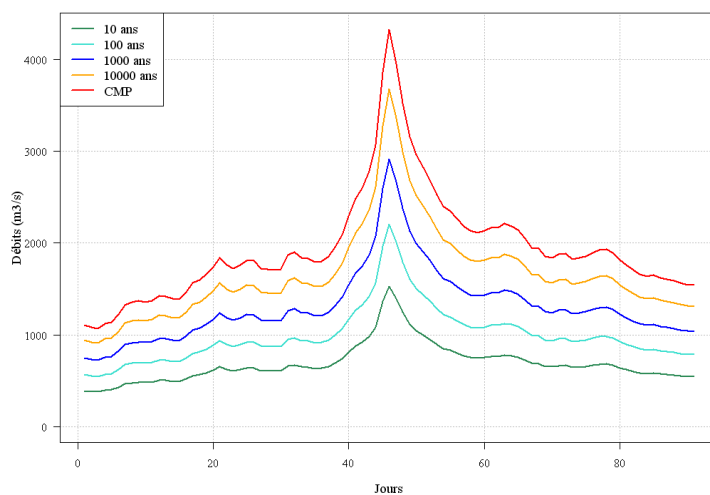
Apports													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Débit moyen (m <sup>3</sup> /s)	33	20	13	9	10	42	194	522	597	361	143	57	167
Apports (hm <sup>3</sup> )	87	48	35	23	26	109	519	1398	1547	967	370	154	5283
Lame (mm)	8.2	4.5	3.3	2.2	2.4	10.2	48.6	131.0	145.0	90.6	34.7	14.4	495.1
% apport	2	1	1	0	1	2	10	26	29	18	7	3	100
Evaporation nette (mm)	121	113	116	69	-33	-107	-197	-177	-87	21	103	120	62



Avant-Projet Détaillé  
Chapitre C1 - Hydrologie

**Débits maximaux journaliers**

Q(10 ans)	= 1 530 m <sup>3</sup> /s
Q(100 ans)	= 2 205 m <sup>3</sup> /s
Q(1 000 ans)	= 2 917 m <sup>3</sup> /s
Q(10 000 ans)	= 3 682 m <sup>3</sup> /s
CMP	= 4 331 m <sup>3</sup> /s



## C1.3 PRESENTATION GENERALE

### C1.3.1 Situation

Le projet d'aménagement hydroélectrique de Koukoutamba est situé sur le Bafing, affluent principal du fleuve Sénégal. Il est localisé en amont du barrage de Manantali, et à environ 550 km de Conakry. Il est essentiellement destiné à la production énergétique pour les pays membres de l'OMVS (Organisation de Mise en Valeur du Sénégal), mais devra également tenir compte des autres contraintes de gestion intégrée du bassin du Sénégal, notamment celles liées au barrage de Manantali (soutien d'étiage, AEP, soutien de la crue annuelle).

Les coordonnées géographiques du site sont :

- Latitude : 11°16' Nord ;
- Longitude : 11°23' Ouest ;
- Altitude : 460 m.

### C1.3.2 Caractéristiques physiques du bassin versant

#### C1.3.2.1 Hydrographie

La Figure 1 présente le bassin versant du fleuve Sénégal et son réseau hydrographique. Le site du futur barrage de Koukoutamba a été représenté à l'aide d'un triangle. Les deux principaux aménagements déjà existants, à savoir Manantali et Diama, sont reportés. Les stations hydrométriques utilisées dans cette étude sont également localisées sur cette carte.

La carte reportée en annexe C présente un plan général du site de Koukoutamba sur le Haut-Bafing. Outre le site du futur barrage, cette carte précise les contours du bassin versant de Koukoutamba et les contours du fleuve Sénégal (dans sa partie amont), le réseau hydrographique avec les principaux affluents du Haut-Bafing, les stations hydrométriques et pluviométriques utilisées pour l'étude et les principales villes guinéennes.

Figure 1 : Réseau hydrographique, aménagements et stations hydrométriques sur le bassin du Sénégal



▲ Futur aménagement de Koukoutamba

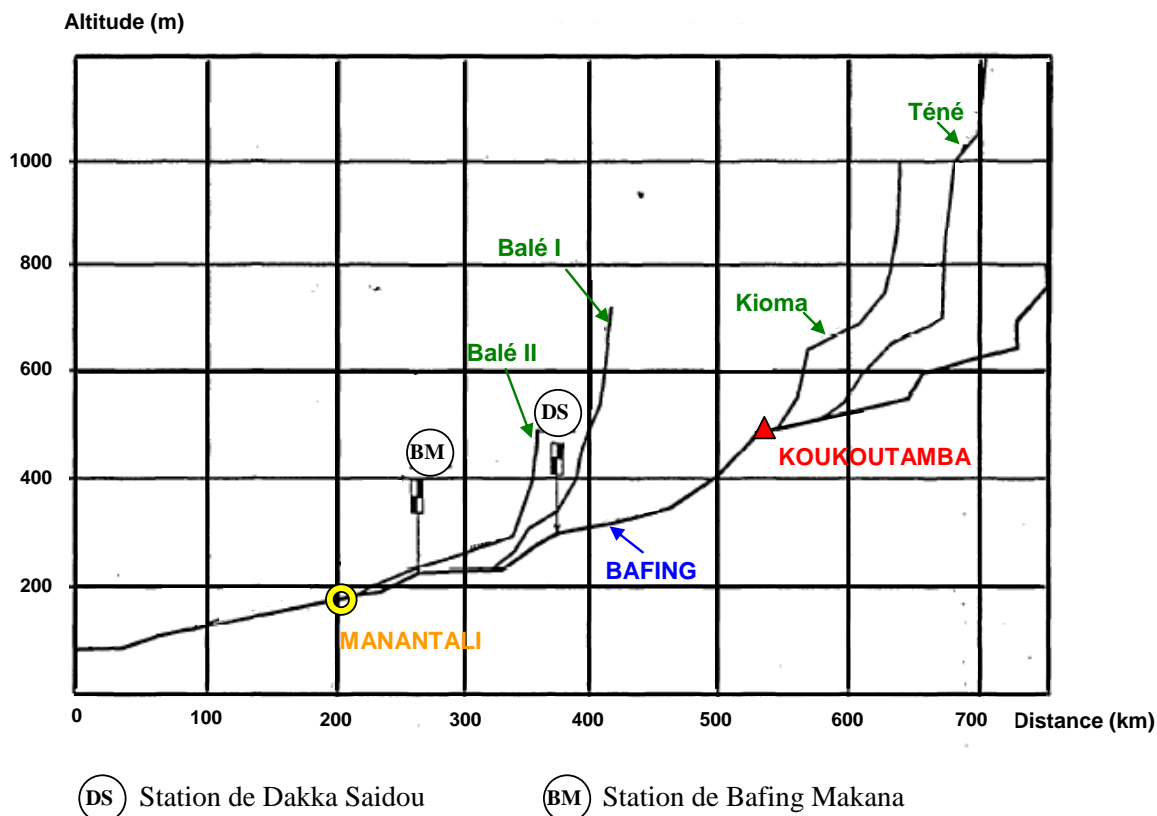
○ Aménagements existants

■ Station hydrométrique de Bakel sur le Sénégal

◆ Stations hydrométriques sur le Bafing

Le Bafing prend sa source à une altitude de 800 m à 16 km au nord-ouest de Mamou dans les montagnes du Fouta-Djalon. Il se dirige vers le nord-est, puis le nord. Il reçoit, après un parcours de 150 km, les eaux de la rivière Téné en rive gauche. La Téné prend sa source à 1 200 m d'altitude près de Dalaba. Elle se jette dans le Bafing après un parcours de 130 km et draine un bassin versant de 4 400 km<sup>2</sup>, apportant au Bafing un débit presque égal à celui-ci au droit de la confluence. Environ 25 km après cette première confluence, le Bafing est rejoint en rive gauche par la Kioma. Elle prend sa source à environ 1000 m d'altitude près de Tougué et parcourt 93 km avant de rejoindre le Bafing. Le site de Koukoutamba se situe environ 5 km en aval de cette dernière confluence (Cf. Figure 2 et annexe C).

Figure 2 : Profil en long de la rivière Bafing et ses principaux affluents



En amont de Koukoutamba, le Bafing et ses affluents se fauillent donc dans les contreforts orientaux du Fouta Djalon. Son cours d'eau est très tourmenté et prend des orientations diverses.

Au-delà du site de Koukoutamba, le Bafing traverse une série de rapides et son cours devient accidenté avec une pente de 2 % jusqu'à la station de Dakka Saidou. Le Bafing traverse ensuite des reliefs peu accusés en décrivant de nombreux méandres. Il reçoit deux affluents en rive droite : le Balé I et le Balé II jusqu'à la station de Dibia. Il parcourt encore 750 km jusqu'à la station de Bafoulabé où il rejoint le Bakoye et forme ainsi le fleuve Sénégal. Le barrage de Manantali, situé à 90 km au sud-est de Bafoulabé, au Mali, barrage de 68 m de hauteur et d'une capacité d'environ 11 milliards de m<sup>3</sup> se situe sur le Bafing, juste après sa confluence avec le Balé II.

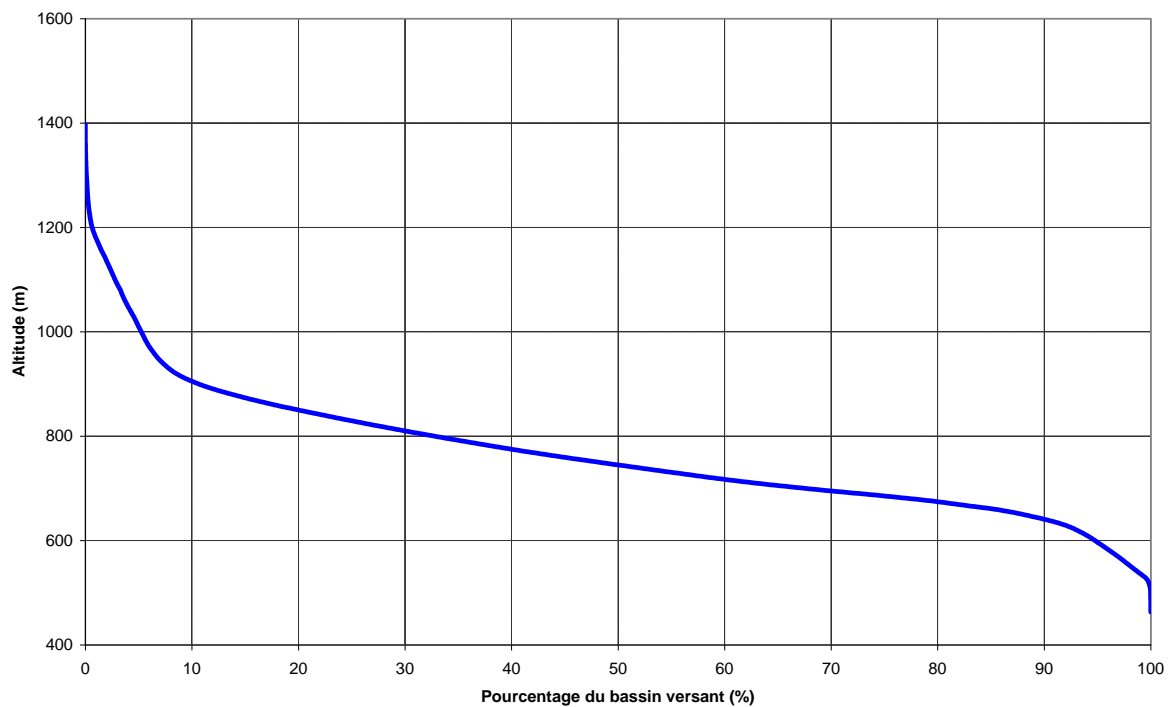
### C1.3.2.2 Géomorphologie

Une étude géomorphologique a été réalisée sur le bassin du Bafing à Koukoutamba. Les principales caractéristiques sont résumées dans le Tableau 1 (et illustrées sur la carte de l'annexe C). Les calculs ont été réalisés sur la base MNT de SRTM(1) (résolution 90 m x 90 m). La Figure 3 représente la courbe hypsométrique.

**Tableau 1 : Caractéristiques géomorphologiques du Bafing à Koukoutamba**

Superficie (km <sup>2</sup> )	10 670
Périmètre (km)	590
Longueur du thalweg principal (km)	185
Altitude moyenne (m)	745
Altitude minimale (m)	463
Altitude maximale (m)	1 397
Pente moyenne (m/km)	5.1
Indice de compacité(2)	1.61

**Figure 3 : Courbe hypsométrique du Bafing à Koukoutamba (10 670 km<sup>2</sup>)**



(1) MNT signifie Modèle Numérique de Terrain. SRTM fait référence à Shuttle Radar Topography Mission qui est une mission qui a effectué des relevés altimétriques en utilisant l'interférométrie radar.

(2) L'indice de compacité est calculé selon la formule de Gravelius suivante :  $Indice = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times S}}$ . P représente le périmètre du bassin versant (km) et S, sa superficie (km<sup>2</sup>).

De plus, la superficie du bassin versant en amont de Dakka Saidou a été estimée à 15 700 km<sup>2</sup>. Cette valeur est corroborée par différentes sources récapitulées dans le Tableau 2.

**Tableau 2 : Estimation de la superficie de Dakka Saidou par différentes sources**

<i>Sources d'information</i>	<i>Superficie (km<sup>2</sup>)</i>
Rochette, C., « Monographie hydrologique du bassin du fleuve Sénégal », ORSTOM, 1974	15 700
Energoprojekt, « APD de l'aménagement hydroélectrique de Koukoutamba », 1976	15 700
Dione, O., « Evolution climatique récente et dynamique dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie », 1996	15 700
Ardoin-Bardin, « Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne », 2004	15 660
OMVS (cellule guinéenne), « Cadastre du Sénégal en Guinée »	15 539

### **C1.3.2.3 Géologie, hydrogéologie et végétation**

Le bassin versant du Bafing à Koukoutamba appartient au haut-bassin du Sénégal et prend sa source dans les monts du Fouta Djallon : d'un point de vue géologique, il est rattaché au craton ouest-africain, pays de vieille plate-forme de l'époque précambrienne.

Le massif montagneux du Fouta Djallon est un ensemble de hauts plateaux entaillés dans les formations de grès. Il ne constitue pas un ensemble homogène, mais présente au contraire une grande diversité. De manière simplifiée, l'esquisse géologique réalisée par O. Dione [4] indique que la géologie du bassin du Bafing à Koukoutamba comprend :

- Dans sa partie sud-est, des roches éruptives de type granites et granodiorites ;
- Dans ses parties sud-ouest et nord-est, la couverture sédimentaire protérozoïque supérieur appelée bassin de Madina Kouta et composée de grès et grès quartzites ;
- Dans sa partie nord-ouest, des roches éruptives de type dolérites.

Dans le Fouta Djallon, les types de roches reconnues sont de deux types : des roches cristallines et cristallophylliennes susceptibles de renfermer des niveaux d'aquifères et des roches recristallisées totalement imperméables (quartzites et dolérites). A l'état sain, ces roches présentent une porosité négligeable, voire nulle. Des modifications peuvent cependant affecter l'état des roches et offrir une certaine capacité d'emmagasinement. Des analyses réalisées dans les années 1970 ont montré un niveau piézométrique nul [4], signifiant l'absence de nappes d'eau souterraine généralisées dans le Fouta Djallon.



Le type de végétation du bassin de Koukoutamba est une savane arborée. Il est majoritairement constitué de forêts de grands arbres du fait des pluies importantes et de l'abaissement des températures. L'altitude minimale de la forêt ne descend pas en-dessous de 900 m, sauf dans la région de Mamou (au sud) où elle descend jusqu'à 700 m environ. Le micro-climat d'altitude favorable maintient cette flore vers le nord jusqu'à la partie septentrionale du massif de Mali à une latitude d'environ 12°05' N. Néanmoins, cette formation forestière tend à disparaître et ne subsiste que dans les endroits difficiles d'accès. De plus, la péjoration climatique des années de sécheresse a réduit la surface arborée et a favorisé l'extension d'un tapis herbacé qui supprime progressivement le couvert forestier par l'intermédiaire de fourrés denses formés d'espèces forestières primitives et d'espèces savanicoles. Aujourd'hui, les forêts sont encore quasiment intactes dans la région de Dalaba et se situent vers 1 200 m d'altitude. En revanche, sur le plateau de Labé, la zone est entièrement déforestée et supplantée par des formations herbeuses piquetées d'arbres.

### **C1.3.3 Climat**

#### **C1.3.3.1 Généralités**

Le bassin versant du Bafing à Koukoutamba est soumis à un climat tropical de transition. Il est caractérisé par une saison sèche en hiver et une saison humide en été. La température moyenne est élevée et la pluviométrie annuelle relativement forte. Les caractéristiques de ce climat s'expliquent par le mécanisme de la circulation de deux masses d'air :

- L'harmattan qui est un air continental tropical, sec et chaud, provenant du Sahara. Sa direction générale est nord-est ;
- La mousson qui est un air équatorial maritime, humide, instable et plutôt frais. Il provient de l'anticyclone de Sainte-Hélène et sa direction générale est sud-ouest.

Les mouvements de ces masses d'air sont commandés par les déplacements de l'anticyclone semi-permanent de Sainte-Hélène, la ceinture des basses pressions équatoriales, l'anticyclone continental boréal qui couvre le Sahara en hiver et qui est remplacé par une dépression saharienne en été. Les situations réciproques des masses d'air en présence évoluent entre les deux cas extrêmes suivants :

- En janvier, l'anticyclone saharien occupe une position centrée sur le parallèle 30° : l'harmattan souffle en permanence du nord-est ;
- En août au contraire, l'anticyclone saharien fait place à une dépression saharienne et l'anticyclone de Sainte-Hélène, particulièrement puissant remonte vers le nord : la mousson venant du sud-ouest envahit toute la région des hauts-bassins des fleuves Sénégal et Gambie.

Il y a un mouvement saisonnier de bascule entre l'harmattan et la mousson. Celle-ci dans son incursion vers le nord pénètre sous l'harmattan. La trace au sol de la surface de contact entre ces deux masses d'air est appelé le Front Inter Tropical (FIT). Le déplacement du FIT est conforme au mouvement de bascule : il se déplace lentement depuis le parallèle 8° (position de janvier) jusqu'au parallèle 20° (position d'août).

Les déplacements du FIT déterminent donc deux saisons :

- Une saison sèche (étiage) de novembre à avril, durant laquelle il ne pleut pratiquement jamais, à l'exception de quelques tornades pendant les mois de transition (avril et novembre) ;
- Une saison humide ou « hivernage », de mai à octobre, au cours de laquelle se produisent d'importantes précipitations apportées par la mousson. D'abord courtes, violentes et réduites dans l'espace (quelques centaines de km<sup>2</sup>) en début de saison humide, les pluies de mousson prennent un caractère continu, moins intense mais pouvant durer plusieurs heures, avec un maximum atteint généralement en août. En septembre-octobre, le FIT redescend vers le sud avec une diminution puis une disparition des précipitations.

### **C1.3.3.2 Température**

Les températures mensuelles maximales et minimales mesurées à Dabola, au sud-est de Koukoutamba, sont données dans le Tableau 3 ci-dessous (source : *Direction Nationale de la Météorologie, DNM, de Guinée*). Les valeurs retenues sont des moyennes mensuelles interannuelles des extrema journaliers, ainsi que leurs valeurs minimales et maximales sur la période 1994-2006. La température moyenne correspond à la moyenne de Tmin et Tmax.

Les valeurs moyennes de Tmin et Tmax sont supérieures aux valeurs présentées dans l'étude d'Energoprojekt [2], où les températures étaient mesurées à Labé qui se situe en altitude par rapport à Dabola (Cf. carte en annexe C). O. Dione [4] confirme que Labé est la « station qui enregistre les températures les plus faibles » du fait de « la végétation plus dense, les fortes précipitations et l'effet de l'altitude ». Néanmoins, les variations saisonnières sont similaires. L'évolution des températures mensuelles au cours de l'année dans la région de l'étude est présentée sur la Figure 4. Les mois de mars à mai sont les mois les plus chauds avec des températures mensuelles maximales dépassant les 35 °C et des minimales voisines de 23 °C. Les plus fortes amplitudes thermiques sont observées de novembre à février (17 à 20 °C d'écart entre les extrema) quand règne l'harmattan et les plus faibles amplitudes de juin à septembre (9 à 10 °C d'écart), c'est-à-dire pendant la saison humide (période de mousson).

Figure 4 : Températures mensuelles maximales, minimales et moyennes

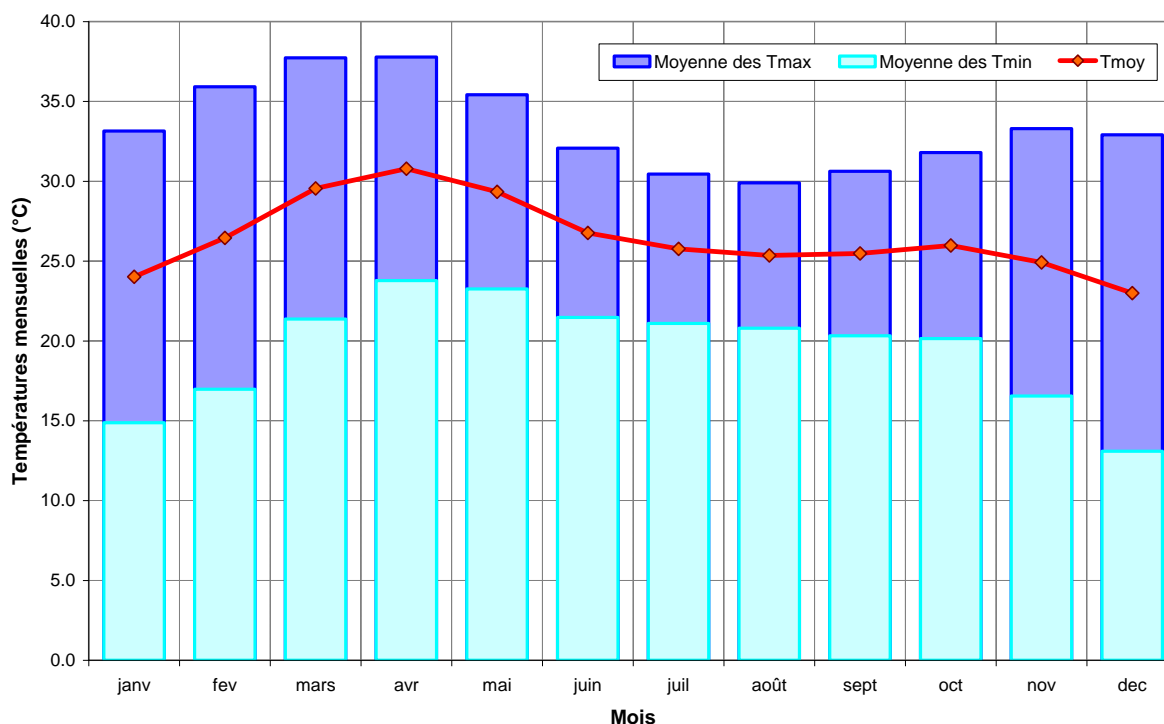


Tableau 3 : Températures de l'air à Dabola en °C (période : 1994-2006)

		janv	fev	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	dec
Tmax	Moy	33.1	35.9	37.7	37.8	35.4	32.1	30.4	29.9	30.6	31.8	33.3	32.9
	Min	26.4	34.6	36.1	36.5	34.7	31.3	29.6	29.0	30.2	30.9	32.1	31.5
	Max	35.2	37.6	39.1	38.8	37.5	33.4	31.2	30.6	31.4	32.7	34.7	34.6
Tmin	Moy	14.9	17.0	21.4	23.8	23.3	21.5	21.1	20.8	20.3	20.1	16.5	13.1
	Min	11.0	14.3	18.8	22.5	21.8	19.9	19.8	19.4	19.0	18.2	14.5	9.8
	Max	19.5	21.2	23.3	24.5	24.4	22.2	22.4	21.5	21.1	21.1	19.1	17.1
Tmoy	Moy	24.0	26.4	29.6	30.8	29.3	26.8	25.8	25.3	25.5	26.0	24.9	23.0

### C1.3.3 Humidité

Sur le bassin du Bafing à Koukoutamba, l'humidité relative, notée HU, est fortement liée à l'influence du flux de la mousson. Les variations mensuelles de l'humidité relative à la station de Labé (données sur la période 1961-1990, [4]) sont présentées dans le Tableau 4.

Le maximum mensuel de  $HU_{max}$  s'étale de juin à octobre avec une humidité relative de 98 % pendant ces cinq mois de l'« hivernage ».  $HU_{min}$  est maximal au mois d'août avec une valeur de 68 %. Le minimum mensuel de  $HU_{max}$  est observé en février avec une valeur moyenne de 73 %, et le minimum mensuel de  $HU_{min}$  est observé en février et mars avec 20 % d'humidité relative. Ces valeurs se rapprochent de celles utilisées par Energoprojekt [2].

**Tableau 4 : Variations mensuelles de l'humidité relative minimale et maximale à la station de Labé (%)**

	janv	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	dec
HU <sub>min</sub>	21	20	20	27	42	58	65	68	64	59	43	30
HU <sub>max</sub>	76	73	79	87	95	98	98	98	98	98	96	87

Les variations infra-journalières de l'humidité relative montrent de fortes valeurs le matin en raison de la baisse de la température la nuit, puis une diminution de l'humidité relative à midi. Elle remonte ensuite progressivement vers 18h, et ce quelle que soit la saison.

#### **C1.3.3.4 Durée d'insolation**

Les mesures de l'insolation dans cette région d'Afrique sont rares et irrégulières. O. Dione [4] présente dans sa thèse, publiée en 1996, la durée d'insolation mensuelle à la station de Labé, moyennée sur cinq années. Le Tableau 5 reprend cette information en rapportant la durée d'insolation à la journée. La durée d'insolation moyenne journalière varie fortement dans l'année avec un maximum élevé en février (9.3 h) et un minimum marqué en août (3.3 h).

**Tableau 5 : Durée d'insolation moyenne journalière à la station de Labé (heures)**

janv	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	dec	Moyenne
9.2	9.3	8.8	8.3	7.1	5.8	4.6	3.3	4.9	6.4	7.1	7.6	6.8

#### **C1.3.3.5 Direction et vitesse du vent**

L'analyse du vent sur le bassin versant de Koukoutamba est réalisée à partir de la station de Labé.

La direction générale des vents est nord-est pendant la saison sèche de janvier à avril. La tendance s'inverse pendant l'hivernage pour prendre une direction sud-ouest, liée au flux de mousson. Ces vents de secteur sud-ouest représentent 60 % des fréquences enregistrées au mois d'août. Avril et novembre sont des mois de transition entre les deux flux, celui de la mousson et celui des alizés.

Le Tableau 6 présente les variations mensuelles de la vitesse du vent pour la période 1961-1990 à la station de Labé. La vitesse du vent est plus élevée durant la saison sèche.

**Tableau 6 : Vitesse moyenne du vent à Labé en m/s (période 1961 – 1990)**

Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
2	3	2.4	2.6	2.7	2.4	1.7	2.05	1.36	1.29	1.14	1.4	2

#### **C1.3.3.6 Evaporation**

Afin d'estimer l'évaporation sur le bassin versant du Bafing à Koukoutamba, trois séries de mesure d'évaporation ont été utilisées :

- La station de Labé, situé sur le bassin de Koukoutamba, à une altitude d'environ 1200 m ;

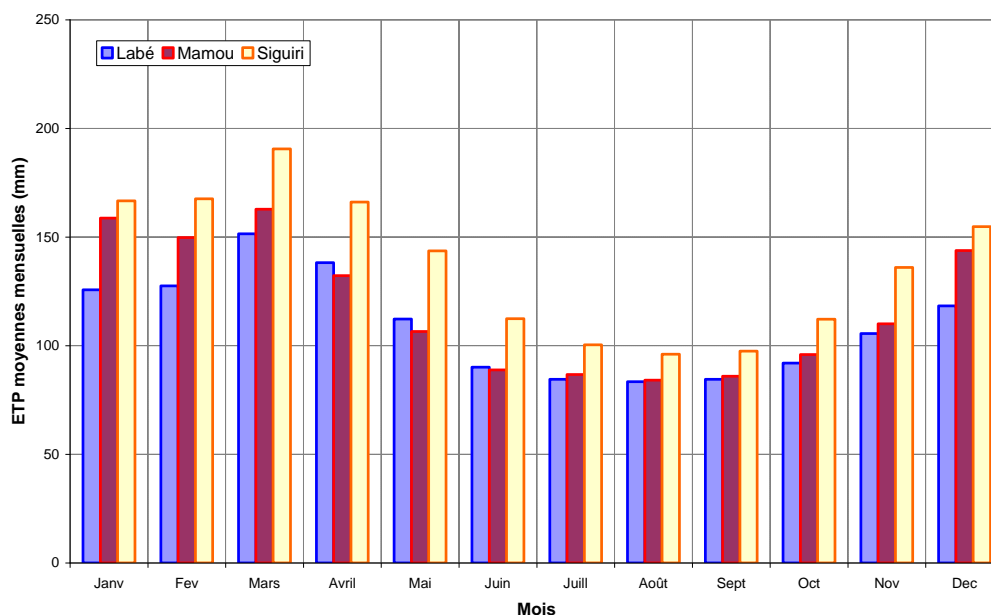
- La station de Mamou située à proximité immédiate du bassin versant de Koukoutamba, au sud, à une altitude moyenne (comprise entre 500 et 1000 m) ;
- La station de Siguiri, dans la région de Kankan, sur le fleuve Niger, à l'est du bassin d'étude, à une altitude inférieure à 500 m.

Le Tableau 7 indique, pour chaque poste, l'évaporation mensuelle moyennée sur la période 1961-1990 (données fournies par la *DNM de Guinée*). La Figure 5 permet de visualiser les variations saisonnières de l'évaporation aux trois stations. L'évaporation est plus forte de décembre à avril quel que soit le lieu considéré. Elle est minimale de juin à octobre, tout particulièrement en juillet, août et septembre. Les quantités évaporées pendant la saison humide sont très proches entre Labé et Mamou, ce qui n'est pas le cas en saison sèche.

**Tableau 7 : Evaporations mensuelles moyennes mesurées à trois stations (mm)**

	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Labé	126	128	152	138	112	90	85	83	85	92	106	118	1314
Mamou	159	150	163	132	107	89	87	84	86	96	110	144	1405
Siguiri	167	168	191	166	144	112	100	96	98	112	136	155	1644

**Figure 5 : Evaporations moyennes mensuelles (mm) à Labé, Mamou et Siguiri**



### C1.3.3.7 Pertes nettes par évaporation sur la retenue

Les pertes nettes qui résultent de la création d'une retenue (autres que les pertes par infiltration) sont égales à la différence entre l'évaporation brute  $E_b$  sur la retenue et les pertes naturelles ETR par évapotranspiration qui se produisaient avant la construction du barrage sur la partie du bassin qu'elle occupe :

$$E_n = E_b - ETR$$

Pour Koukoutamba, les termes de cette relation peuvent être estimés de la façon suivante :

- L'évaporation brute  $E_b$  sur la retenue est estimée à partir des résultats obtenus sur les bacs évaporatoires de Labé et Mamou. Les valeurs mensuelles utilisées sont donc une moyenne de celles présentées au Tableau 7. Elles correspondent à une lame d'eau annuelle évaporée sur bac de 1359 mm/an.
- Le passage de l'évaporation sur bac à l'évaporation sur un grand plan d'eau se fait en appliquant un coefficient de réduction K qui tient compte des conditions d'évaporation assez différentes, notamment du fait de l'inertie thermique beaucoup plus importante sur lac. Les études effectuées par l'ORSTOM dans la zone intertropicale (C. Riou, 1975) montrent que ce coefficient de réduction dépend de la nature du bac et de son environnement immédiat. Il varie sensiblement au cours de l'année en fonction de la température et de l'humidité. Généralement compris entre 0.75 et 0.95, il tend à être d'autant plus élevé que la nébulosité et l'humidité de l'air sont fortes. Pour Koukoutamba, un coefficient minimum de 0.80 en saison sèche et un coefficient maximum de 0.95 en saison humide ont été adoptés, avec une évolution de la valeur du coefficient entre ces deux extrema. Le coefficient de réduction moyen est de 0.87. Cela conduit à une évaporation annuelle brute  $E_b$  sur la retenue de 1164 mm/an.
- Les pertes naturelles par évapotranspiration ETR sur la partie du bassin couverte par la retenue sont assimilées, en première approximation, au déficit d'écoulement (P-L) sur la zone considérée, P étant la hauteur moyenne de pluie et L, la lame d'eau moyenne écoulee dans les conditions naturelles. Les pertes par infiltration sont retranscrites au sein de l'écoulement de base (en saison sèche). Les estimations reportées dans le Tableau 8 sont issues du paragraphe C1.3.4 pour la pluie et du Tableau 15 pour la lame d'eau écoulee.

Les pertes nettes annuelles par évaporation sur la retenue de Koukoutamba sont finalement estimées à 62 mm/an de perte en eau avec la construction de l'aménagement. Le détail des calculs au pas de temps mensuel est donné par le Tableau 8.

**Tableau 8 : Calcul des pertes nettes par évaporation sur la retenue de Koukoutamba**

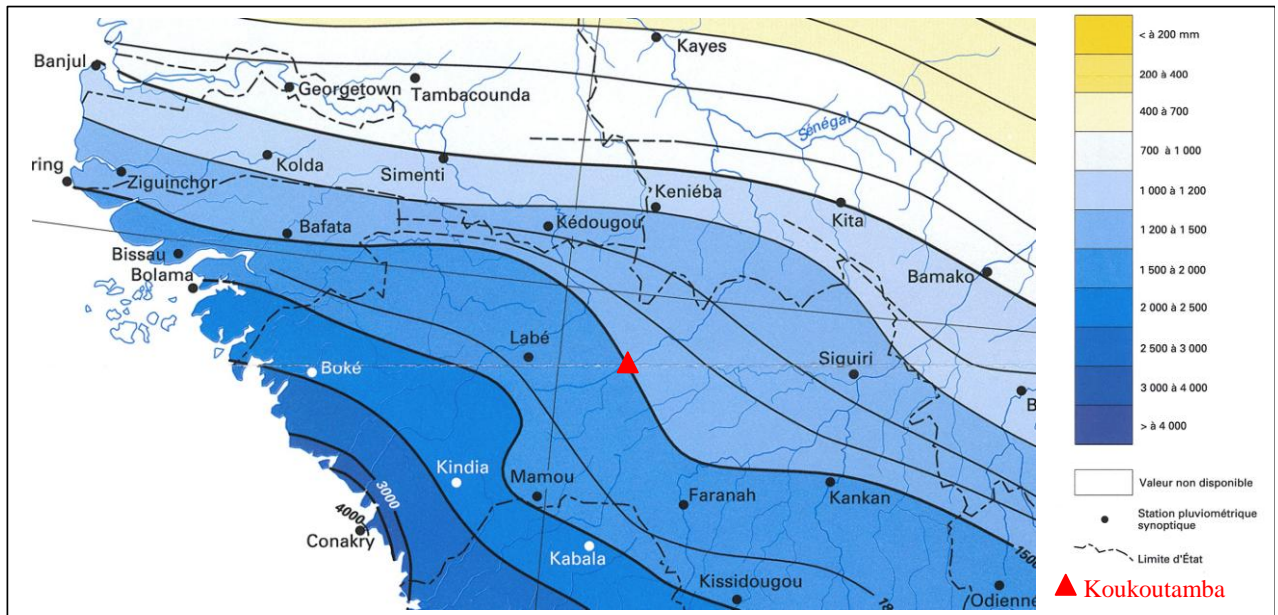
	Evaporation Bac (mm)	Coefficient de réduction K	Evaporation brute $E_b$ (mm)	Précipitation P (mm)	Lame d'eau écoulee L (mm)	Etr = P - L (mm)	Pertes nettes (mm)
Janvier	142	0.81	115	2	8	-6	121
Février	139	0.80	111	3	5	-2	113
Mars	157	0.81	127	14	3	11	116
Avril	135	0.85	115	48	2	46	69
Mai	109	0.86	94	129	2	127	-33
Juin	89	0.90	81	198	10	188	-107
Juillet	86	0.93	80	326	49	277	-197
Août	84	0.95	80	388	131	257	-177
Septembre	85	0.93	79	311	145	166	-87
Octobre	94	0.89	84	154	91	63	21
Novembre	108	0.85	92	24	35	-11	103
Décembre	131	0.82	107	1	14	-13	120
<b>Année</b>	<b>1359</b>	<b>0.87</b>	<b>1164</b>	<b>1598</b>	<b>495</b>	<b>1103</b>	<b>62</b>

### C1.3.4 Analyse de la pluviométrie

#### C1.3.4.1 Pluviométrie moyenne sur le bassin versant

La carte des précipitations annuelles moyennes de l'Afrique de l'Ouest et Centrale recentrée sur la région autour de Koukoutamba est présentée sur la Figure 6. Elle montre des cumuls de pluie importants au niveau des côtes (jusqu'à 4000 mm/an à Conakry) puis une diminution progressive de la pluviométrie au fur et à mesure qu'on se déplace à l'intérieur des terres et vers le nord du continent.

**Figure 6 : Carte des précipitations annuelles moyennes de la Guinée (Zoom)**

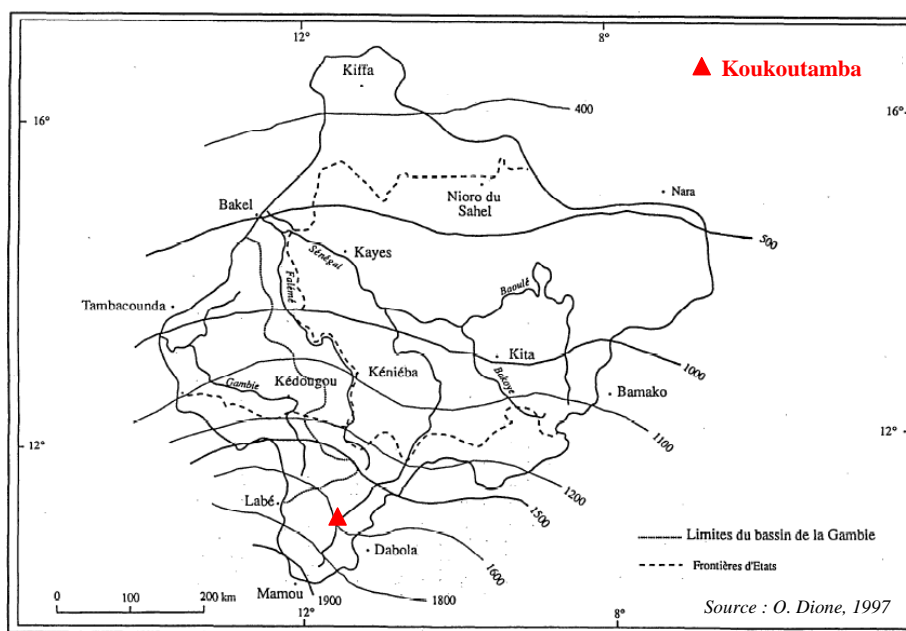


Données : Afrique de l'Ouest et Centrale, précipitations moyennes annuelles

Source : ORSTOM éditions, 1996

La Figure 7 présente les isohyètes moyennes annuelles sur les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie qui incluent la rivière Bafing et le site de Koukoutamba (triangle rouge). La carte indique des cumuls annuels moyens compris entre 1600 mm/an à l'exutoire du bassin versant étudié (très proche des 1653 mm/an estimée dans l'APD de 1976) et 1900 mm/an sur le Fouta Djallon près de Mamou. D'après cette carte, la pluie moyenne annuelle sur le bassin versant est estimée à environ 1750 mm/an. Situé dans le domaine climatique guinéen limité par le Fouta Djallon au sud et à l'ouest, le bassin versant de Koukoutamba enregistre une pluviométrie importante, fortement favorisée par le relief.

Figure 7 : Isohyètes moyennes annuelles des hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie (1931 - 1993)



#### C1.3.4.2 Variations de la pluviométrie annuelle

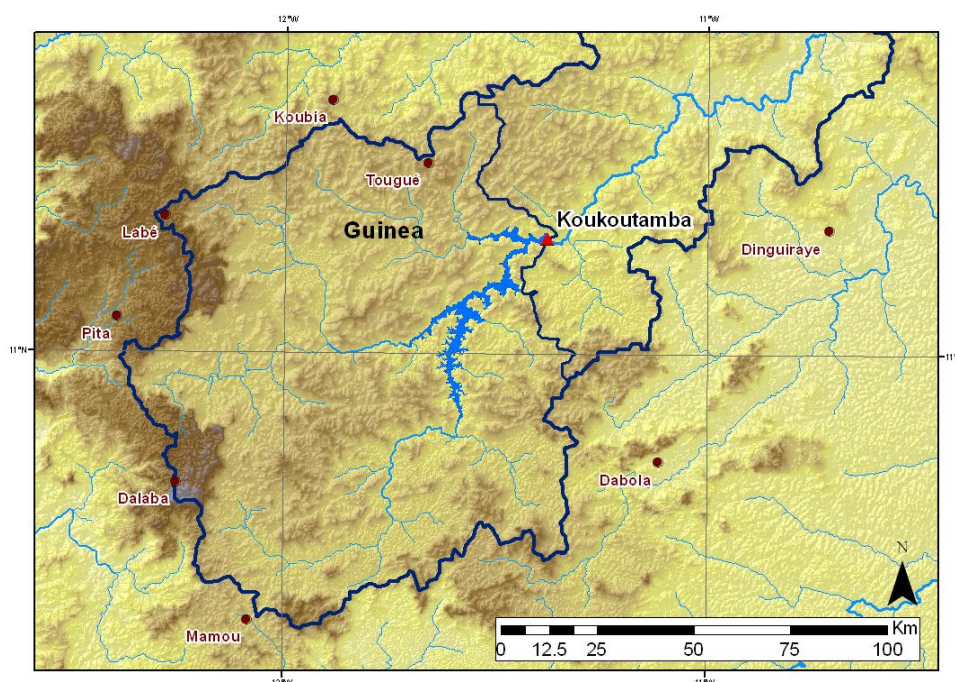
Pour caractériser les variations annuelles de la pluie, les données pluviométriques de 9 stations ont été collectées auprès du Direction Nationale Hydraulique (DNH) de Guinée, de la DNH du Mali, ainsi qu'auprès de la cellule nationale guinéenne de l'OMVS. Les caractéristiques sont données dans le Tableau 9 et leurs localisations sont représentées par des points sur la Figure 8. Seules les stations de Bafing Makana et Faléa ne sont pas représentées étant situées plus en aval sur le Bafing et le Sénégal (se reporter à la carte en annexe C).

Tableau 9 : Caractéristiques des stations pluviométriques régionales

Stations	Latitude Nord (degrés déc.)	Longitude Ouest (degrés déc.)	Altitude (m)	Période disponible	Nombres d'années complètes
Mamou	10.37	12.08	782	1922-2006	84
Dalaba	10.70	12.25	1202	1928-2003	70
Pita	11.07	12.40	965	1925-1988	63
Labé	11.32	12.30	1025	1923-2004	82
Dinguiraye	11.30	10.72	450	1922-2002	26
Dabola	10.75	11.12	500	1957-2005	37
Tougué	11.40	11.67	1000	1992-2000	6
Bafing Makana	12.55	10.25	-	1963-1994	17
Faléa	12.27	11.28	-	1958-2003	20



Figure 8 : Localisation des stations pluviométriques à proximité du bassin de Koukoutamba



Les statistiques correspondantes aux données annuelles disponibles sur les neuf stations pluviométriques sont synthétisées dans le Tableau 10. La plus longue série est disponible à la station de Mamou sur 84 années, avec une moyenne interannuelle de 1879 mm/an.

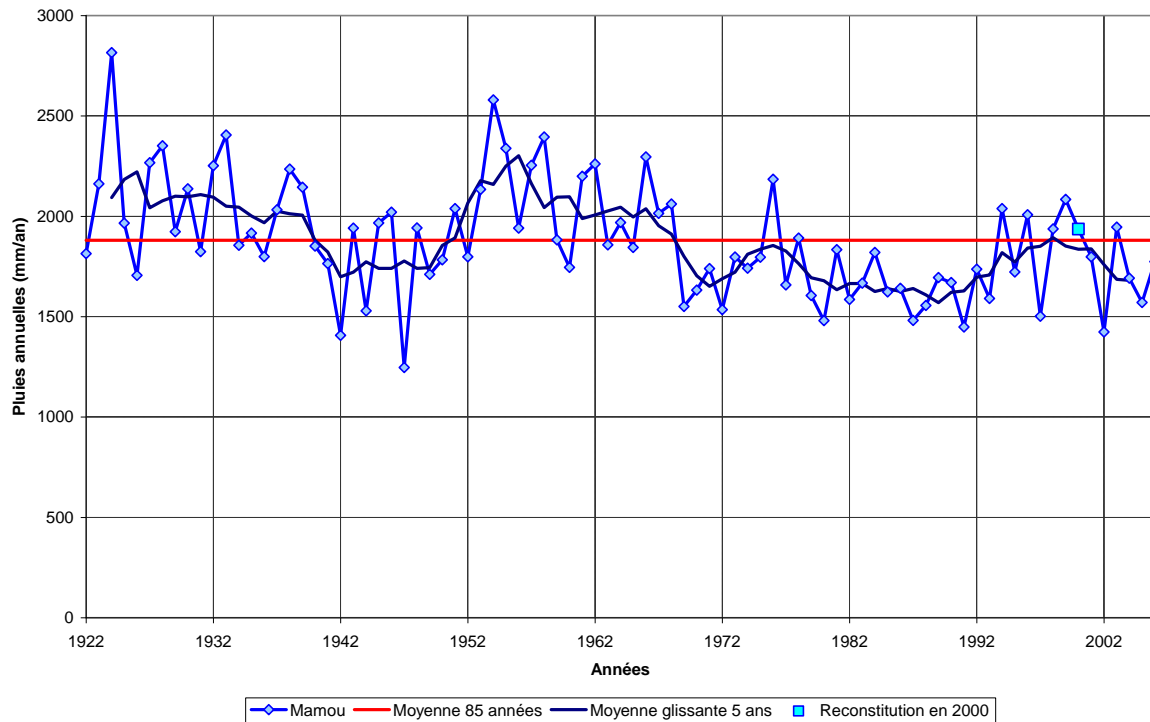
Tableau 10 : Statistiques des pluies annuelles aux stations pluviométriques régionales

	Mamou	Dalaba	Pita	Labé	Dinguiraye	Dabola	Tougué	Bafing Makana	Falea
Nb	84	70	63	82	26	37	6	17	20
M	1879	1983	1724	1585	1427	1446	1304	1185	1379
E.T.	287	355	308	309	255	245	101	135	341
Cv	0.15	0.18	0.18	0.19	0.18	0.17	0.08	0.11	0.25
Min	1247	1189	1131	263	1000	636	1119	942	871
Med	1839	1958	1634	1544	1446	1437	1324	1172	1315
Max	2816	2673	2647	2159	1999	2168	1390	1413	2163

Les cumuls annuels à Mamou, directement au sud du bassin versant de Koukoutamba sont donc étudiés en détail sur 85 années et présentés à la Figure 9. La série des pluies observées sur 84 années a été reconstituée en 2000 grâce à la station de Dabola qui possède des enregistrements pour cette année-là, et en appliquant un modèle de régression linéaire. Les pluies annuelles montrent une alternance de périodes sèches et de périodes humides plus ou moins longues, avec en particulier deux périodes très déficitaires de 1940 à 1950 puis de 1969 à 1993. Sur la période récente, les pluies annuelles montrent des cumuls proches de la moyenne interannuelle, bien que plutôt inférieures à cette valeur, en particulier les années 1997 et 2002.

Une sécheresse est ainsi actuellement observée en Guinée et son caractère exceptionnel provient principalement de sa durée (depuis 1969). L'amplitude des fluctuations de la pluviosité reste en effet beaucoup plus atténuée dans cette région à forte pluviométrie que sur la zone du Sahel moins arrosée.

Figure 9 : Pluie annuelle à Mamou (période 1922-2006, reconstitution en 2000)



#### C1.3.4.3 Variations mensuelles de la pluviométrie

Les données mensuelles sont disponibles sur les stations de Dabola, Tougué, Bafing Makana et Faléa. L'évolution de la pluviométrie au cours de l'année pour ces quatre stations est précisée par les moyennes mensuelles présentées à la Figure 10 et dans le Tableau 11. La répartition des pluies mensuelles est caractéristique d'un régime tropical des pluies avec l'alternance de deux saisons bien distinctes :

- Une saison des pluies de mai à octobre, avec de forts cumuls, plus particulièrement de juillet à septembre. Plus de 90 % de la pluie annuelle se produit pendant cette saison ;
- Une saison sèche de novembre à avril, avec des cumuls très faibles, voire quasiment nuls de décembre à février.

Figure 10 : Pluies mensuelles moyennes sur 4 stations pluviométriques régionales

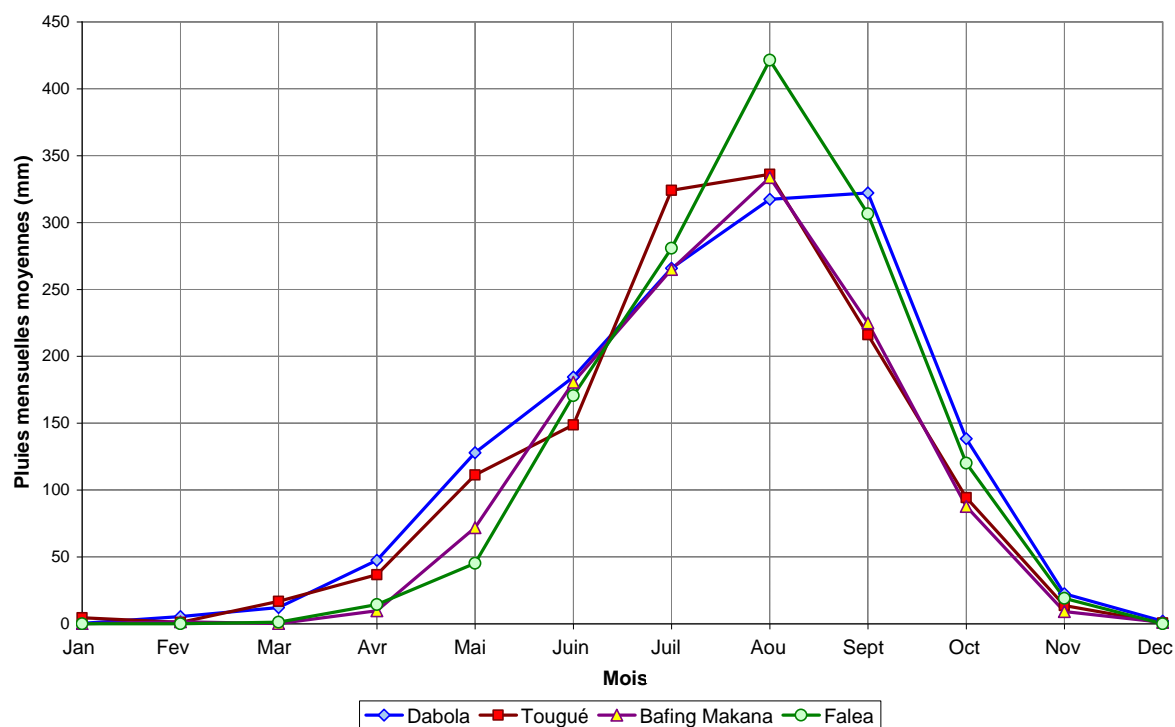


Tableau 11 : Moyennes des pluies mensuelles sur 4 stations pluviométriques régionales

		jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	dec	Année
Dabola	P (mm)	0	5	12	48	128	184	266	317	322	138	22	2	1446
	$P_{mens}/P_{an}$ (%)	0	0	1	3	9	13	18	22	22	10	2	0	100
Tougué	P (mm)	4	1	17	37	111	149	324	336	216	94	14	1	1304
	$P_{mens}/P_{an}$ (%)	0	0	1	3	9	11	25	26	17	7	1	0	100
Bafing Makana	P (mm)	0	1	0	10	72	181	265	334	225	88	9	1	1185
	$P_{mens}/P_{an}$ (%)	0	0	0	1	6	15	22	28	19	7	1	0	100
Faléa	P (mm)	0	0	1	14	45	171	281	421	307	120	19	0	1379
	$P_{mens}/P_{an}$ (%)	0	0	0	1	3	12	20	31	22	9	1	0	100

## C1.4 LES APPORTS EN EAU

### C1.4.1 Les données disponibles

Trois séries hydrométriques de débits moyens journaliers sont disponibles dans la région du projet. Les données ont été collectées auprès de la *DNH* du Mali et de la Commission Permanente des Eaux (*CPE*) de l'OMVS. Le Tableau 12 détaille les caractéristiques des stations hydrométriques. Deux stations sont situées à l'aval du site de Koukoutamba, sur la même rivière Bafing (Cf. annexe C) et la station de Bakel est située plus en aval sur le fleuve Sénégal (Cf. Figure 1).

Tableau 12 : Stations hydrométriques régionales disponibles

Station hydrométrique	Rivière	Période d'observation	Bassin versant (km <sup>2</sup> )	Nombre années complètes
Dakka Saidou	Bafing	1952 – 2010	15 700	52
Bafing Makana	Bafing	1961 - 2010	22 000	48
Bakel	Sénégal	1951 - 2010	218 000	56

Lors de l'atelier de validation de l'APS de septembre 2011, il a été demandé de réaliser une étude de sensibilité du productible considérant une série annuelle sur la période complète 1922 – 2009.

Les données hydrologiques disponibles transmises par l'OMVS pour la période sont les apports annuels notamment pour les stations Bakel, Bafing Makana, Kayes, Dakka Saidou, Oualia, Goubassi, Kidira, Galoubo. Une grande partie de ces données notamment pour la période 1931 à 1951 (essentielle de la période pour laquelle l'étude de sensibilité est souhaitée) sont des données reconstituées. Les données transmis sont données à l'annexe D du présent rapport.

L'absence d'apports mensuels pour la période 1922 – 1951 rend donc difficile l'étude de sensibilité souhaitée notamment concernant la précision requise pour notre étude (étude de simulation de gestion de réservoir avec des apports au pas de temps mensuel). Nous avons néanmoins réalisé une analyse de sensibilité à partir de ces apports afin de valider la représentativité de la période retenue (1) pour la caractérisation de l'hydraulicité du Bafing à Koukoutamba.

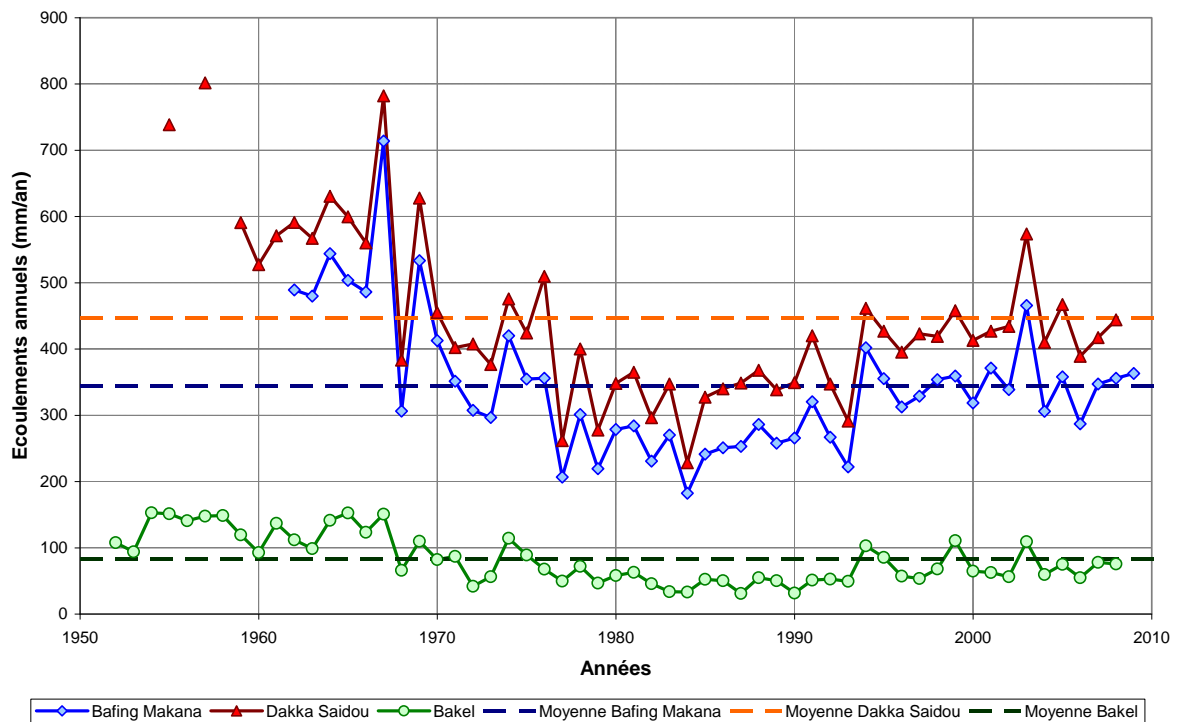
### C1.4.2 Analyse critique des données

La Figure 11 présente les lames d'eau annuelles écoulées des trois stations hydrométriques disponibles dans la zone du projet. Les deux stations situées sur la même rivière Bafing, sans affluents majeurs entre elles, montrent des évolutions bien corrélées entre elles. Les lames d'eau écoulées à Bakel sont nettement moins importantes que celles du Bafing du fait de sa situation plus au Nord, dans une zone à moins forte pluviométrie. Par ailleurs, quelle que soit la station considérée, une grande variabilité des apports annuels est observée avec des alternances rapides d'années à très forts et très faibles écoulements (de 1967 à 1969 notamment). La période de 1977 à 1993 enregistre une hydrologie faible, par rapport à la période précédente qui est plutôt une période d'hydrologie forte (surtout avant 1969). La période la plus récente apparaît comme moyenne d'un point de vue hydrologique.

1 Il est rappelé que la période retenue correspond à la période pour laquelle des données de débit au pas de temps mensuel sont disponibles.

La Figure 13 présente les débits mensuels spécifiques moyens des trois stations hydrométriques disponibles. Les deux stations situées sur le Bafing sont influencées par le régime tropical de transition avec de fortes eaux de juillet à octobre et des étiages sévères de janvier à mai. La station de Dakka Saidou, située la plus amont, présente des débits mensuels spécifiques moyens plus élevés que la station de Bafing Makana pendant la saison humide. La station de Bakel influencée par un régime tropical pur enregistre des débits spécifiques nettement inférieurs à ceux des deux autres stations. De plus, les fortes eaux n'ont lieu que sur trois mois, d'août à octobre.

Figure 11 : Apports annuels aux stations hydrométriques



Les apports annuels à Dakka Saidou de 1904 à 2010 fournis par l'OMVS sont résumés dans la Figure 12 ci-après.

On peut constater que la période retenue pour les études de simulation (1951-2010) englobe à la fois la période la plus sèche (les années 80) et la période la plus humide (autour de 1955) du XX<sup>ème</sup> siècle. Aussi :

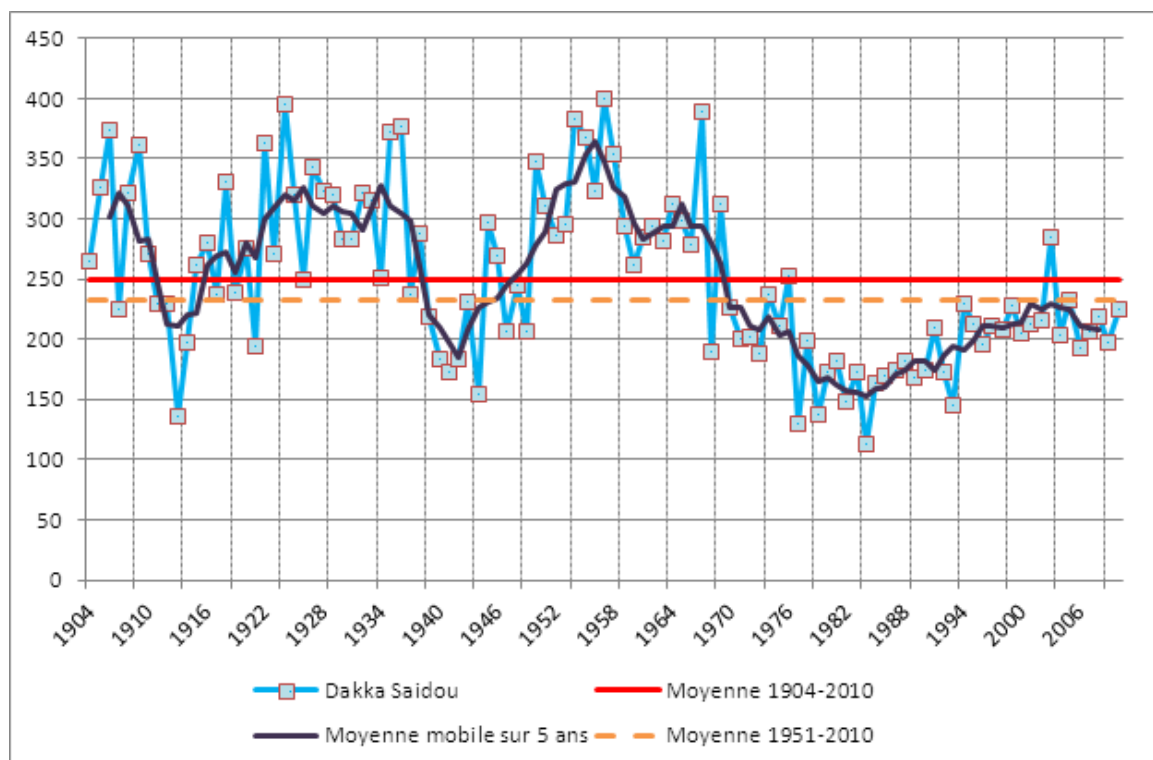
- la période retenue pour les simulations est la période pour laquelle les apports mensuels sont disponibles, d'une part,
- elle est représentative des différents types d'hydraulicité pouvant être observés sur le Bafing à Koukoutamba,
- elle représente une période d'hydraulicité plus pessimiste que la période 1904-2010, mais à notre sens elle est également la plus réaliste, et de ce fait plus conservatrice, puisqu'elle englobe la grande sécheresse des années 1980, période limitante du point de vue du

dimensionnement du futur aménagement,

- elle correspond enfin à la période de retour équivalent à la durée de vie des aménagements hydroélectriques, ainsi que des scénarii d'investissement.

Nous conserverons donc pour la suite des études uniquement les données mensuelles existantes sur la période 1951 – 2009 comme données de base de l'analyse hydrologique.

**Figure 12 – Apport annuels à Dakka Saidou – période 1902 – 2010**



La Figure 14 présente les courbes de simple cumul des écoulements annuels normés observés sur les trois stations hydrométriques. Quatre périodes peuvent être distinguées quelle que soit la station. Une première période est identifiable jusqu'en 1967 avec des pentes de simple cumul fortes, témoignant d'une forte hydraulicité. Une seconde période de 1968 à 1976 présente des pentes légèrement moins importantes, signifiant une hydraulicité qui baisse. Une troisième période, de 1977 à 1993, enregistrent les pentes les plus faibles qui traduisent la longue période de sécheresse qui a affecté cette région d'Afrique. Enfin, après 1994, les pentes de simple cumul sont plus fortes témoignant une reprise de l'hydraulicité, même si elle reste moins importante qu'avant 1967. Ces évolutions sont similaires à celles de la pluviométrie enregistrée à Mamou (Cf. Figure 9).

Figure 13 : Débits mensuels spécifiques moyens aux stations hydrométriques

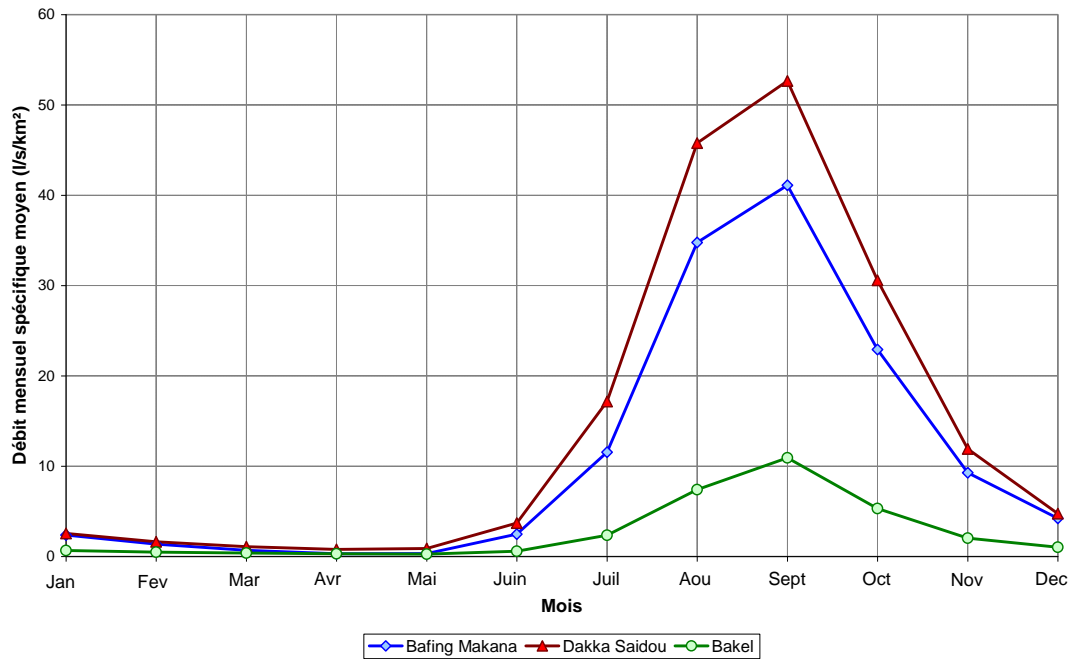
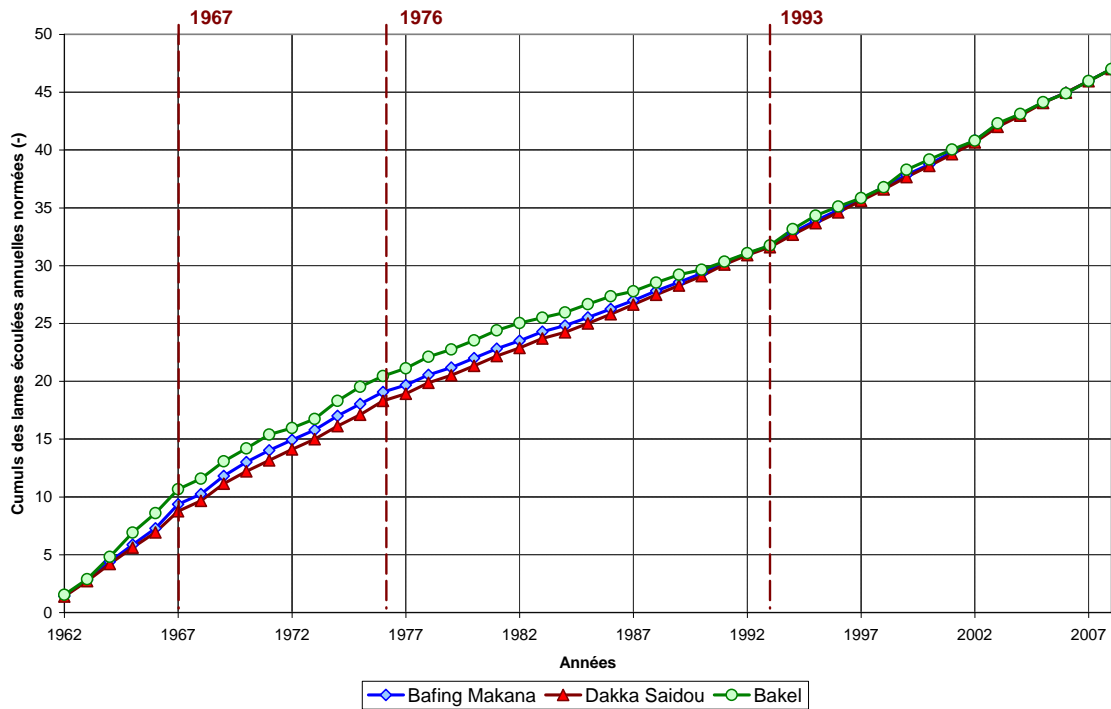


Figure 14 : Courbes de simple cumul des écoulements annuels normés aux trois stations



### C1.4.3 Estimation de la série des apports liquides à Koukoutamba

Les séries mensuelles et annuelles d'apports liquides aux stations de Dakka Saidou, Bafing Makana et Bakel sont reportées en annexe A. Koukoutamba étant situé sur la rivière Bafing, en amont de Dakka Saidou, cette station ainsi que celle de Bafing Makana un peu en aval seront utilisées pour estimer les apports liquides à Koukoutamba. De plus, la série de Bakel permettra de reconstituer les apports liquides à Dakka Saidou de 1951 à 1958 sur les quelques mois manquants.

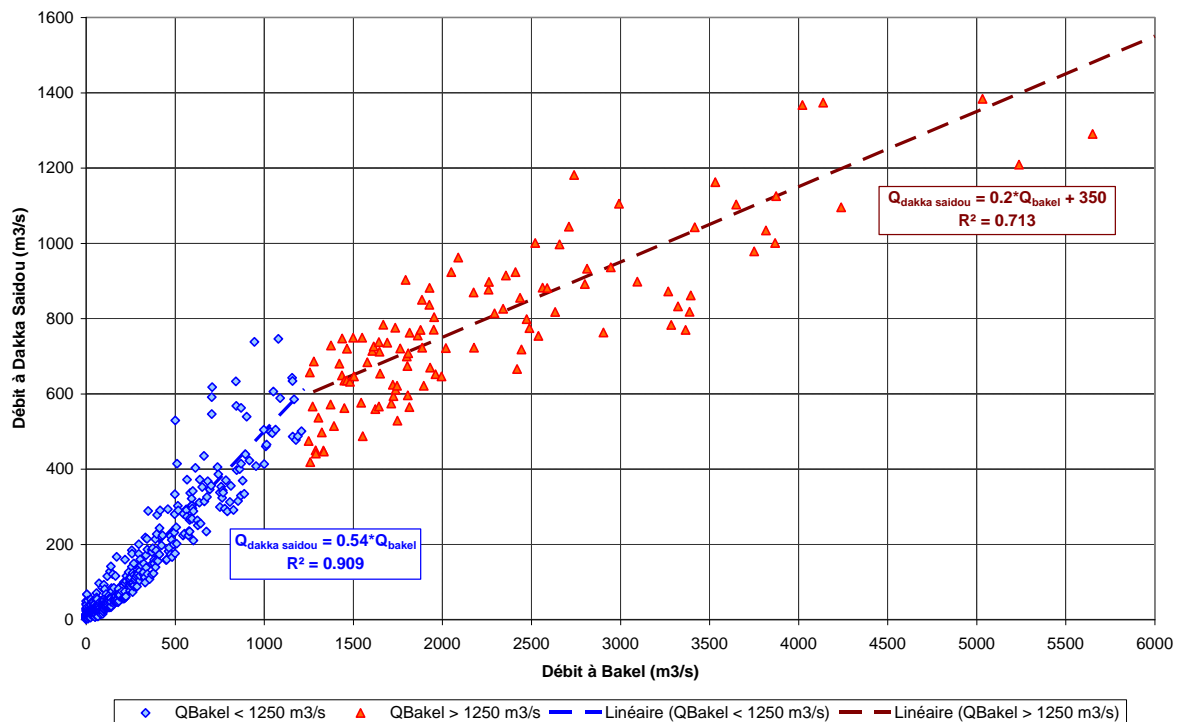
#### C1.4.3.1 Reconstitution des apports à Dakka Saidou de 1951 à 1958

La Figure 15 présente les débits mensuels à Dakka Saidou en fonction de ceux enregistrés à Bakel sur la période commune (1959 – 2008). Suite à la mise en exploitation de Manantali à partir de 1987, les débits naturels reconstitués ont été considérés sur la période de 1987 à 2008. Deux relations peuvent être établies suivant que le débit à Bakel est inférieur ou supérieur à  $1250 \text{ m}^3/\text{s}$  :

- Si  $Q_{Bakel} \leq 1250 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{Dakka\ Saidou} = 0.54 \times Q_{Bakel}$  ;
- Si  $Q_{Bakel} > 1250 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{Dakka\ Saidou} = 0.20 \times Q_{Bakel} + 350$ .

Les apports mensuels de Dakka Saidou sont ainsi reconstitués de janvier 1951 à décembre 1958 lorsqu'ils sont manquants (Cf. annexe A, données représentées en gras souligné).

Figure 15 : Qmens à Dakka Saidou en fonction de Qmens à Bakel ( $\text{m}^3/\text{s}$ )





**C1.4.3.2 Méthode d'estimation des apports à Koukoutamba**

Des relations débit-débit sont établies entre le site de Koukoutamba et les deux stations situées sur le Bafing :

- Si les apports à Dakka Saidou sont disponibles, les apports à Koukoutamba sont estimés suivant la relation :

$$Q_{Koukoutamba} = Q_{Dakka\ Saidou} \times \frac{S_{Koukoutamaba}}{S_{Dakka\ Saidou}} \times \frac{P_{Koukoutamaba}}{P_{Dakka\ Saidou}} = 0.72 \times Q_{Dakka\ Saidou}$$

- Dans le cas contraire et si les apports à Bafing Makana sont disponibles, les apports à Koukoutamba sont estimés suivant la relation :

$$Q_{Koukoutamba} = Q_{Bafing\ Makana} \times \frac{S_{Koukoutamaba}}{S_{Bafing\ Makana}} \times \frac{P_{Koukoutamaba}}{P_{Bafing\ Makana}} = 0.57 \times Q_{Bafing\ Makana}$$

Ces relations débit-débit font intervenir le rapport des superficies ainsi que le rapport des normales pluviométriques de bassins versants, ces dernières étant différentes sur les trois bassins versants à considérer(1). Le Tableau 13 récapitule l'ensemble des caractéristiques utiles.

**Tableau 13 : Caractéristiques des bassins de Koukoutamba et des stations hydrométriques sur le Bafing**

Lieu	Rivière	S, superficie (km <sup>2</sup> )	P, normale pluviométrique(2) (mm)
Koukoutamba	Bafing	10 670	1 750
Dakka Saidou		15 700	1 650
Bafing Makana		22 000	1 500

(1) Une analyse de sensibilité a été réalisée pour tester la pertinence de deux modèles de reconstitution des données : un pour l'hivernage et un pour la saison sèche durant laquelle les écoulements ne sont plus fonction des pluies (quasiment nulles), mais d'autres phénomènes (recharge de nappe localisée et pertes sur le linéaire par exemple). En effet, l'hypothèse choisie en considérant un modèle unique (présenté au paragraphe C1.4.3.2) est celui d'une recharge de nappe homogène sur l'ensemble du bassin du Bafing. Au vu des données disponibles, l'analyse de sensibilité a été réalisée entre les stations de Dakka Saidou et Bafing Makana en regardant la corrélation des écoulements en saison sèche (de novembre à juin) : le modèle de régression indique que  $Q_{Dakka\ Saidou} = 0.79 \times Q_{Bafing\ Makana}$ , avec un très bon coefficient de corrélation de 0.98, tandis que le modèle prenant en compte le rapport des superficies et des normales de pluie indique un facteur multiplicatif de 0.80. Au vu de ces résultats convergents et privilégiant une approche conservatrice (recharge de nappe homogène sur l'ensemble du bassin du Bafing), le modèle annuel présenté au paragraphe C1.4.3.2 sera appliqué quelle que soit la saison considérée.

(2) Les normales pluviométriques représentent ici les pluies moyennes sur les bassins versants. Elles ont été estimées à l'aide d'une carte des isohyètes établie sur la région d'étude et présentée dans la thèse d'O. Dione (1996) intitulée « évolution climatique récente et dynamique fluviale dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie » [4].

### **C1.4.3.3 Apports mensuels et annuels à Koukoutamba**

Les apports mensuels et annuels estimés à Koukoutamba sur la période 1951 – 2009 sont présentés dans le Tableau 14. Les statistiques sont synthétisées par le Tableau 15. Les apports annuels sont compris entre 2584 hm<sup>3</sup>/an (année 1984) et 9073 hm<sup>3</sup>/an (année 1957), avec une moyenne de 5283 hm<sup>3</sup>/an. Les mois de juillet à octobre présentent les apports les plus importants, avec en moyenne 90 % des apports annuels. Le maximum a le plus souvent lieu en septembre (40 années sur 59), parfois en août (16 années sur 59), et plus rarement en octobre (3 années sur 59). A l'inverse, seulement 1.7 % des apports annuels moyens se produisent entre mars et mai.

**Tableau 14 : Apports mensuels et annuels estimés à Koukoutamba (hm<sup>3</sup>)**

Année	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Apports annuels (hm <sup>3</sup> /an)	Débit annuel moyen (m <sup>3</sup> /s)
1951	208	107	58	18	8	81	459	1266	1530	2056	1169	458	7418	235
1952	274	162	88	35	10	88	621	1442	1869	1812	592	303	7296	231
1953	185	45	37	22	6	139	1086	1375	1742	1272	479	277	6667	211
1954	192	57	43	40	66	374	1136	2640	2047	1113	687	381	8775	278
1955	174	94	70	65	73	328	1141	2244	1870	1386	605	307	8355	265
1956	168	87	57	39	38	132	566	1582	1759	1247	469	208	6351	201
1957	107	57	43	30	28	184	680	2016	2567	2281	790	288	9073	288
1958	148	74	51	39	59	191	778	2253	1932	1151	692	368	7736	245
1959	170	86	59	38	79	298	600	1703	2102	941	432	176	6684	212
1960	90	53	39	28	42	126	772	1486	1598	1094	459	179	5966	189
1961	92	55	43	30	31	239	646	1808	1997	917	415	187	6459	205
1962	105	56	41	28	36	111	660	1595	1948	1320	566	225	6691	212
1963	131	59	42	29	28	43	406	1421	1863	1702	493	198	6417	203
1964	95	53	37	26	36	185	688	1857	2412	1090	440	216	7136	226
1965	111	58	45	34	31	82	718	1579	2258	1200	477	191	6783	215
1966	118	62	48	36	41	66	433	1227	1666	1890	544	208	6338	201
1967	119	63	46	34	41	216	718	2529	2586	1701	559	238	8850	280
1968	141	83	49	32	46	151	386	957	1323	767	259	144	4338	137
1969	69	39	31	25	23	102	652	1391	2065	1783	690	234	7105	225
1970	109	56	41	29	31	76	359	1732	1725	651	224	118	5151	163
1971	66	42	33	27	37	61	431	1578	1409	569	194	106	4552	144
1972	56	37	27	17	19	180	558	1097	1394	800	263	163	4611	146
1973	71	41	31	19	54	141	413	1179	1361	643	217	93	4262	135
1974	56	36	27	18	15	126	663	1511	1555	993	260	123	5383	171
1975	71	44	34	23	15	78	581	941	1629	967	291	126	4801	152
1976	74	45	32	23	27	125	584	1390	1185	1241	821	221	5767	183
1977	110	56	38	29	28	74	239	609	1058	487	163	72	2962	94
1978	47	30	23	16	19	95	355	1147	1307	1036	324	127	4526	143
1979	63	36	25	16	17	102	330	798	840	517	299	99	3141	100
1980	54	33	23	11	14	72	415	1447	1218	390	182	82	3939	125
1981	49	32	26	28	53	87	409	1458	1073	629	199	87	4130	131
1982	52	33	26	18	16	56	356	938	1068	511	200	80	3354	106
1983	48	30	22	12	15	159	537	1055	1183	566	217	81	3927	124
1984	53	33	27	20	11	76	541	528	553	561	126	54	2584	82
1985	36	23	17	9	1	7	334	1313	1221	520	152	69	3703	117
1986	41	25	18	9	8	43	230	1192	1350	636	213	81	3847	122
1987	50	33	24	13	17	92	161	1022	1379	840	226	91	3947	125
1988	52	33	22	11	10	28	351	1379	1447	555	187	86	4162	132
1989	54	34	27	20	10	33	231	1199	1251	683	201	86	3828	121
1990	52	33	23	14	10	46	556	1268	1133	528	208	81	3951	125
1991	48	29	21	10	5	34	543	1424	1259	973	294	113	4754	151
1992	63	39	27	17	13	31	560	1042	1213	606	227	91	3929	125
1993	52	33	23	14	13	53	279	889	1208	440	209	81	3295	104
1994	48	30	23	12	6	55	308	1021	1708	1205	629	179	5223	166
1995	81	46	35	26	23	54	190	1678	1492	852	236	115	4829	153
1996	63	38	28	16	15	84	366	1325	1439	788	218	94	4473	142
1997	54	33	25	22	50	264	561	1221	1563	661	232	100	4787	152
1998	59	36	27	19	19	52	286	1552	1425	922	243	101	4742	150
1999	59	36	27	17	22	52	321	1208	1438	1394	437	169	5181	164
2000	86	44	34	25	27	42	439	1080	1464	975	335	123	4672	148
2001	65	40	30	19	15	101	452	1446	1638	686	235	102	4830	153
2002	57	34	26	15	10	37	470	1743	1356	783	280	101	4911	156
2003	58	37	25	15	22	52	964	1733	2060	961	418	145	6490	206
2004	77	46	33	26	25	51	745	1085	1449	668	327	108	4640	147
2005	66	40	48	25	24	312	800	1472	1350	808	234	108	5287	168
2006	63	39	28	20	33	110	422	1130	1187	898	348	124	4401	139
2007	64	38	29	16	16	16	306	1571	1610	668	279	109	4722	150
2008	57	36	26	16	25	67	604	1641	1245	867	324	118	5024	159
2009	63	38	30	21	14	58	227	1078	1712	863	329	120	4552	144

**Tableau 15 : Statistiques des apports (hm<sup>3</sup>) à Koukoutamba**

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Nb	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Moy	87	48	35	23	26	109	519	1398	1547	967	370	154	5283
E.T.	49	23	13	10	17	82	224	411	401	429	203	86	1536
Cv	0.56	0.48	0.39	0.43	0.67	0.75	0.43	0.29	0.26	0.44	0.55	0.56	0.29
Min	36	23	17	9	1	7	161	528	553	390	126	54	2584
Med	65	39	30	21	22	82	470	1390	1449	867	294	120	4801
Max	274	162	88	65	79	374	1141	2640	2586	2281	1169	458	9073

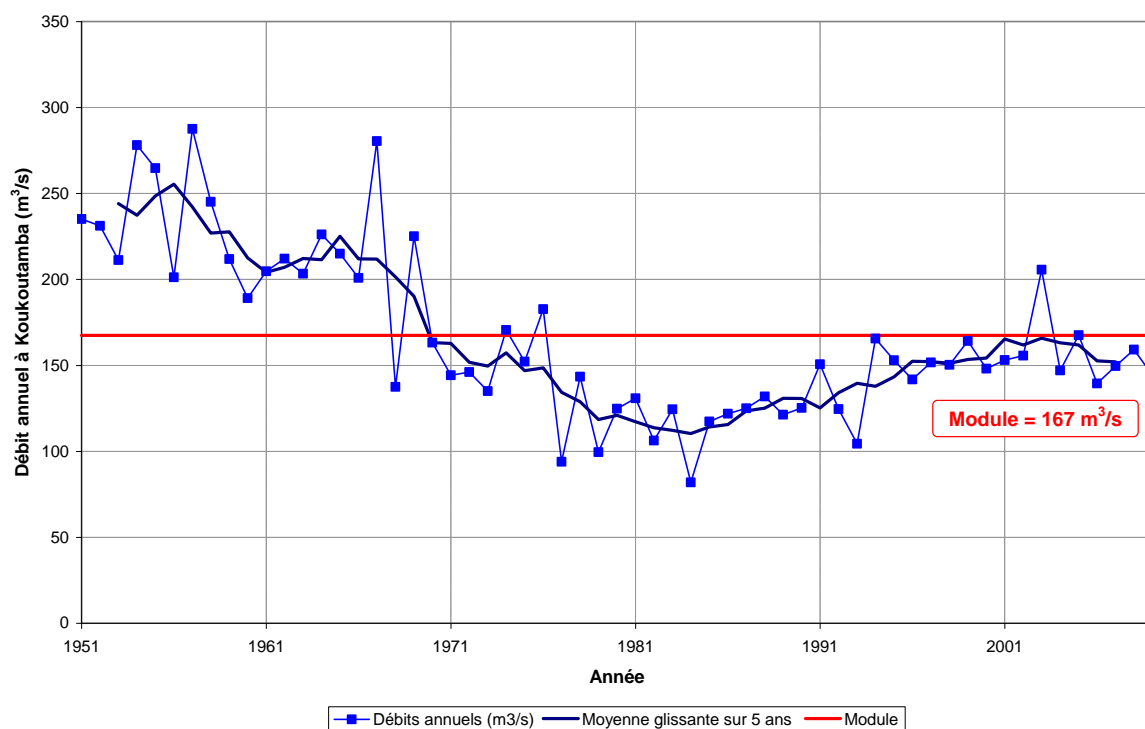
## C1.4.4 Régime des débits du Bafing à Koukoutamba

### C1.4.4.1 Analyse des débits annuels

La Figure 16 présente les débits moyens annuels estimés au site de Koukoutamba de 1951 à 2009. Le module(1) est égal à 167 m<sup>3</sup>/s sur les 59 années de données, soit un débit moyen spécifique de 15.7 l/s/km<sup>2</sup>. La moyenne glissante sur 5 ans est représentée par la courbe foncée en gras. Elle permet d'analyser l'évolution à moyen terme du débit de la rivière Bafing à Koukoutamba. Elle souligne une période de fort débit avant 1970, suivie de quelques années avec des débits proches du module de 1971 à 1976. Une longue période de faibles débits s'étale de 1977 à 1993. Depuis 1994, les débits annuels sont proches du module.

Les années les plus humides ont été 1957 et 1967 avec un débit annuel respectif de 288 et 280 m<sup>3</sup>/s. A l'opposé, 1984, 1977 et 1979 présentent les débits annuels les plus faibles avec respectivement 82, 94 et 100 m<sup>3</sup>/s.

Figure 16 : Débit moyen annuel à Koukoutamba (m<sup>3</sup>/s)



Le Tableau 16 compare les valeurs des apports liquides à Koukoutamba estimées dans l'APD réalisée en 1976 [2] et au cours de cette étude. Les valeurs actualisées dans cette étude sont inférieures à celles présentées en 1976 par Energoprojekt. La différence s'explique avec la différence des périodes de données disponibles pour les deux études : Energoprojekt a considéré la période s'étendant de 1902 à 1974 et qui n'inclue ni la période de sécheresse de 1974 à 1993, ni la période plus récente d'hydraullicité moyenne (de 1994 à aujourd'hui). Considérant la période commune des deux études (1951 – 1974), la moyenne des apports présentés au Tableau 14 s'élève à 209 m<sup>3</sup>/s, valeur très proche de celle prise en compte par Energoprojekt.

(1) Le module est le débit annuel moyen sur une période temporelle donnée.

**Tableau 16 : Comparaison des apports liquides à Koukoutamba**

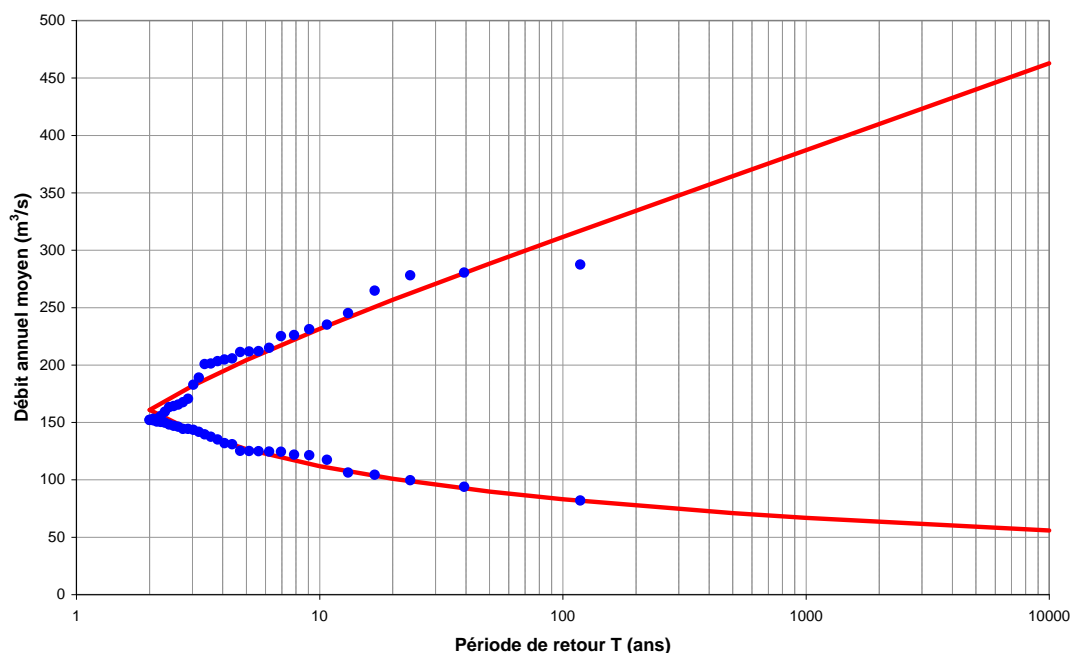
	Débit annuel moyen (m <sup>3</sup> /s)	Débit moyen spécifique (l/s/km <sup>2</sup> )	Apports moyens (hm <sup>3</sup> /an)
Etude APD de 1976	212	19.7	6 690
Etude actuelle	167	15.7	5 283

Le Tableau 17 et la Figure 17 présentent les résultats de l'analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba. La loi de Galton (ou gaussio-logarithmique) a été utilisée pour l'ajustement. Les quantiles de débit annuel varient entre 56 et 142 m<sup>3</sup>/s pour les années sèches et entre 182 et 463 m<sup>3</sup>/s pour les années humides.

**Tableau 17 : Analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba (m<sup>3</sup>/s)**

	Périodes de retour T ans	Fréquences F	Quantiles Qan(T) m <sup>3</sup> /s
Années sèches	10000	0,0001	56
	1000	0,001	67
	500	0,002	71
	100	0,01	83
	50	0,02	90
	20	0,05	101
	10	0,1	112
	5	0,2	127
	3	0,33	142
Médiane	2	0,5	161
Années humides	3	0,67	182
	5	0,8	204
	10	0,9	232
	20	0,95	257
	50	0,98	288
	100	0,99	312
	500	0,998	364
	1000	0,999	387
	10000	0,9999	463

Figure 17 : Analyse fréquentielle des débits annuels à Koukoutamba (m<sup>3</sup>/s)



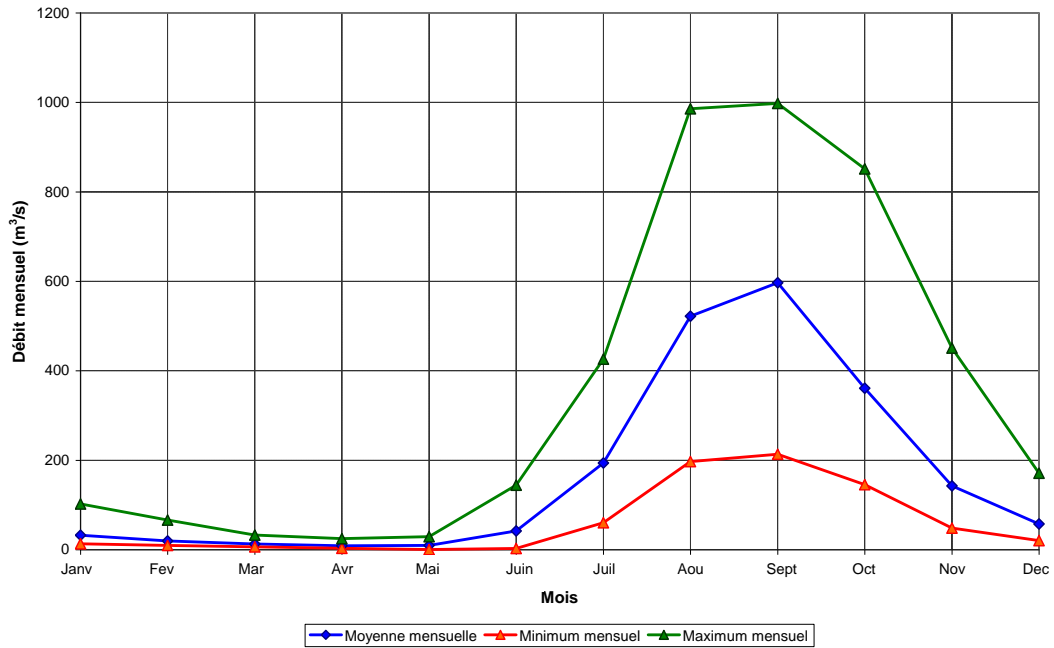
#### C1.4.4.2 Analyse des débits mensuels

Le Tableau 18 et la Figure 18 synthétisent les statistiques des débits mensuels estimés à Koukoutamba. L'évolution saisonnière est caractéristique du régime tropical de transition avec une période de forts débits de juillet à octobre et une période de faibles débits le reste de l'année. Les mois présentant les plus forts débits sont août et septembre (et plus rarement octobre) avec un débit mensuel maximal égal à 998 m<sup>3</sup>/s en septembre 1967. Les étiages sont particulièrement sévères de mars à mai avec des débits moyens inférieurs à 15 m<sup>3</sup>/s et une valeur minimale de 1 m<sup>3</sup>/s estimée en mai 1985.

Tableau 18 : Statistiques des débits mensuels et annuels à Koukoutamba (m<sup>3</sup>/s)

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Nb	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Moy	33	20	13	9	10	42	194	522	597	361	143	58	167
E.T.	18	10	5	4	6	32	84	153	155	160	78	32	49
Cv	0.56	0.48	0.39	0.43	0.67	0.75	0.43	0.29	0.26	0.44	0.55	0.56	0.29
Min	13	10	6	3	1	3	60	197	213	145	49	20	82
Med	24	16	11	8	8	32	175	519	559	324	114	45	152
Max	102	66	33	25	29	144	426	986	998	852	451	171	288

Figure 18 : Débits mensuels moyen, minimum et maximum à Koukoutamba ( $m^3/s$ )



La Figure 19 présente la courbe des débits moyens mensuels classés estimés à Koukoutamba. Le débit garanti 95 % du temps est de  $6.1 m^3/s$ . Le Tableau 19 indique les valeurs numériques des débits garantis à Koukoutamba. Le débit moyen annuel ( $167 m^3/s$ ) est dépassé 32 % du temps, ce qui souligne la sévérité des étiages et l'intérêt de stocker au mieux les plus forts débits pour pouvoir les valoriser en saison sèche.

Figure 19 : Débits moyens mensuels classés à Koukoutamba (1951 - 2009)

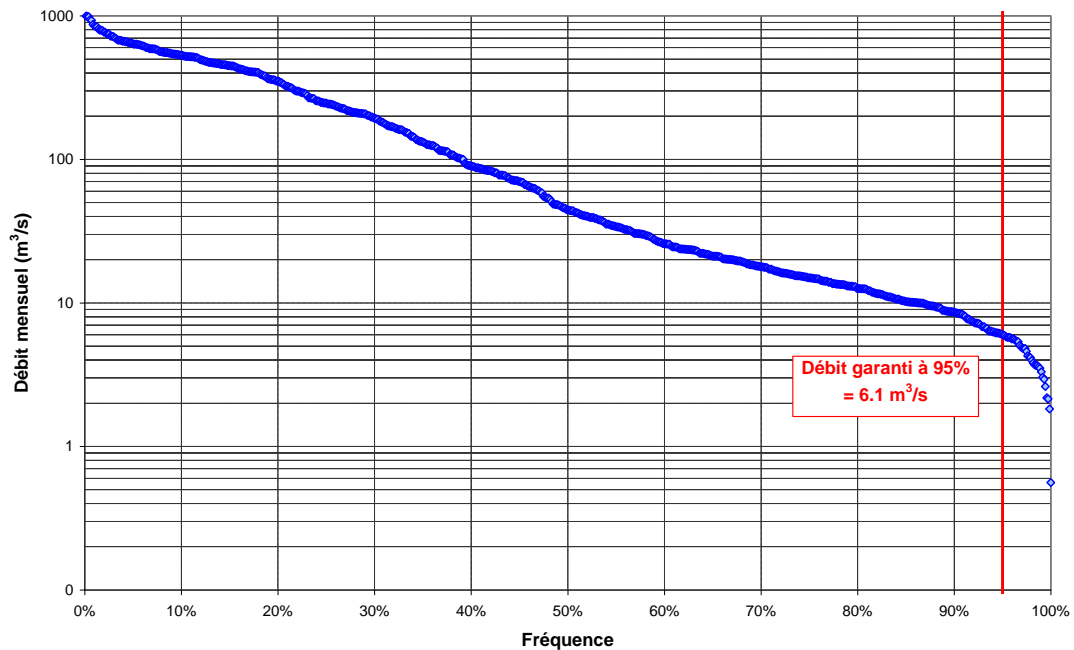


Tableau 19 : Débits garantis (m<sup>3</sup>/s) à Koukoutamba (données de 1951 à 2009)

Probabilité de dépassement	Débit garanti (m <sup>3</sup> /s)	Probabilité de dépassement	Débit garanti (m <sup>3</sup> /s)
0 %	998	60 %	26
10 %	532	70 %	18
20 %	351	80 %	13
30 %	193	90 %	9
40 %	90	<b>95 %</b>	<b>6.1</b>
50 %	44	100 %	1

#### C1.4.5 Débits du Bafing à Manantali

L'OMVS a fourni la série des débits à Manantali de 1951 à 2009. Il s'agit des débits observés pour la période avant la construction du barrage de Manantali, puis des débits naturels reconstitués après la construction du barrage de Manantali (à partir de 1987). Les débits sont reconstitués à partir des données observées à Bakel, à Bafing Makana, des débits sortants du barrage de Manantali et du niveau d'eau observé sur la retenue.

Les débits mensuels et annuels estimés à l'entrée de l'aménagement de Manantali sur la période 1951 – 2009 sont présentés dans le Tableau 20. Les statistiques sont résumées dans le Tableau 21. Les débits moyens annuels sont compris entre 147 et 514 m<sup>3</sup>/s, avec une moyenne de 296 m<sup>3</sup>/s. Les mois de juillet à novembre présentent les débits les plus importants, avec en moyenne 93 % des apports annuels et un maximum en septembre. A l'inverse, seulement 0.8 % des apports annuels moyens se produisent entre mars et mai.



**Tableau 20 : Débits mensuels et annuels à Manantali (m<sup>3</sup>/s)**

Année	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Débit annuel moyen (m <sup>3</sup> /s)	Apport annuel (hm <sup>3</sup> /an)
1951	117	64	25	3	10	66	329	854	1102	1337	709	305	412	13003
1952	161	100	56	22	4	48	387	950	1274	928	321	138	367	11598
1953	60	31	14	4	1	167	701	875	1205	858	377	178	375	11814
1954	85	45	22	19	44	253	720	1755	1456	737	478	273	494	15570
1955	127	78	51	48	61	237	657	1527	1299	937	436	214	476	14997
1956	124	70	39	18	14	89	354	1711	1214	846	341	153	416	13162
1957	80	45	23	7	5	126	444	1337	1782	1521	563	206	514	16220
1958	108	62	32	18	39	136	497	1650	1359	775	483	265	455	14336
1959	125	72	41	17	50	211	390	1113	1484	630	311	130	382	12058
1960	68	39	17	5	20	89	485	965	1083	726	335	132	331	10481
1961	69	43	43	13	6	90	407	1223	1404	714	396	151	382	12037
1962	82	21	0	0	0	33	392	1025	1355	878	407	159	364	11494
1963	46	13	2	0	0	4	241	916	1289	1142	359	112	346	10902
1964	29	7	1	0	1	115	437	1211	1720	736	326	147	395	12483
1965	40	11	3	0	0	45	458	877	1596	810	344	139	362	11407
1966	86	50	28	14	16	46	257	813	1131	1291	392	124	356	11232
1967	85	49	24	8	7	113	401	1546	1971	1183	435	201	504	15900
1968	122	84	40	12	19	108	242	601	942	506	193	116	249	7874
1969	59	27	8	3	2	58	410	901	1551	1181	532	191	412	12991
1970	107	59	24	8	3	54	224	1142	1345	467	190	104	312	9827
1971	56	29	9	4	3	23	303	1211	1035	429	163	89	281	8872
1972	46	20	6	2	1	103	315	646	881	485	192	114	235	7423
1973	51	21	6	2	17	100	237	809	875	434	151	71	232	7327
1974	34	14	5	1	0	61	488	1168	1079	668	211	98	321	10130
1975	48	25	7	3	0	41	322	723	1207	638	247	101	281	8870
1976	57	27	9	3	2	60	427	823	706	700	550	178	296	9365
1977	85	34	14	5	3	27	168	453	712	349	126	54	170	5354
1978	28	10	2	0	0	56	216	715	842	659	252	101	242	7619
1979	52	19	7	2	1	78	239	520	568	360	162	80	175	5514
1980	32	11	4	0	0	46	238	825	973	290	142	69	219	6940
1981	29	11	5	2	27	44	261	878	683	429	150	68	217	6848
1982	33	15	5	2	0	20	213	565	688	345	164	65	177	5586
1983	29	9	1	0	0	126	398	652	746	406	163	84	219	6909
1984	44	14	4	1	0	52	355	372	389	388	98	36	147	4652
1985	12	4	0	0	0	1	218	851	827	367	117	51	205	6470
1986	21	5	1	0	0	22	155	762	917	445	164	60	214	6740
1987	32	13	2	0	5	63	110	639	928	573	172	68	218	6874
1988	34	12	2	0	0	9	222	884	991	391	141	65	230	7267
1989	36	15	4	1	0	15	148	780	827	479	147	59	210	6637
1990	27	9	2	0	0	25	357	824	759	369	157	61	217	6855
1991	29	8	1	0	0	12	346	928	874	636	222	84	264	8315
1992	45	21	4	0	0	9	347	673	838	423	168	69	217	6867
1993	34	13	2	0	0	30	184	564	839	312	156	61	184	5789
1994	29	10	2	0	0	37	197	646	1149	808	442	130	289	9101
1995	58	42	21	13	5	32	99	1034	1049	613	207	94	273	8624
1996	53	29	13	3	0	56	223	818	952	558	176	76	247	7814
1997	42	22	9	5	16	149	364	766	1006	516	181	80	264	8329
1998	48	26	12	4	3	28	210	976	1018	659	199	99	275	8677
1999	50	26	11	1	2	23	197	796	909	882	354	153	285	9003
2000	82	45	24	11	9	24	247	713	938	612	247	113	256	8096
2001	64	34	18	7	1	44	300	987	1193	500	200	107	289	9122
2002	56	30	14	4	1	19	284	1091	871	509	212	97	268	8438
2003	53	33	13	4	1	33	547	1086	1409	648	336	130	359	11335
2004	83	49	22	13	10	42	390	686	878	443	232	102	246	7792
2005	55	34	32	14	6	161	497	908	859	549	189	101	286	9006
2006	56	36	16	7	14	79	247	628	748	598	251	104	233	7351
2007	57	34	19	8	4	5	214	963	1099	515	225	96	271	8549
2008	54	35	16	6	5	54	360	1011	877	584	252	114	282	8913
2009	61	36	18	6	4	31	158	782	1248	657	281	114	284	8954

**Tableau 21 : Statistiques des débits (m<sup>3</sup>/s) à Manantali**

	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
Nb	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Moy	61	31	15	6	7	67	326	918	1067	651	273	118	296
E.T.	31	21	14	8	13	57	137	298	310	271	133	56	89
Cv	0.52	0.68	0.93	1.34	1.73	0.85	0.42	0.32	0.29	0.42	0.49	0.48	0.30
Min	12	4	0	0	0	1	99	372	389	290	98	36	147
Med	54	27	11	3	2	48	315	875	1006	612	225	104	281
Max	161	100	56	48	61	253	720	1755	1971	1521	709	305	514

### C1.4.6 La variabilité climatique sur le Haut-Bafing

La série *environnement* de l'Atlas de l'Intégration Régionale en Afrique de l'Ouest [7] donne un aperçu de l'état de la recherche sur le changement climatique dans la région de Koukoutamba et Manantali :

- Les modèles climatiques sont assez satisfaisants pour prévoir le changement de température en Afrique. Dans son rapport de 2001, le GIEC confirme qu'au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle, le réchauffement climatique sera plus important en Afrique que dans le reste du monde. Ainsi, la hausse de température moyenne entre 1990 et 2090 s'échelonne entre 3 °C (près des côtes et de l'Equateur) et 4 °C (partie ouest du Sahara), soit 1.5 fois plus qu'au niveau mondial.
- Concernant l'évolution des précipitations, de fortes incertitudes demeurent sur les résultats des projections. Sur l'Afrique de l'Ouest en particulier, aucune conclusion ne peut être tirée sur le régime des précipitations futures.
- Les changements climatiques sont également susceptibles d'accroître la fréquence et la gravité des inondations et/ou des sécheresses dans les zones à forte variabilité spatiale des précipitations comme le bassin du Haut-Bafing. Pourtant, les possibles évolutions sont très difficiles à appréhender : le GIEC reconnaît en effet les limites de la recherche actuelle sur les événements climatiques extrêmes.

Une approche pour essayer d'appréhender les conséquences possibles du changement climatique est d'analyser les effets de différents scénarii de pluie et d'écoulement par rapport à un cadre de référence. Dans sa thèse, O. Dione [4] réalise cette analyse en prenant comme période de référence les années 1931 à 1960 et en étudiant les effets de trois scénarii différents de changement climatique et leurs conséquences respectives sur les hauts bassins du Sénégal et de la Gambie. Les conclusions pour le haut-bassin du Bafing, Koukoutamba et Manantali sont résumées dans le Tableau 22.

Quelles que soient les sources d'informations consultées et les divergences possibles de celles-ci, elles s'accordent toutes sur l'importance de la gestion intégrée des aménagements situés en Afrique de l'Ouest, et donc d'aménagements comme Koukoutamba et Manantali. En effet, que le futur se traduise par une hausse ou une baisse plus ou moins sensible des précipitations et donc des écoulements, les aménagements, et surtout leur gestion simultanée et intégrée, doivent aider à la régulation des apports pour répondre aux besoins comme l'irrigation, la culture de décrue, etc., dans cette région de très forte variabilité pluviométrique.

**Tableau 22 : Analyse de 3 scenarii de changement climatique sur les hauts bassins du Sénégal et de la Gambie (O. Dione [4])**

Scénario	Pluviométrie	Ecoulement	Remarques
1- stagnation des conditions actuelles	-11 % sur le domaine guinéen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution du niveau des nappes souterraines</li> <li>• étiages plus précoces, atteignant 0 sur l'essentiel des cours d'eau</li> </ul>	Rôle primordial des aménagements pour assurer les différents besoins en eau, notamment la culture de décrue
2- Aggravation de la situation actuelle (années type 1983-1984)	- 34 % sur le domaine guinéen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etiage absolu nul chaque année de tous les cours d'eau non régularisés</li> <li>• -46 % des apports à Dakka Saidou</li> </ul>	Remplissage compromis des aménagements (apports atteignant difficilement 3 000 hm <sup>3</sup> /an à Manantali par exemple)
3- Retour à une période humide	Pluviométrie type des années 1951-1960 (1772 mm/an dans le domaine guinéen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retour très progressif à une situation de type 1931-1960</li> <li>• Variabilité de la reprise des écoulements suivant les bassins</li> </ul>	Forte influence de l'effet mémoire de la sécheresse et de la nature hydrogéologique des bassins

## C1.5 L'ETUDE DES CRUES

### C1.5.1 Méthodologie

L'étude des crues sur le bassin versant de Koukoutamba débute par la détermination des quantiles de débit pour différentes périodes de retour, à l'aide de deux méthodes :

- une analyse régionale afin de déterminer une première estimation des quantiles de crues à partir d'études antérieures sur des sites voisins ;
- une analyse statistique réalisée à partir des données historiques de débits maximaux journaliers disponibles à la station de Dakka Saidou.

Une étude des hydrogrammes de crue est réalisée à partir des chroniques journalières de débit à Dakka Saidou. Elle permet de déterminer la forme des hydrogrammes de crue. Une analyse statistique des volumes de crue est également développée.

### C1.5.2 Analyse régionale de Francou-Rodier

#### Principe de l'étude régionale

Les crues peuvent être estimées à partir d'informations régionales, à l'aide des coefficients de Francou-Rodier. Cet indice permet d'exprimer l'importance des crues sous forme d'un nombre indépendant de la taille des bassins versants. Il permet donc de comparer les bassins versants entre eux, qu'ils soient petits ou grands.

Le coefficient de Francou-Rodier s'exprime selon la formule : 
$$K(Fr) = 10 \times \left( 1 - \frac{\ln\left(\frac{Q}{10^6}\right)}{\ln\left(\frac{A}{10^8}\right)} \right)$$

Où Q est le débit de période de retour T donnée, exprimé en m<sup>3</sup>/s et A est la surface du bassin versant, exprimée en km<sup>2</sup>.

Le principe de cette analyse régionale des crues est d'établir un inventaire des coefficients de Francou-Rodier de la région d'étude en collectant des informations à partir d'études antérieures faites à proximité du site de Koukoutamba.

#### Etude régionale basée sur les données de l'APD 1976 [2]

L'APD [2] utilisait le principe de l'étude régionale pour appuyer les résultats obtenus à Dakka Saidou à l'aide de chroniques sur trois autres stations (cf. Tableau 23) : Dibia (15 années), Kayes et Bakel (65 années chacune).

Ces comparaisons, reportées dans le Tableau 24 sous la forme de coefficients de Francou-Rodier, montrent que seule la station de Dibia présente des valeurs de coefficient comparables à ceux obtenus à Dakka Saidou et Koukoutamba. Pour leur part, les stations de Kayes et Bakel présentent des valeurs de K(Fr) plus faibles. Les résultats de ces deux stations ne sont donc pas transposables au site de Koukoutamba car influencées par un autre régime climatique, le régime tropical pur.

De plus, les deux chroniques de Dakka Saidou et Dibia ont l'inconvénient majeur d'enregistrer des séries très courtes. Leur ajustement statistique respectif présente donc un problème de robustesse.

**Tableau 23 : Synthèse de l'étude de crue de l'APD de 1976 [2]**

Station	Rivière	Superficie (km <sup>2</sup> )	Période de données	Nombre de données	Q (T=10 ans)	Q (T=100 ans)	Q (T=1000 ans)	Q (T=10000 ans)
					(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
Dakka Saidou	Bafing	15 700	1952-1973	21	Min : 2 801	Min : 4 303	Min : 5 781	Min : 7 220
					Max : 3 404	Max : 5 344	Max : 7 261	Max : 9 177
Dibia	Bafing	33 500	1956-1971	15	5 980	7 920	10 680	13 480
Kayes	Sénégal	157 400	1903-1968	65	7 030	8 930	11 630	14 330
Bakel	Sénégal	218 000	1903-1968	65	9 610	12 650	16 950	21 260
Koukoutamba	Bafing	10 670	-	-	2 610	4 090	5 560	7 040

**Tableau 24 : Kfr correspondants au Q(T) dans l'APD de 1976 [2]**

T (ans)	Dakka Saidou		Dibia	Kayes	Bakel	Koukoutamba
	Min	Max				
10	3.29	3.51	3.60	2.32	2.42	3.50
100	3.78	4.03	3.95	2.69	2.87	3.99
1000	4.12	4.38	4.33	3.10	3.35	4.32
10000	4.37	4.64	4.62	3.42	3.72	4.58

**Données régionales collectées au Mali et au Sénégal**

Des études de crues antérieures réalisées par Coyne et Bellier (Tractebel Engineering) ont permis de déterminer les coefficients de Francou-Rodier sur plusieurs stations situées sur la rivière Bafing et le fleuve Sénégal au Mali et au Sénégal [6]. Le Tableau 25 répertorie l'ensemble des résultats collectés. Trois remarques sont à souligner :

- La station de Dakka Saidou située en aval de Koukoutamba, sans affluent majeur entre les deux sites, est un point de repère intéressant. Les coefficients de Francou-Rodier sont relativement élevés avec une valeur à 4.20 pour la crue décennale.
- La sévérité des crues sur le Bafing apparaît nettement différente de celle sur le fleuve Sénégal : les coefficients de Francou-Rodier sont nettement plus élevés sur le Bafing. Ce résultat montre qu'il est discutable d'utiliser des stations de débit situées sur le fleuve Sénégal pour l'estimation des crues à Koukoutamba.
- La station de Soukoutali présente des statistiques de K(Fr) plus faibles que les autres stations situées sur le Bafing. Elle ne sera pas prise en compte dans l'analyse régionale.

Tableau 25 : K(Fr) estimés en différents sites du Bafing et du Sénégal

Station	Dakka Saidou	Manantali	Soukoutali	Dibia	Gouina	Félou	Kayes	Bakel
Rivière	Bafing	Bafing	Bafing	Bafing	Sénégal	Sénégal	Sénégal	Sénégal
S (km <sup>2</sup> )	15 700	27 800	27 800	33 000	127 000	131 000	157 400	218 000
T (ans)	K(Fr)	K(Fr)	K(Fr)	K(Fr)	K(Fr)	K(Fr)	K(Fr)	K(Fr)
	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
10	3.16	3.05	-	3.11	-	-	1.99	1.96
100	3.56	3.55	3.12	3.64	2.46	2.45	2.42	2.59
1 000	3.92	3.94	3.41	4.00	2.86	2.85	2.72	3.04
10 000	4.20	4.23	3.64	4.28	3.18	3.17	2.96	3.30

### Données régionales collectées en Guinée

Récemment, en 2006, une étude hydrologique, et plus spécialement une étude de crues, a été réalisée en Guinée dans des régions voisines du site de Koukoutamba. Deux sites ont été étudiés par Coyne et Bellier (Tractebel Engineering) dans le cadre du rapport fourni à l'OMVG intitulé « études d'avant-projets détaillés et d'élaboration des dossiers d'appel d'offres des aménagements hydroélectriques de Sambangalou et Kaléta et de la ligne d'interconnexion des pays membres de l'OMVG » [5]. Il s'agit de :

- Sambangalou sur le fleuve Gambie, situé à quelques kilomètres en aval de la frontière guinéo-sénégalaise. Le bassin versant correspondant est localisé au nord-est du bassin versant de Koukoutamba (Cf. carte en annexe C) ;
- Kaléta sur le fleuve Konkouré dont le bassin versant est entièrement localisé en Guinée, au sud-est du bassin versant de Koukoutamba (Cf. carte en annexe C).

Les trois cours d'eau des bassins versants étudiés (le Gambie à Sambangalou, le Konkouré à Kaléta et le Bafing à Koukoutamba) prennent tous naissance dans les monts du Fouta-Djalon. Le fleuve Gambie prend sa source près de Labé, tandis que le Konkouré et le Bafing prennent leurs sources près de Mamou, situé plus au sud.

Les caractéristiques des trois sites sont résumées dans le Tableau 26. Bien que très proches géographiquement, ils présentent des caractéristiques assez différentes : le bassin versant de Kaléta est ainsi le plus arrosé, avec le débit spécifique le plus important, au contraire du bassin de Sambangalou. Les valeurs hydro-climatiques moyennes de Koukoutamba se situent entre les deux sites, le débit spécifique étant plus proche de celui de Sambangalou. Les morphologies (reliefs) sont relativement similaires, même si Koukoutamba est situé à une altitude plus élevée que les deux autres sites.

**Tableau 26 : Caractéristiques des sites de Sambangalou, Kaléta [5] et de Koukoutamba**

Site	Rivière	Surface (km <sup>2</sup> )	Z <sub>min</sub> (m)	Z <sub>max</sub> (m)	P <sub>an</sub> (mm/an)	q <sub>s</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	Nombre données Q <sub>jmax</sub>
Sambangalou	Gambie	7 080	< 200	1 125	1 236	14.3	98
Kaléta	Konkouré	11 380	200	1 000	~ 2 000	30.4	55
Koukoutamba	Bafing	10 670	463	1 397	1 750	15.7	59

Les quantiles de débit à Sambangalou et Kaléta ainsi que les valeurs des coefficients de Francou-Rodier associés sont présentés dans le Tableau 27. Les coefficients de Francou-Rodier sont plus faibles à Sambangalou par rapport à Kaléta. Pour la période de retour de 10 000 ans, ils sont compris entre 3.69 et 3.92. Pour la CMP(1), ils sont compris entre 3.77 et 4.05.

**Tableau 27 : Q(T) et K(Fr) associés à Sambangalou et Kaléta [5]**

Site	Sambangalou		Kaléta	
Surface (km <sup>2</sup> )	7 080		11 380	
T (ans)	Q(T) en m <sup>3</sup> /s	K(Fr)	Q(T) en m <sup>3</sup> /s	K(Fr)
2	850	2.60	2 080	3.20
10	1 350	3.09	2 920	3.57
20	1 550	3.23	3 130	3.65
50	1 700	3.33	3 350	3.72
100	1 900	3.44	3 490	3.77
200	2 000	3.50	3 600	3.80
500	2 150	3.57	3 720	3.84
1 000	2 280	3.63	3 800	3.86
2 000	2 320	3.65	3 870	3.88
5 000	2 370	3.67	3 940	3.90
10 000	2 400	3.69	4 000	3.92
CMP	2 600	3.77	4 500	4.05

**Estimation des quantiles de débit à Koukoutamba par l'approche régionale**

Pour évaluer les quantiles de débit de crue au site de Koukoutamba, on privilégie une approche conservatrice en retenant les plus fortes valeurs de crue, c'est-à-dire celles issues des coefficients de Francou-Rodier établis pour le site de Kaléta en Guinée. Les résultats à Dakka Saidou issus d'études antérieures [6] sont également retenus du fait de la proximité avec Koukoutamba. Les paragraphes précédents (Tableau 24 et Tableau 25) ont souligné les limites de la transposition des résultats à une échelle régionale trop étendue autour de Koukoutamba, c'est pourquoi les quantiles de débits obtenus sur les autres sites ne sont pas retenus.

Les K(Fr) sont donc transposés au futur site du barrage selon la formule :

$$Q = 10^6 \times \left( \frac{A}{10^8} \right)^{(1-0.1 \times K(Fr))}$$

(1) CMP signifie la Crue Maximum Probable.

Les quantiles de débit suivant la période de retour T, estimés pour le site de Koukoutamba, sont répertoriés dans le Tableau 28.

**Tableau 28 : Quantiles de débit à Koukoutamba estimés à partir des K(fr) de Kaléta et Dakka Saidou**

T (ans)	Kaléta		Dakka Saidou	
	K(Fr)	Q(T) <sub>Koukoutamba</sub> (m <sup>3</sup> /s)	K(Fr)	Q(T) <sub>Koukoutamba</sub> (m <sup>3</sup> /s)
2	3.20	1991		
10	3.57	2802	3.16	1920
20	3.65	3005		
50	3.72	3217		
100	3.77	3353	3.56	2768
200	3.80	3459		
500	3.84	3575		
1000	3.86	3653	3.92	3847
2000	3.88	3720		
5000	3.90	3788		
10000	3.92	3846	4.20	4970
CMP	4.05	4331		

### C1.5.3 Analyse statistique des crues

#### C1.5.3.1 Les données disponibles

Reprenant l'approche choisie dans l'APD de 1976 [2], les débits maximaux journaliers à Dakka Saidou, notés Q<sub>jmax</sub>, sont utilisés pour l'étude des crues à Koukoutamba. Il s'agit en effet de la station de mesure la plus proche du site. De plus, par rapport à l'étude réalisée en 1976 qui n'avait que 21 années disponibles (de 1952 à 1973), la série actuelle a été complétée jusqu'en 2009 soit 38 valeurs supplémentaires.

Les Q<sub>jmax</sub> sont extraits pour chaque année disponible de 1951 à 2009. Il s'agit du débit maximum journalier observé à l'exception des années 1951 à 1954, 1956, 1958 et 2009 (en italique souligné dans le Tableau 29). Pour 2009, le débit a été reconstitué à partir de la série de Bafing Makana tandis que pour les autres années lacunaires, la série de Bakel a été utilisée.



Tableau 29 : Qjmax à Dakka Saidou (15 700 km<sup>2</sup>) de 1951 à 2009 (en m<sup>3</sup>/s)

Rang	Date	Qjmax (m <sup>3</sup> /s)	Rang	Date	Qjmax (m <sup>3</sup> /s)
1	07/10/1951	<u>1553</u>	31	07/08/1981	1081
2	01/10/1952	<u>1369</u>	32	01/09/1982	798
3	15/09/1953	<u>1340</u>	33	17/08/1983	986
4	06/09/1954	<u>1760</u>	34	02/10/1984	509
5	31/07/1955	2568	35	19/08/1985	1041
6	19/09/1956	<u>2045</u>	36	05/09/1986	1067
7	05/10/1957	2121	37	25/09/1987	933
8	28/08/1958	<u>1702</u>	38	08/09/1988	1331
9	05/09/1959	1735	39	25/08/1989	896
10	19/09/1960	1043	40	07/08/1990	864
11	01/09/1961	1371	41	23/08/1991	1355
12	27/08/1962	1451	42	02/09/1992	1121
13	14/10/1963	1549	43	03/09/1993	1024
14	19/09/1964	1674	44	20/09/1994	1111
15	24/09/1965	1532	45	25/08/1995	1344
16	12/10/1966	1672	46	17/09/1996	932
17	05/08/1967	2458	47	08/09/1997	1139
18	12/09/1968	1024	48	23/08/1998	1069
19	08/09/1969	1439	49	06/10/1999	1238
20	13/08/1970	1326	50	29/08/2000	1083
21	27/08/1971	1180	51	18/08/2001	1153
22	03/09/1972	1137	52	04/08/2002	1224
23	15/09/1973	991	53	18/09/2003	1460
24	27/08/1974	1279	54	27/07/2004	966
25	04/09/1975	1218	55	19/08/2005	1282
26	19/08/1976	1396	56	16/08/2006	1054
27	19/09/1977	797	57	26/08/2007	1305
28	06/08/1978	949	58	18/08/2008	1120
29	07/09/1979	642	59	18/09/2009	<u>1651</u>
30	11/08/1980	1354			

### C1.5.3.2 Le régime des crues

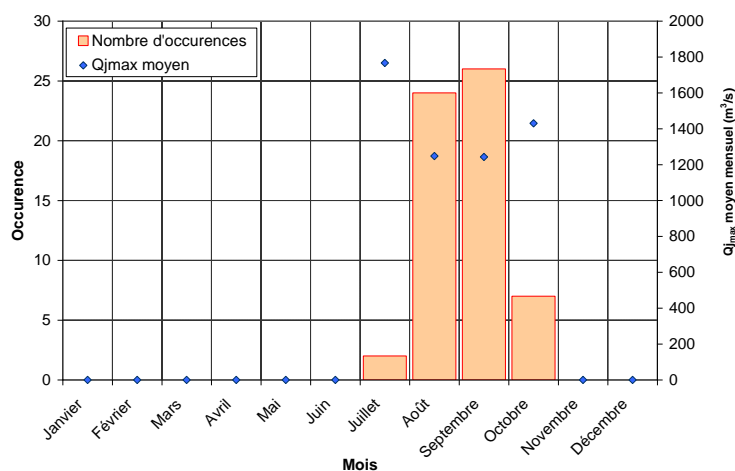
Dans sa partie guinéenne, le Bafing est le siège d'une grande crue annuelle caractéristique du régime tropical de transition. L'hydrogramme correspondant est le résultat de l'évolution progressive du débit de base au cours de la saison des pluies, sur lequel se greffent des pointes de crue d'une durée de quelques jours. Aussi, il correspond pratiquement à l'hydrogramme de la saison humide tout entière. La conséquence de ce phénomène est une forme de crue stable d'une année sur l'autre et un débit maximum journalier annuel en bonne relation avec le volume annuel écoulé.

La série des débits maximaux journaliers à Dakka Saidou permet de bien représenter celle des Qjmax au site de Koukoutamba. Une première analyse saisonnière à partir de la série de Dakka Saidou (Cf. Tableau 29) permet de déterminer les principaux mois d'occurrence des crues, ainsi que leur importance à l'aide des moyennes mensuelles. Les valeurs numériques sont synthétisées dans le Tableau 30 et la Figure 20 permet une visualisation graphique. 85 % des pointes de crue ont lieu en août et septembre et 100 % entre juillet et octobre. Il n'y a pas de tendance mensuelle claire en termes d'importance des crues : les valeurs moyennes de K(Fr) et de Qjmax sont assez similaires pendant ces 4 mois de fort écoulement.

**Tableau 30 : Occurrence des Qjmax par mois et K(Fr) moyens associés**

Mois	Nbe d'occurrence	% d'occurrence	K(Fr) moyen	Qjmax moyens (m3/s)
Janvier	0	0%	0	0
Février	0	0%	0	0
Mars	0	0%	0	0
Avril	0	0%	0	0
Mai	0	0%	0	0
Juin	0	0%	0	0
Juillet	2	3%	2.63	1767
Août	24	41%	2.34	1248
Septembre	26	44%	2.32	1243
Octobre	7	12%	2.44	1430
Novembre	0	0%	0	0
Décembre	0	0%	0	0

**Figure 20 : Occurrence des Qjmax par mois et valeurs moyennes mensuelles associées**



### C1.5.3.3 Analyse fréquentielle des débits maximaux journaliers

La Figure 21 présente la distribution des débits maximaux journaliers à Dakka Saidou en fonction de la période de retour. Différentes lois statistiques sont également représentées. Le Tableau 31 résume les caractéristiques et les résultats issus de ces différentes lois :

- Les lois Log-Pearson III et GEV, toutes deux à trois paramètres et ajustées avec la méthode des moments, présentent les plus faibles valeurs du  $Khi^2$  (1). Les quantiles de débit obtenus sont relativement similaires, la loi GEV donnant des valeurs plus élevées ;
- Les lois de Gumbel, Log-Normale III et Gamma inverse montrent des valeurs du  $Khi^2$  légèrement plus élevées. Les quantiles de débit sont relativement proches des deux lois précédentes ;
- La loi de Galton présente la valeur du  $Khi^2$  la plus élevée et les quantiles de débit les plus faibles.

(1) Le test du  $Khi^2$  est ici utilisé comme un test de conformité entre l'échantillon des données disponibles et les différentes lois d'ajustement testées (distributions théoriques). La loi d'ajustement statistique la plus conforme à l'échantillon est celle qui présente le  $Khi^2$  le plus faible.

Figure 21 : Qjmax en fonction de T - extrapolation des valeurs extrêmes

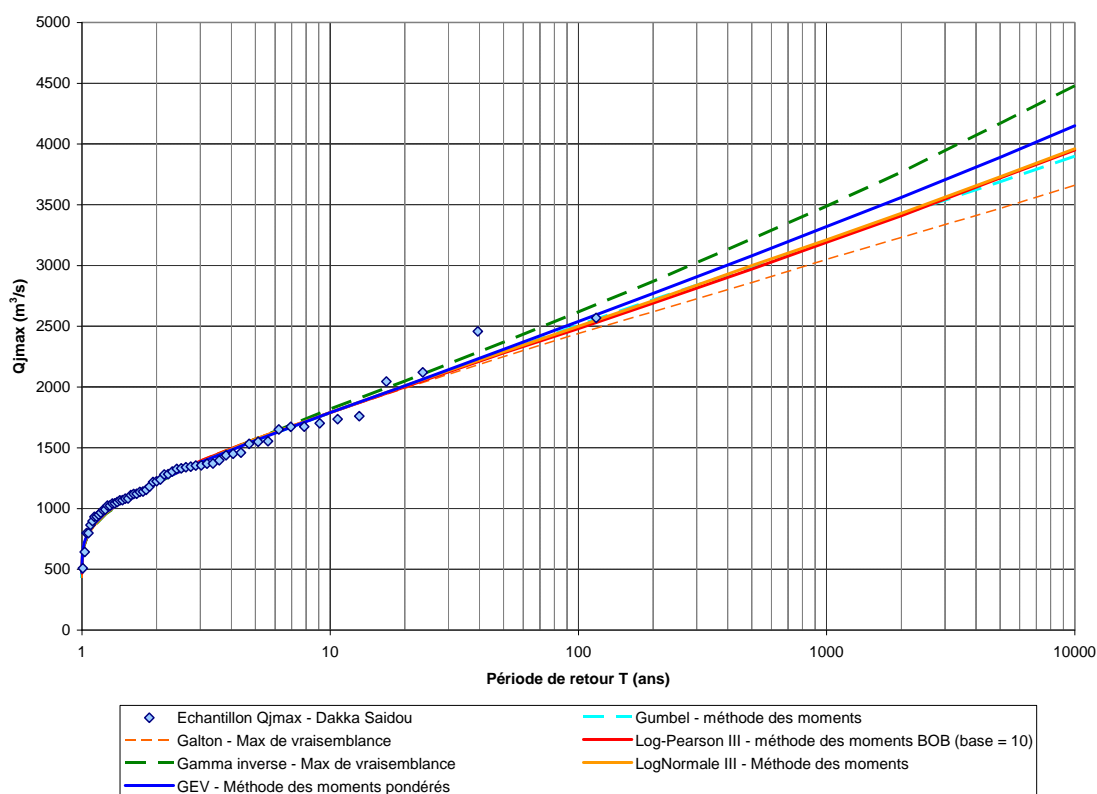


Tableau 31 : Résultats des ajustements statistiques de différentes lois à Dakka Saidou

Lois	Gumbel	Galton	Log-Pearson III	Gamma inverse	Log-Normale III	GEV
Méthode d'ajustement	Méthode des moments	Max de vraisemblance	Méthode des moments	Max de vraisemblance	Méthode des moments	Méthode des moments
Nombre de paramètres	2	2	3	3	3	3
Khi <sup>2</sup>	4.22	5.24	<b>3.54</b>	4.56	4.22	<b>3.54</b>
T (ans)	Q(T) (m <sup>3</sup> /s)	Q(T) (m <sup>3</sup> /s)	Q(T) (m <sup>3</sup> /s)	Q(T) (m <sup>3</sup> /s)	Q(T) (m <sup>3</sup> /s)	Q(T) (m <sup>3</sup> /s)
2	1 220	1 230	1 220	1 210	1 220	1 220
5	1 560	1 580	1 570	1 570	1 570	1 560
10	1 790	1 790	1 790	1 820	1 790	1 790
20	2 010	1 990	2 000	2 050	2 010	2 010
50	2 290	2 250	2 280	2 370	2 290	2 310
100	2 510	2 440	2 480	2 620	2 500	2 540
200	2 720	2 620	2 690	2 870	2 710	2 770
500	2 990	2 860	2 970	3 220	3 000	3 080
1 000	3 200	3 050	3 190	3 490	3 210	3 320
2 000	3 420	3 230	3 410	3 770	3 430	3 560
5 000	3 690	3 470	3 720	4 170	3 730	3 890
10 000	3 900	3 660	3 950	4 480	3 960	4 150

Au vu de ces résultats et en privilégiant une approche conservatrice, les quantiles de débit obtenus à Dakka Saidou avec la loi GEV ajustée avec la méthode des moments seront retenus. Pour estimer les quantiles de débit au site de Koukoutamba, les coefficients de Francou-Rodier sont calculés à partir des Q(T) de Dakka Saidou et transposés à Koukoutamba. Enfin, le coefficient de Weiss est appliqué afin de centrer les valeurs maximales de débit. Le Tableau 32 résume les quantiles de débit Q(T) et les quantiles de débit centré Q'(T) obtenus avec la méthode statistique.

**Tableau 32 : Q(T) et Q'(T) à Koukoutamba (10 670 km<sup>2</sup>) et les K(Fr) associés**

T (ans)	Q(T) (m <sup>3</sup> /s)	Kfr (Q(T))	Q' (T) (m <sup>3</sup> /s)	Kfr (Q' (T))
2	908	2.34	1 026	2.47
5	1 173	2.62	1 326	2.76
10	1 354	2.78	1 530	2.91
20	1 529	2.91	1 727	3.04
50	1 768	3.07	1 997	3.20
100	1 952	3.18	2 205	3.31
200	2 137	3.28	2 414	3.41
500	2 387	3.40	2 697	3.53
1 000	2 581	3.48	2 917	3.62
2 000	2 776	3.56	3 137	3.70
5 000	3 046	3.66	3 442	3.80
10 000	3 259	3.74	3 682	3.87

**C1.5.3.4 Synthèse & comparaison avec l'APD**

**Synthèse des deux approches appliquées pour l'étude des crues**

Le Tableau 33 synthétise l'ensemble des quantiles de débit estimés au site de Koukoutamba, par les deux approches régionales (à Kaléta et Dakka Saidou) et par la méthode statistique avec un ajustement à la loi GEV. Les approches régionales présentent des valeurs plus élevées que l'approche statistique. Les quantiles estimés à partir de Kaléta sont tout de même assez proches des quantiles centrés estimés avec l'approche statistique. De plus, cette dernière approche a l'avantage de s'appuyer sur de longues séries de données historiques, notamment les débits observés à Dakka Saidou de 1951 à 2009. Les résultats issus de l'ajustement statistique à la loi GEV sont donc privilégiés. L'estimation de la CMP par la méthode régionale à partir de Kaléta est également conservée.

**Tableau 33 : Récapitulatif des quantiles de débit estimés à Koukoutamba**

T (ans)	Q(T) <sub>Koukoutamba</sub> en m <sup>3</sup> /s		
	Kaléta	Dakka Saidou	Ajustement statistique GEV & quantiles centrés
2	1 991		1 026
10	2 802	1 920	1 530
20	3 005		1 727
50	3 217		1 997
100	3 353	2 768	2 205
200	3 459		2 414
500	3 575		2 697
1 000	3 653	3 847	2 917
2 000	3 720		3 137
5 000	3 788		3 442
10 000	3 846	4 970	3 682
CMP	4 331		

### **Comparaison des résultats avec l'APD (1976)**

L'étude des crues réalisée en 1976 [2] avait également été menée à partir des  $Q_{jmax}$  observés à Dakka Saidou mais sur une période plus restreinte, de 1952 à 1973. Un ajustement statistique sur les 21 données disponibles à Dakka Saidou avait été établi ; puis, les valeurs  $Q(T)$  à Koukoutamba avaient ensuite été estimées par corrélation(1) et rapport des superficies de bassin avec la série  $Q(T)$  à Dakka Saidou. De plus, pour analyser et justifier les résultats des ajustements statistiques obtenus, une analyse fréquentielle avait également été réalisée sur trois autres séries de mesure à l'aval : Dibia sur le Bafing, Kayes et Bakel sur le Sénégal. Les résultats trouvés en 1976 sont synthétisés dans le Tableau 23. Le Tableau 24 répertorie les valeurs des coefficients de Francou-Rodier correspondants aux quantiles de débit présentés dans le Tableau 23, au niveau des cinq localisations étudiées.

Les quantiles de débit obtenus à Koukoutamba en 1976 présentent des valeurs beaucoup plus importantes que l'étude actuelle. Trois raisons principales expliquent ces différences :

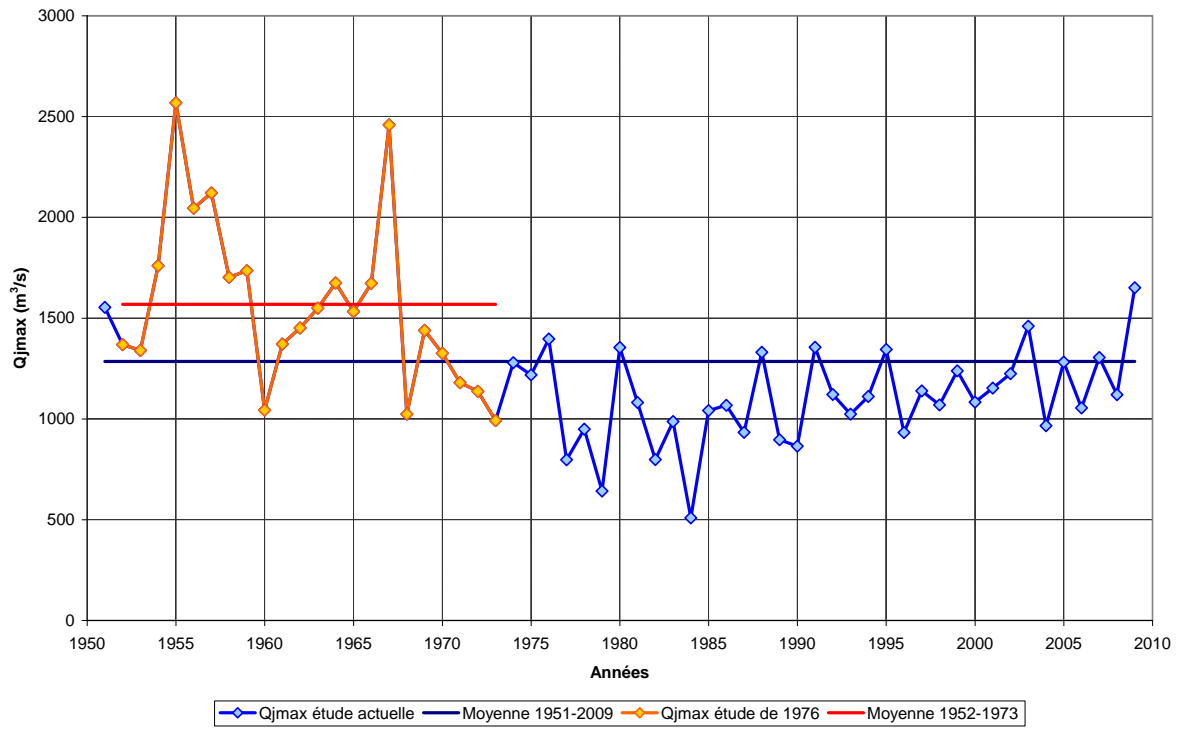
- La période des  $Q_{jmax}$  disponibles en 1976 à Dakka Saidou s'étalait de 1952 à 1973. Or, ces années sont caractéristiques d'une période de forte hydraulité en Afrique de l'Ouest. Ainsi, la Figure 22 montre que l'échantillon de 1976 présente des  $Q_{jmax}$  nettement plus forts que l'échantillon actuel de 1951 à 2009. La présente étude considère en effet la période de forte hydraulité comme dans l'APD mais également la période de sécheresse de 1970 à 1993 et la période récente d'hydraulité moyenne à partir de 1994. Ces deux dernières périodes montrent des  $Q_{jmax}$  nettement moins forts que ceux enregistrés avant 1973.
- La longueur de la série des  $Q_{jmax}$  utilisée dans l'APD de 1976 est courte avec seulement 21 années disponibles, ce qui semble discutable pour appliquer un ajustement statistique robuste.
- Les conclusions de l'approche régionale (cf. paragraphe C1.5.2) avaient déjà souligné les limites de la transposition des résultats à une échelle régionale trop étendue. Aussi, il paraît discutable de s'appuyer sur les quantiles de débit établis pour Kayes et Bakel, situés sur le Sénégal, bien en aval de Koukoutamba.

Finalement, grâce à l'enrichissement de la série de Dakka Saidou de 1974 à 2009 et étant donnée la difficulté de s'appuyer sur des stations plus en aval qui ont un comportement hydrologique bien différent, les quantiles de débit centré présentés dans le Tableau 32 seront retenus pour caractériser les crues à Koukoutamba. De plus, l'étude régionale avec des bassins guinéens voisins (Kaléta et Sambangalou) et avec le bassin de Dakka Saidou soumis également à un régime tropical de transition conduit à des ordres de grandeurs de  $Q(T)$  similaires à l'ajustement statistique actualisé.

---

(1) La corrélation avait été réalisée avec la série de débits mesurés à Balabory (bassin versant de 11 700 km<sup>2</sup>) sur la courte période 1969/1970 – 1973/1974.

Figure 22 : Echantillon de Qjmax disponibles à Dakka Saidou en 1976 et pour l'étude actuelle

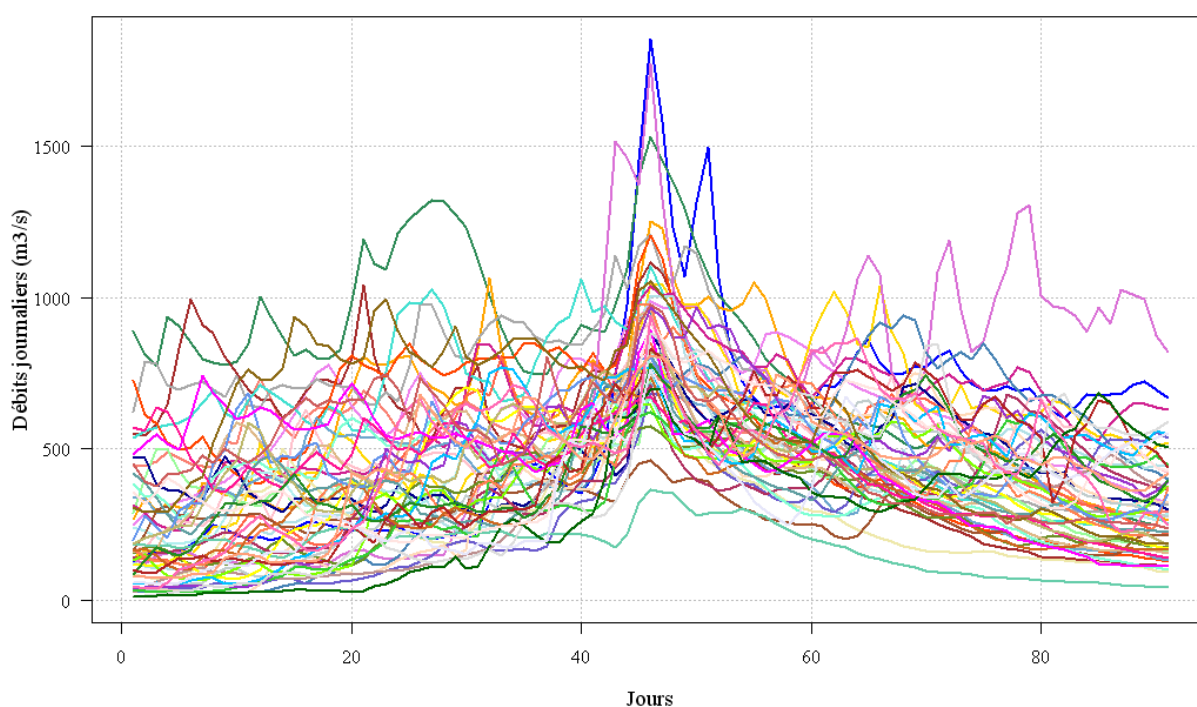


### C1.5.4 Analyse des hydrogrammes de crues

Une analyse statistique des hydrogrammes de crue est réalisée afin de dégager une forme synthétique robuste d'évolution des débits journaliers pendant la période des hautes eaux.

La série de débits journaliers observés de Dakka Saidou est transposée au site de Koukoutamba pondérée du rapport des surfaces de bassin versant, ainsi que du rapport des pluviométries normales (Cf. paragraphe C1.4.3.2). Pour étudier la forme des hydrogrammes de crue, on constitue un échantillon composé d'un hydrogramme de crue par an (pendant la saison humide de juillet à octobre). A partir du débit maximal journalier annuel, on relève les débits journaliers des 45 jours avant et après la pointe. Un échantillon de 53 crues reconstituées à Koukoutamba est présenté à la Figure 23.

Figure 23 : Echantillon d'hydrogrammes de crue au site de Koukoutamba



Afin de connaître la dynamique des crues, on calcule le temps de dépassement continu de la moitié du débit maximal journalier (c'est-à-dire la durée continue pendant laquelle le débit est supérieur à la moitié du débit maximal journalier, notée  $D_{1/2}$ ). Les durées de dépassement de la moitié du débit maximal journalier sont reportées dans le Tableau 34.

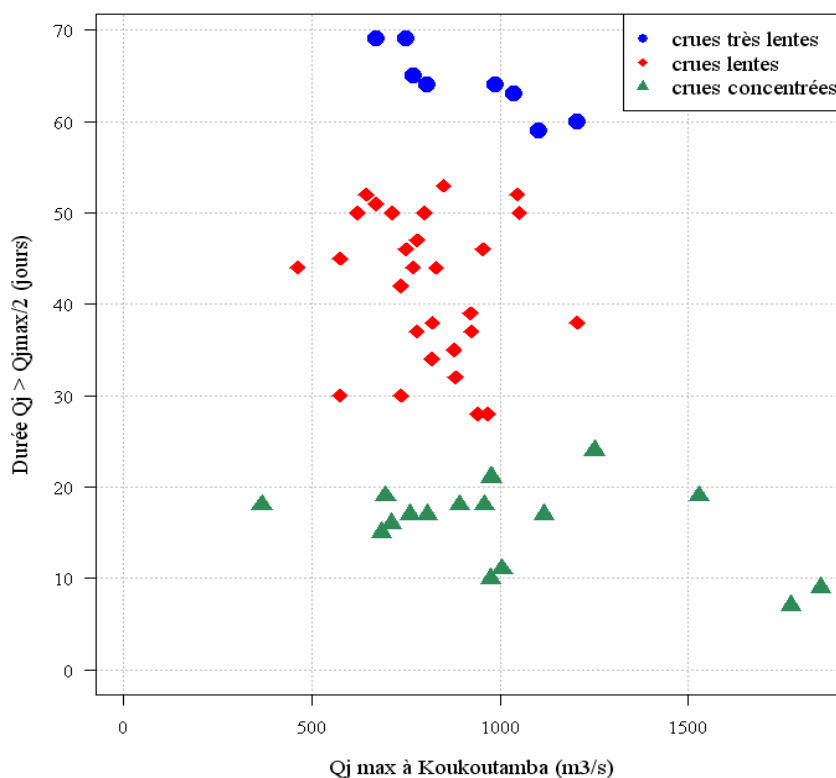
Trois types d'hydrogrammes peuvent être distingués : les crues très lentes ( $D_{1/2}$  supérieure à 55 jours), les crues lentes ( $D_{1/2}$  compris entre 25 et 55 jours) et les crues concentrées ( $D_{1/2}$  inférieure à 25 jours). La Figure 24 représente les valeurs  $D_{1/2}$  de chaque hydrogramme de crue en fonction des débits maximaux journaliers. Une légère tendance de la dynamique des crues peut être mise en évidence en fonction de son amplitude, à savoir que les débits maximaux journaliers supérieurs à 1 500 m<sup>3</sup>/s présentent une forme de crue concentrée.

**Tableau 34 : Classement des hydrogrammes de crue**

Année	Date d'occurrence	Qjmax (m <sup>3</sup> /s)	Durée 1/2 (jours)
<b>Crues très lentes (très étalées autour de la pointe)</b>			
1960	19/09/1960	752	69
1996	17/09/1996	672	69
1998	23/08/1998	771	65
1961	01/09/1961	988	64
2008	18/08/2008	807	64
1969	08/09/1969	1037	63
1964	19/09/1964	1207	60
1965	24/09/1965	1104	59
<b>Crues lentes (étalées autour de la pointe)</b>			
1971	27/08/1971	851	53
1962	27/08/1962	1046	52
1989	25/08/1989	646	52
1987	25/09/1987	672	51
1973	15/09/1973	715	50
1990	07/08/1990	623	50
1994	20/09/1994	801	50
2003	18/09/2003	1052	50
2000	29/08/2000	781	47
1970	13/08/1970	956	46
1985	19/08/1985	750	46
1982	01/09/1982	575	45
1979	07/09/1979	462	44
1986	05/09/1986	769	44
2001	18/08/2001	831	44
1968	12/09/1968	738	42
1974	27/08/1974	922	39
1966	12/10/1966	1205	38
1997	08/09/1997	821	38
1981	07/08/1981	779	37
2005	19/08/2005	924	37
1975	04/09/1975	878	35
1972	03/09/1972	820	34
2002	04/08/2002	882	32
1977	19/09/1977	575	30
1993	03/09/1993	738	30
1995	25/08/1995	969	28
2007	26/08/2007	941	28
<b>Crues rapides (concentrées autour de la pointe)</b>			
1959	05/09/1959	1251	24
1991	23/08/1991	977	21
2009	19/09/2009	974	21
1957	05/10/1957	1529	19
2004	27/07/2004	696	19
1984	02/10/1984	367	18
1988	08/09/1988	959	18
1999	06/10/1999	892	18
1963	14/10/1963	1117	17
1992	02/09/1992	808	17
2006	16/08/2006	760	17
1983	17/08/1983	711	16
1978	06/08/1978	684	15
1976	19/08/1976	1006	11
1980	11/08/1980	976	10
1955	31/07/1955	1851	9
1967	05/08/1967	1772	7



Figure 24 :  $D_{1/2}$  en fonction de  $Q_{jmax}$



Les échantillons de crues pour chacune des trois familles sont maintenant constitués. Chaque famille est caractérisée par la durée  $D_{moy1/2}$ , moyenne de l'ensemble des  $D_{1/2}$  constituant la famille. Le Tableau 35 synthétise les propriétés des trois familles identifiées.

Tableau 35 : Caractéristiques des trois familles de crues identifiées

Type d'hydrogramme	Nombre d'hydrogrammes	Durée $D_{moy1/2}$ (jours)
Crues très lentes	8	64
Crues lentes	28	42
Crues concentrées	17	16

Pour chaque famille de crues, le débit moyen maximal écoulé pendant la durée  $D_{1/2}$  est calculé. Chaque hydrogramme de crue est ensuite normé par le débit moyen maximal correspondant, puis, pour chaque famille, la moyenne des hydrogrammes normés est calculée. Cette dernière permet d'obtenir une forme synthétique représentative de la dynamique de crues de chacune des familles de crues identifiées. Les hydrogrammes de crues normés sont représentés par la Figure 25 (crues très lentes), la Figure 26 (crues lentes) et la Figure 27 (crues rapides). Les courbes en gras représentent les formes synthétiques.

Figure 25 : Histogrammes normés des crues très lentes ( $D_{1/2} > 55$  jours)

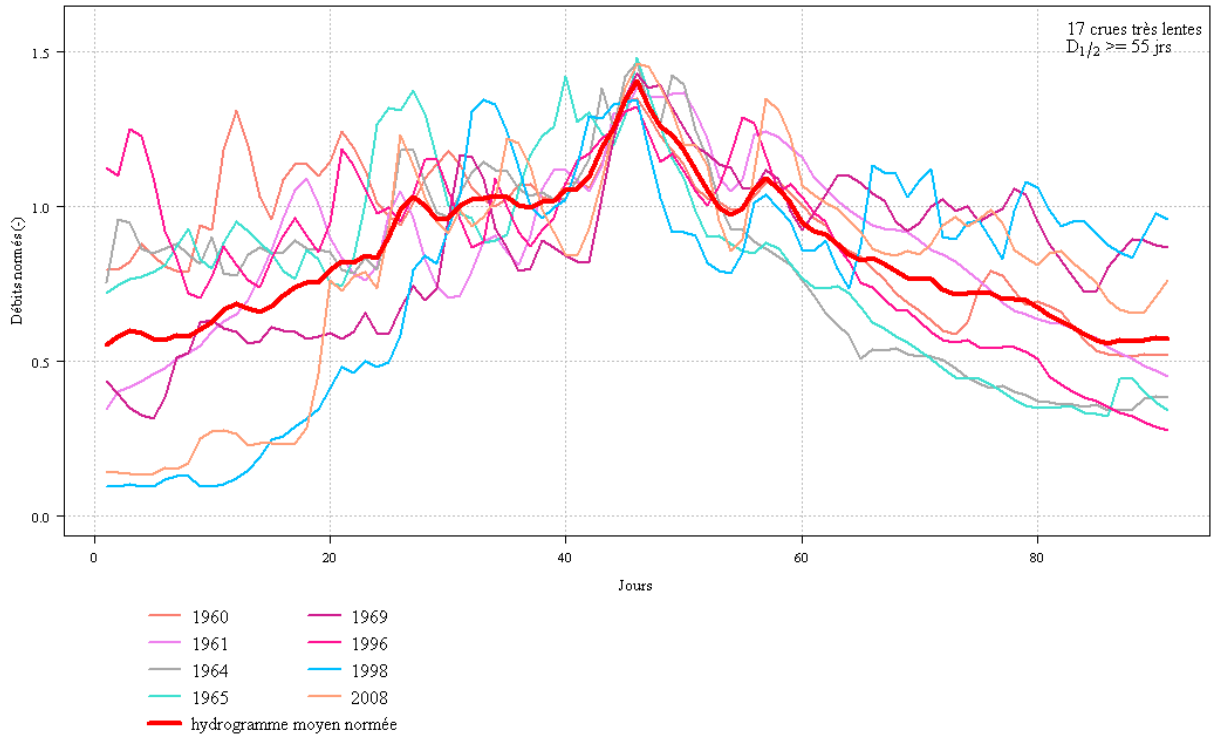


Figure 26 : Histogrammes normés des crues lentes ( $D_{1/2}$  entre 25 et 55 jours)

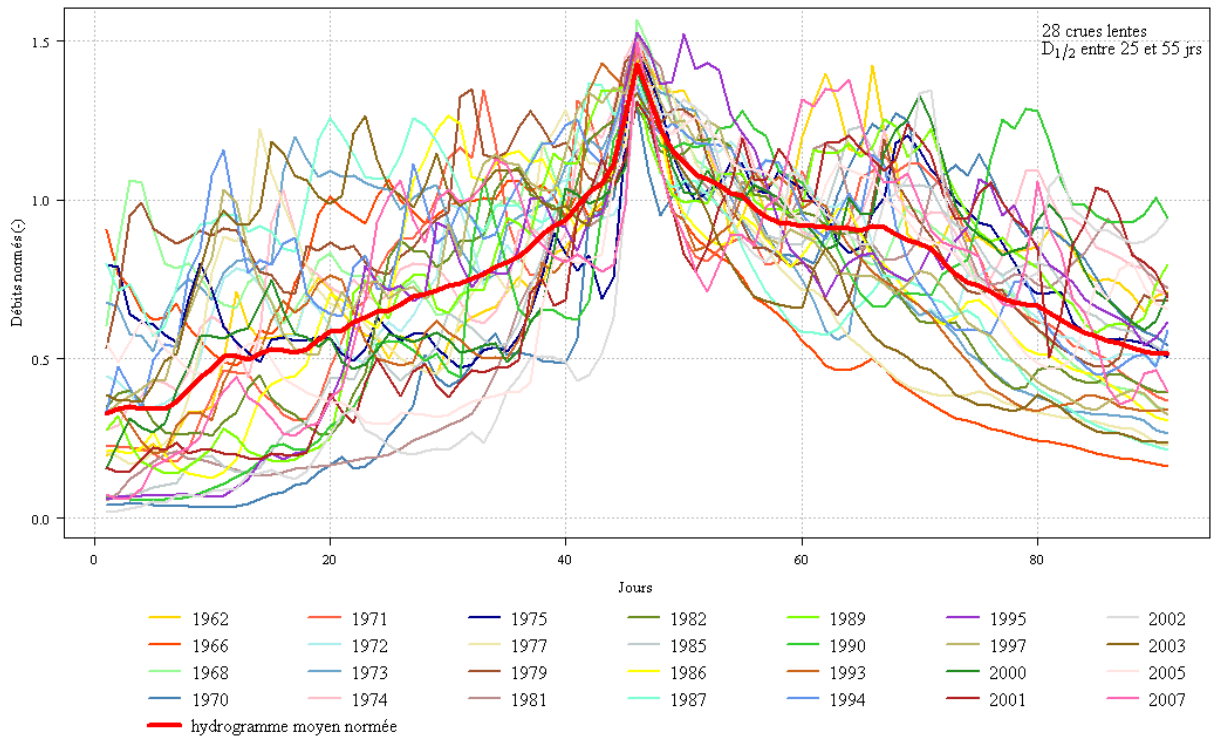
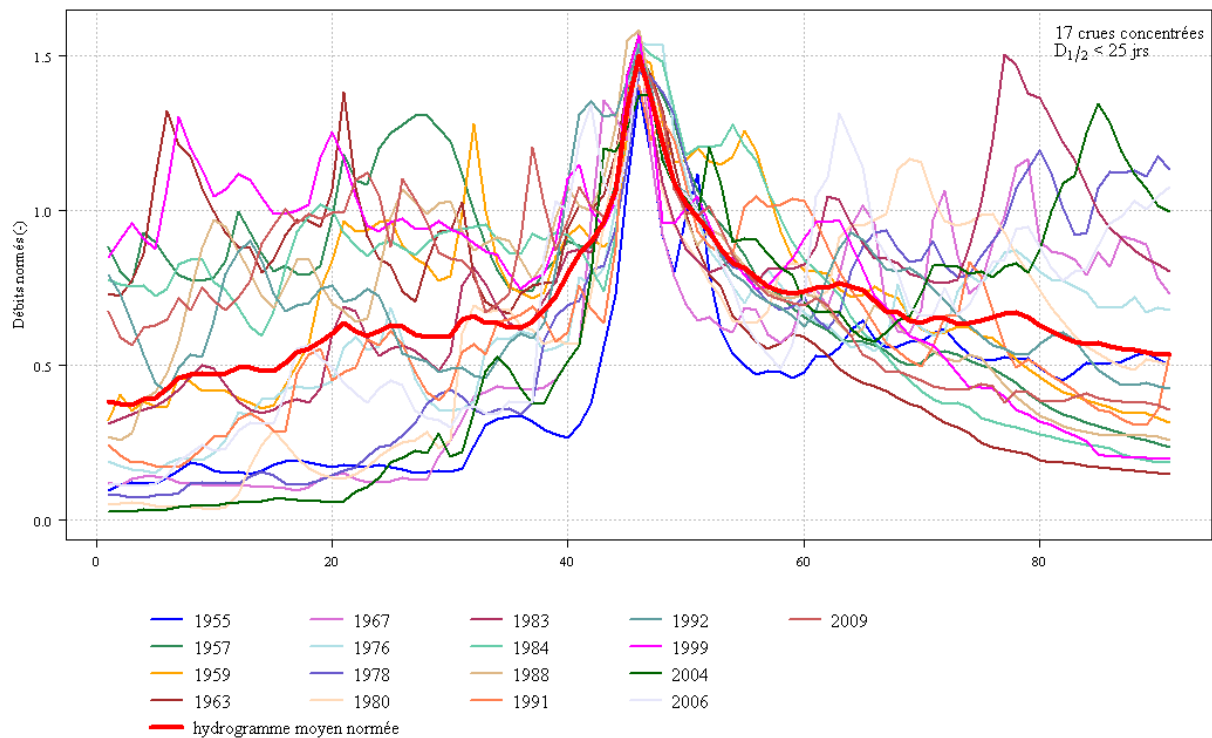


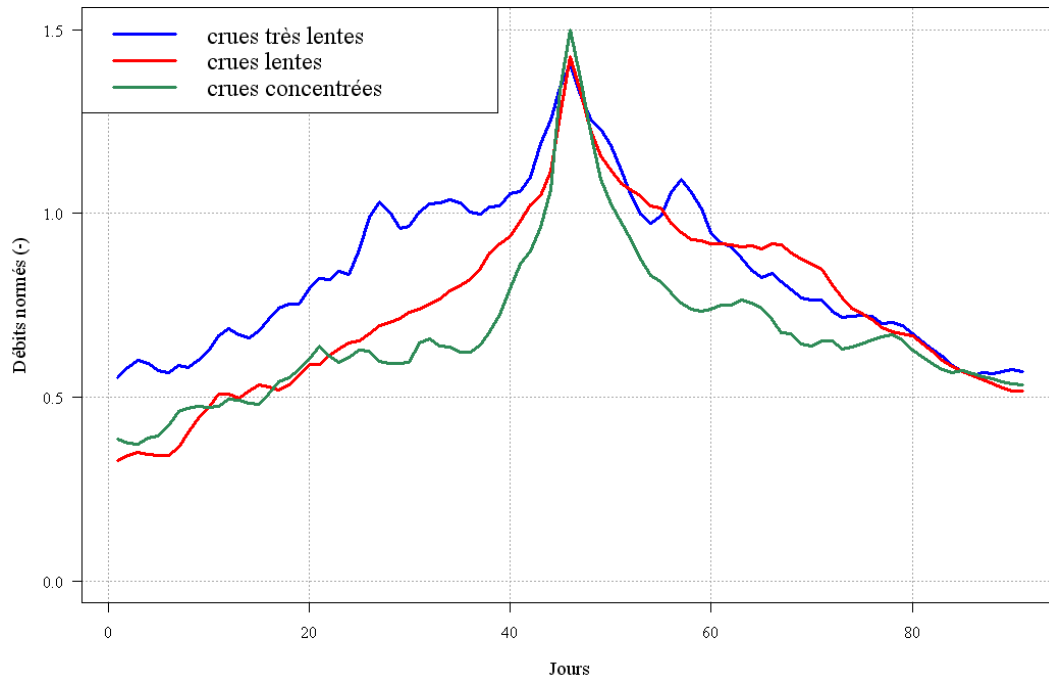
Figure 27 : Histogrammes normés des crues rapides ( $D_{1/2} < 25$  jours)

Enfin, la Figure 28 permet de comparer les formes synthétiques d'hydrogramme de crue de chaque famille :

- Les crues rapides (courbe la plus « pointue ») sont caractérisées par des augmentations de débit brusques et une forte amplitude entre le débit de base et le débit maximal journalier. La décrue est également brusque. Le volume de crues est très concentré autour de la pointe.
- Les crues lentes (étalées autour de la pointe) présentent une augmentation de débit plus progressive et un débit maximal journalier plus faible. La décrue est assez rapide juste après la pointe, et devient plus lente dans un deuxième temps. Le volume de crue est plus réparti sur l'ensemble de la saison humide par rapport aux crues rapides, avec notamment un soutien des débits assez longtemps après la pointe.
- Les crues très lentes (très étalées autour de la pointe) se caractérisent par une forme assez symétrique autour du débit maximal journalier, avec une montée de crue et une décrue lentes. Cette forme présente une faible amplitude des débits et permet de considérer d'importants volumes pour des pointes de crue plus faibles. C'est la forme la plus propice aux pointes secondaires.

Les formes de ces hydrogrammes sont caractéristiques de la dynamique de crues. Associées aux statistiques des débits maximaux journaliers, ils permettent de déterminer les hydrogrammes de projet.

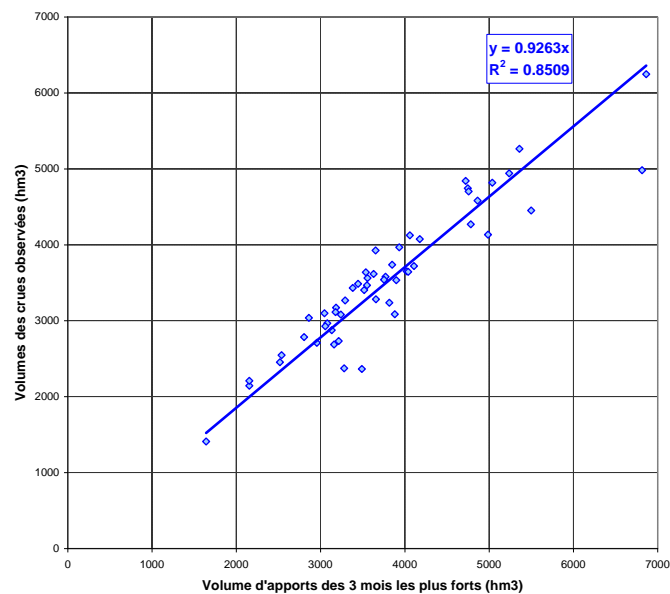
Figure 28 : Histogrammes moyens normés – formes synthétiques



### C1.5.5 Analyse fréquentielle des volumes de crues

La relation entre le volume des hydrogrammes de crue (présentés à la Figure 23) et le volume des trois mois d'apports les plus importants est étudiée. La Figure 29 souligne la bonne corrélation qui existe entre ces deux volumes : le volume de la crue sur 90 jours est pratiquement équivalent au volume des trois mois les plus humides. Cette relation permet d'estimer les volumes de crue des années pour lesquelles on ne dispose pas d'hydrogramme.

Figure 29 : Vcrue (90 jours) en fonction du volume des 3 mois d'apports les plus forts à Koukoutamba



Les volumes de crue reconstitués à Koukoutamba sont ajustés à l'aide de différentes lois statistiques. La méthodologie utilisée est la même que celle présentée au paragraphe C1.5.3.3 pour les débits maximaux journaliers à Dakka Saidou. Les résultats sont synthétisés sur la Figure 30 et le Tableau 36. Trois lois donnent des valeurs du  $\text{Khi}^2$  minimales. Privilégiant une approche conservative, les quantiles issus de la loi de Galton seront retenus : le volume de crue pour une période de retour de 10 000 ans est ainsi estimé à 9 190  $\text{hm}^3$ .

Figure 30 : Volumes de crue en fonction de T - extrapolation des valeurs extrêmes

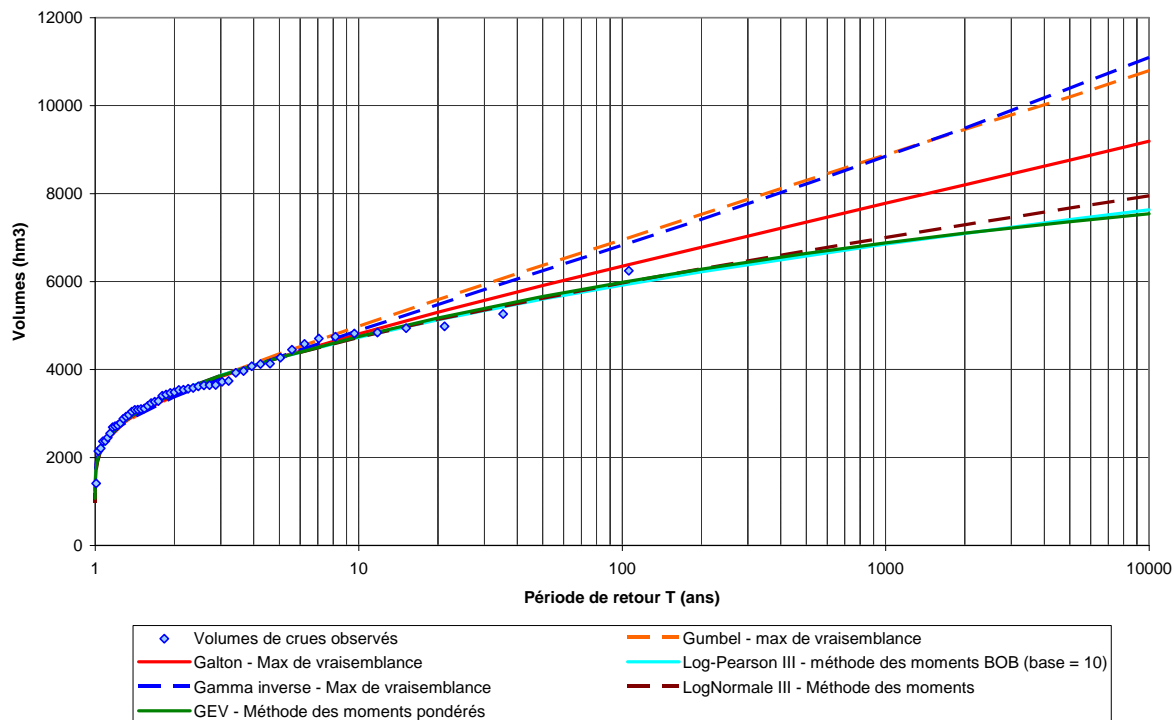


Tableau 36 : Résultats des ajustements statistiques de différentes lois à Koukoutamba

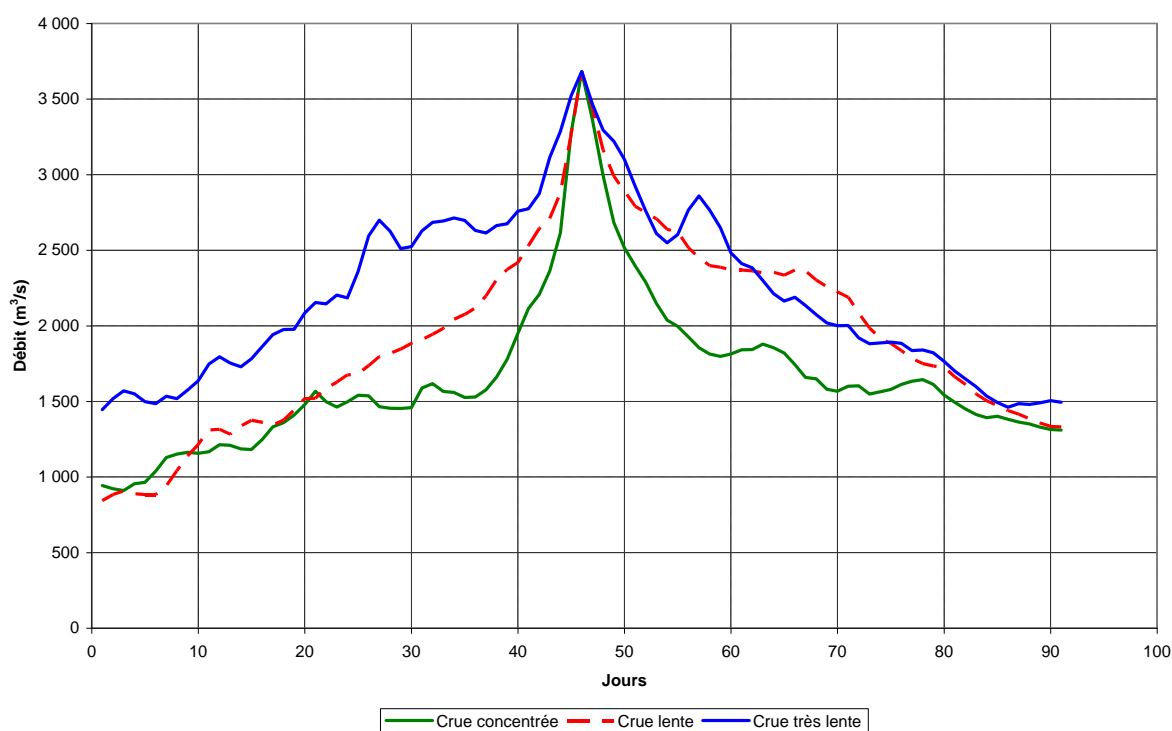
Lois	Gumbel	Galton	Log-Pearson III	Gamma inverse	Log-Normale III	GEV
Méthode d'ajustement	Max de vraisemblance	Max de vraisemblance	Méthode des moments	Max de vraisemblance	Méthode des moments	Méthode des moments
Nombre de paramètres	2	2	3	3	3	3
$\text{Khi}^2$	3.55	<b>3.21</b>	<b>3.21</b>	4.57	3.55	<b>3.21</b>
T (ans)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)	V(T) (hm3)
2	3410	3420	3470	3380	3470	3460
5	4360	4280	4270	4290	4270	4270
10	4990	4810	4730	4890	4730	4750
20	5590	5300	5130	5480	5140	5170
50	6370	5910	5600	6250	5620	5660
100	6950	6350	5920	6830	5970	5980
200	7530	6780	6220	7420	6290	6280
500	8300	7350	6580	8220	6700	6640
1000	8880	7780	6850	8850	7000	6880
2000	9460	8200	7090	9490	7290	7100
5000	10200	8760	7410	10400	7670	7360
10000	10800	9190	7630	11100	7950	7540

### C1.5.6 Hydrogrammes de crues à Koukoutamba

L'analyse des formes de crues effectuée au paragraphe C1.5.4 permet de distinguer plusieurs types de dynamiques de crues. Aussi, les hydrogrammes de projet sont construits en combinant ces formes de crues avec les quantiles de débit établis à partir de l'ajustement statistique de la loi GEV centré avec le coefficient de Weiss (cf. paragraphe C1.5.3.3). L'estimation de la CMP est issue de l'étude régionale des crues (cf. paragraphe C1.5.2).

La Figure 31 présente les hydrogrammes pour la crue décennale à Koukoutamba, obtenus avec les trois formes précédemment déterminées. Pour plus de détail, l'annexe B donne les ratios Q/Qp correspondant aux trois dynamiques de crues.

**Figure 31 : Trois hydrogrammes de la crue décennale à Koukoutamba**



Le Tableau 37 indique les volumes correspondants à chacune des trois formes présentées sur la Figure 31. Une comparaison avec le volume de la crue décennale estimé à l'aide de la loi de Galton ( $9\,190\text{ hm}^3$ , Cf. Tableau 36) montre que les valeurs ci-dessous sont nettement supérieures : un volume 1.4 fois plus important avec une forme de crue concentrée, jusqu'à un volume 1.9 fois plus important avec une forme de crue très lente.

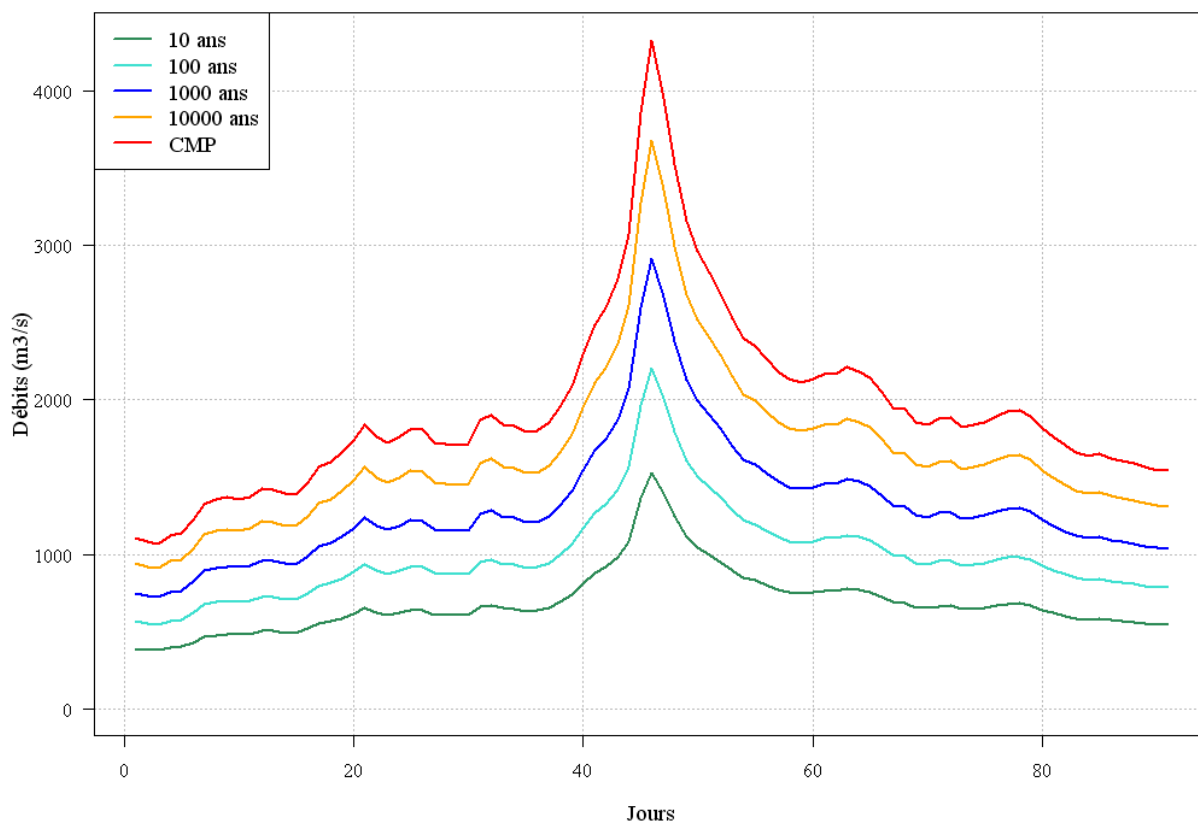
**Tableau 37 : Volume de la crue décennale à Koukoutamba selon les trois formes d'hydrogrammes**

Dynamique de crue	Volume (T = 10 000 ans)
Crue concentrée	13 037 hm <sup>3</sup>
Crue lente	15 196 hm <sup>3</sup>
Crue très lente	17 416 hm <sup>3</sup>

De plus, la Figure 24 indiquait que les pointes les plus importantes (supérieures à  $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$ ) étaient observées pour des crues concentrées. Aussi, la Figure 32 présente les hydrogrammes de crues à Koukoutamba pour différentes périodes de retour, avec la dynamique des crues concentrées.

L'analyse fréquentielle des débits maximaux journaliers a permis de déterminer la crue décennale à  $3\,682\text{ m}^3/\text{s}$ , soit 1.86 fois la plus forte crue reconstituée à Koukoutamba. De même, l'analyse régionale a permis d'estimer la crue maximale probable à  $4\,331\text{ m}^3/\text{s}$ , soit 2.2 fois la plus forte crue reconstituée à Koukoutamba.

Figure 32 : Hydrogrammes de crues à Koukoutamba



### C1.5.7 Conditions de chantier

Pour la phase de construction de l'ouvrage, il est nécessaire de déterminer les conditions de chantier, notamment les volumes d'eau susceptibles d'être observés pour le Bafing à Koukoutamba, pendant la durée des travaux (« périodes de retour courantes »).

Aussi, les débits moyens mensuels ont été analysés afin de déterminer les apports mensuels attendus pour des périodes de retour de 2 à 100 ans. Une analyse des probabilités de non-dépassement des cumuls pluviométriques a également été réalisée afin de préciser les conditions de chantier en termes de pluviométrie mensuelle.

**C1.5.7.1 Analyse des débits mensuels**

Pour chaque mois de l'année, une analyse fréquentielle a été réalisée sur la série des 59 débits moyens mensuels (disponibles de 1951 à 2009). Un ajustement à une loi de Gumbel a été appliqué pour chaque mois afin de déterminer les débits moyens mensuels de périodes de retour comprises entre 2 et 100 ans. Des ajustements aux lois LogNormale, Log Pearson III et GEV ont également été testés et donnent des résultats similaires.

Les résultats finaux sont reportés dans le Tableau 38 et la Figure 33 pour les débits mensuels moyens (m<sup>3</sup>/s). Le Tableau 39 présente les apports mensuels (hm<sup>3</sup>/an) du Bafing à Koukoutamba pour les périodes de retour de 2 à 100 ans.

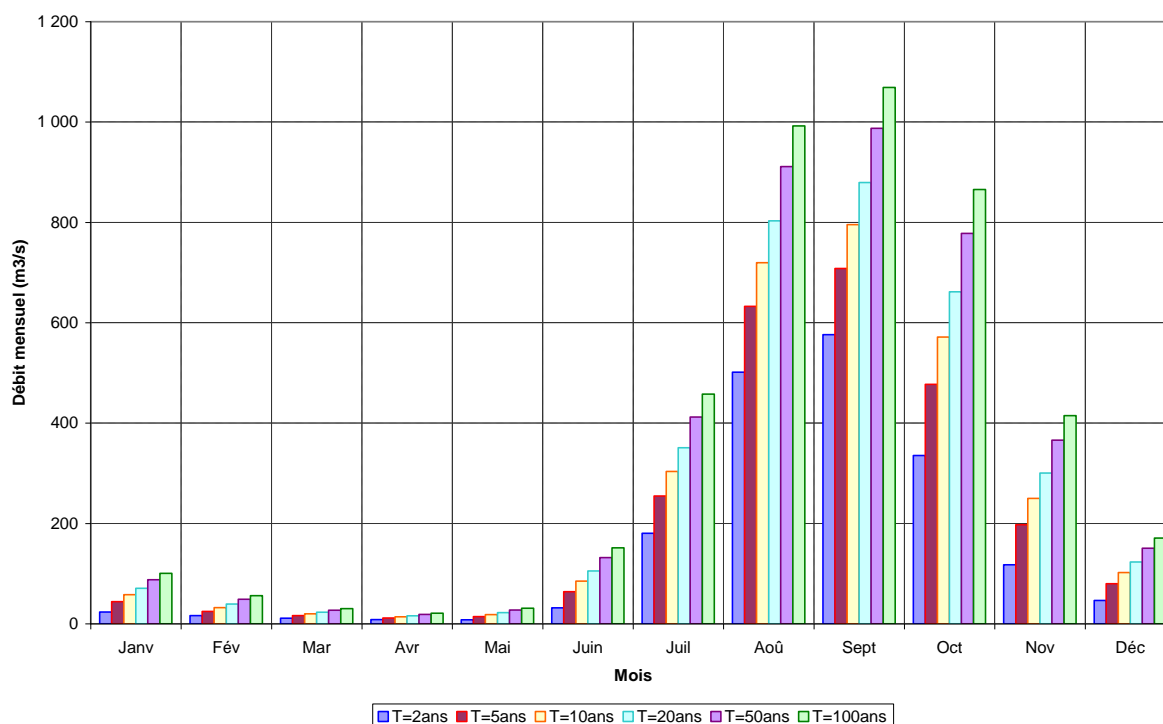
**Tableau 38 : Débits mensuels moyens (m<sup>3</sup>/s) de périodes de retour 2 à 100 ans - Bafing à Koukoutamba**

T (ans)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
2	24	16	11	8	8	32	180	501	576	335	118	47
5	44	25	16	12	14	64	255	633	708	477	197	80
10	58	32	20	14	18	85	304	720	795	571	250	102
20	71	39	23	16	22	105	351	803	879	661	301	123
50	88	49	27	19	27	132	412	911	988	778	366	150
100	100	56	30	21	31	152	458	992	1069	866	415	171

**Tableau 39 : Apports mensuels moyens (hm<sup>3</sup>/mois) de périodes de retour 2 à 100 ans - Bafing à Koukoutamba**

T (ans)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
2	63	40	30	21	22	82	483	1343	1494	898	305	125
5	118	60	44	30	38	165	682	1695	1836	1278	511	214
10	155	79	53	36	49	220	813	1928	2062	1530	648	273
20	190	96	62	42	60	273	940	2151	2279	1772	779	330
50	235	119	73	49	73	342	1103	2440	2560	2084	949	403
100	269	137	81	54	83	393	1226	2657	2770	2318	1076	458

**Figure 33 : Quantiles Qmens(T) du Bafing à Koukoutamba**

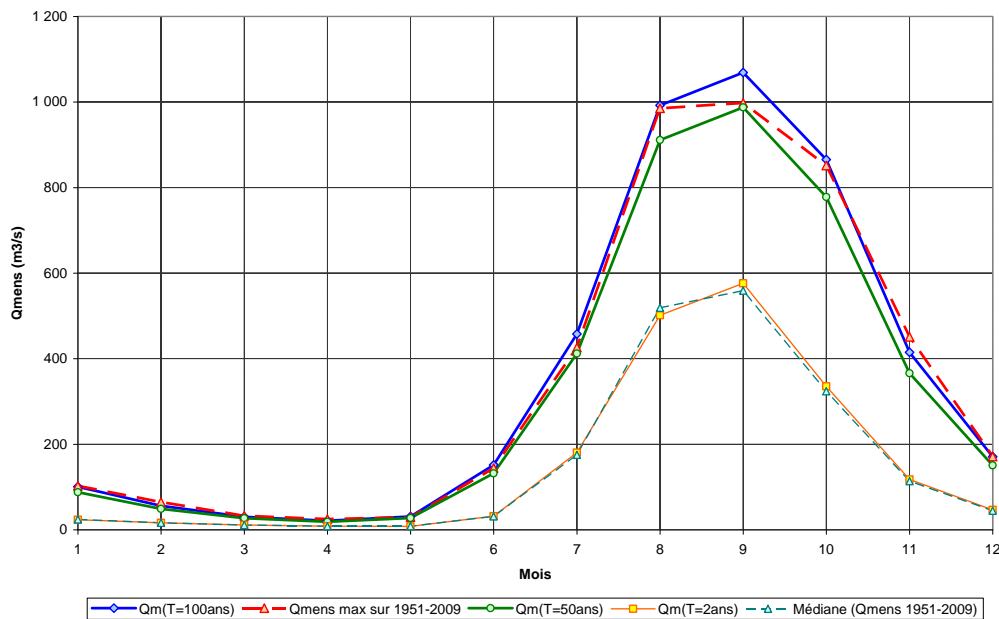




La Figure 34 permet une vérification de la pertinence des résultats avec une comparaison :

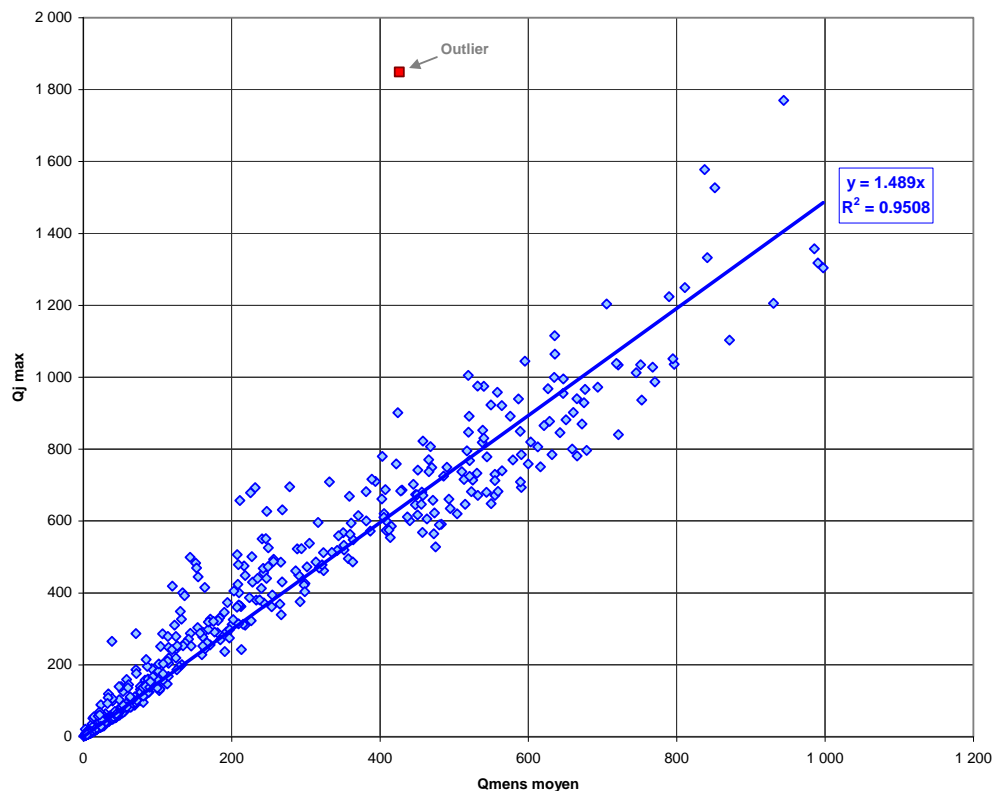
- Des quantiles  $Q_{mens}(T)$  pour les périodes de retour 50 et 100 ans avec les débits mensuels maximaux sur la période disponible (1951-2009). Les débits issus de la chronique de 59 années sont majoritairement compris entre les deux courbes  $Q_{mens}(T)$ , ce qui est permet de valider les ajustements de Gumbel.
- Des quantiles  $Q_{mens}(T)$  pour la période de retour 2 ans avec la médiane des débits mensuels disponibles (1951-2009) pour chaque mois de l'année. Les deux courbes sont très proches, consolidant les résultats obtenus.

**Figure 34 : Comparaison des quantiles  $Q_{mens}(T)$  avec la chronique disponible**



Enfin, la Figure 35 établit une relation entre le débit moyen mensuel et le débit journalier maximum observé pour le mois considéré. Le coefficient de corrélation, égal à 0.9508, est élevé : il est possible de déterminer les  $Q_{jmax}$  de périodes de retour 2 à 100 ans à partir des ajustements précédents pour les crues de chantier.

**Figure 35 : Relation entre le débit moyen mensuel et le  $Q_{jmax}$  associé**



Remarque :

Par rapport aux estimations déjà réalisées dans le paragraphe C1.5.3.4, les valeurs qu'on obtiendrait pour les  $Q_{jmax}$  de périodes de retour 2 à 100 ans sont ici inférieures de 15 à 28 %. Cela résulte de la différence d'échantillons sur lesquels les ajustements sont réalisés : ici, les débits sont considérés mois par mois ; alors que précédemment, seuls les valeurs maximales étaient retenues (une valeur de  $Q_{jmax}$  pour chaque année, quel que soit le mois), d'où des résultats plus élevés.

**C1.5.7.2 Analyse des pluies mensuelles**

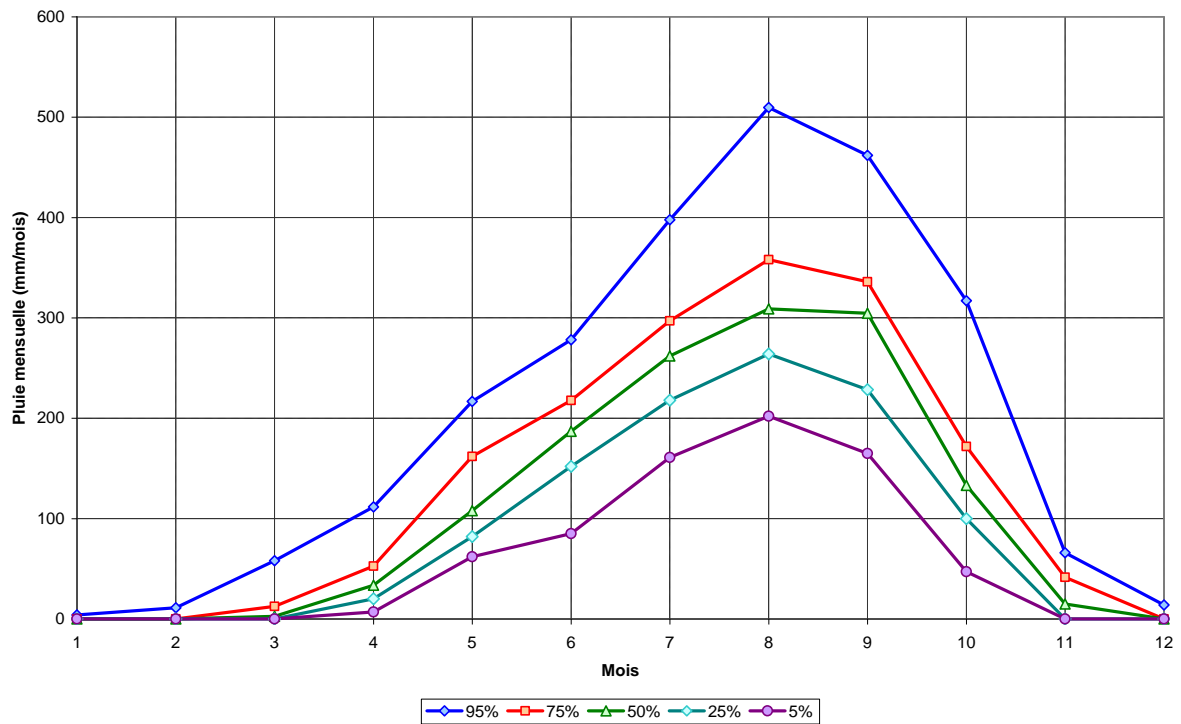
Le

Tableau 40 et la Figure 36 présentent les cumuls pluviométriques mensuels en fonction des probabilités de non-dépassement 95 %, 75 % ; 50 % ; 25 % et 5 % du temps. Les mois de décembre, janvier et février sont particulièrement secs.

**Tableau 40 : Pluies mensuelles en fonction de la probabilité de non-dépassement**

Mois	Cumul mensuel de pluie (mm/mois)				
	95%	75%	50%	25%	5%
Janvier	4	0	0	0	0
Février	11	0	0	0	0
Mars	58	13	3	0	0
Avril	112	53	34	20	7
Mai	217	162	108	82	62
Juin	278	218	187	152	85
Juillet	398	297	262	218	161
Août	510	358	309	264	202
Septembre	462	336	305	229	165
Octobre	317	172	133	100	47
Novembre	66	42	15	0	0
Décembre	14	0	0	0	0

**Figure 36 : Pluies mensuelles en fonction de la probabilité de dépassement**



## C1.6 TRANSPORTS SOLIDES

### C1.6.1 Estimation par analyse documentaire

L'estimation du transport solide a été réalisée en première approche à partir de la comparaison des résultats de l'APD [2] et des estimations faites sur les bassins voisins de Kaléta et Sambangalou [5] :

- Dans l'APD réalisé par Energoprojekt en 1976 [2], le poids total des débits solides (sédiments en suspension et transport de fond) a été estimé à 188 400 t/an, à partir d'une courte campagne de mesure en 1975 sur site ;
- Pour l'aménagement de Sambangalou, l'analyse des apports solides a été réalisée à partir de relevés de sédiments pendant la période des crues de juin à novembre 2002 à Kédougou et Gouloumbo. Cette analyse conduit à des apports en sédiments à Sambangalou pouvant varier entre 20 000 et 200 000 t/an suivant les écoulements liquides ;
- Pour l'aménagement de Kaléta, le transport solide a été estimé à partir de mesures de matière en suspension du Konkouré à Kaléta d'octobre 1999 à janvier 2003, au pas de temps journalier durant les hautes eaux, et tous les trois jours en dehors de la période de hautes eaux. Le poids total de sédiments piégés dans la retenue est estimé à 62 400 t/an.

Considérant une masse volumique des dépôts de 1.2 t/m<sup>3</sup> (sables et limons submergés) comme dans l'étude de Kaléta, le Tableau 41 donne le volume total annuel d'envasement ainsi que le volume total d'envasement en 50 ans d'exploitation de l'aménagement à Koukoutamba, à partir des trois analyses disponibles. Les résultats de l'APD [2] présentent un volume d'envasement dans la fourchette haute de l'intervalle possible.

Enfin, le Tableau 42 indique le pourcentage d'envasement par rapport au volume total de la retenue suivant deux valeurs de RN différentes. De manière conservatrice, l'hypothèse est faite que la totalité des sédiments sont retenus par Koukoutamba. Les apports totaux en sédiments sur 50 ans représentent un volume très faible par rapport à celui de la retenue (entre 0.05 % et 2.1 % suivant que la RN est prise à 545 ou 530 m d'altitude, Cf. dernière colonne du Tableau 42) : les apports solides ne constituent donc pas un facteur limitant de la durée de vie de l'ouvrage.

**Tableau 41 : Calcul du transport solide à Koukoutamba**

Site de référence	Surface (km <sup>2</sup> )	Poids annuel (t/an)	Poids spécifique (t/an/km <sup>2</sup> )	Poids annuel à Koukoutamba (t/an)	Volume annuel à Koukoutamba (hm <sup>3</sup> /an)	Volume en 50 ans à Koukoutamba (hm <sup>3</sup> )
Koukoutamba (APD, 1976 [2])	10 670	188 400	2.8	188 400	0.157	7.85
Sambangalou	7 080	Min = 20 000	28.2	30 140	0.025	1.26
		Max= 200 000	5.5	301 400	0.251	12.56
Kaléta	11 380	62 400	17.7	58 507	0.049	2.44

**Tableau 42 : Envasement de la retenue de Koukoutamba d'après trois analyses différentes**

Site de référence	Volume en 50 ans à Koukoutamba (hm <sup>3</sup> )	% par rapport au volume de la retenue	
		RN=546.5 m	RN=530 m
Koukoutamba (APD, 1976 [2])	7.85	0.31 %	1.32 %
Sambangalou	1.26	0.05 %	0.21 %
Kaléta	12.56	0.50 %	2.11 %
	2.44	0.10 %	0.41 %

### C1.6.2 Estimation par mesures in situ

Deux prélèvements d'eau ont été effectués sur le fleuve en fin de période d'hivernage 2011 (mois de novembre et décembre). A partir de ces prélèvements, différentes analyses ont été effectuées :

- Une analyse des matières en suspension (MES) pour estimer le poids de MES contenu dans les échantillons prélevés,
- Une analyse granulométrique au laser des particules avec estimation de leur densité.

Les résultats de cette analyse sont donnés en annexe E du présent rapport. Les résultats synthétiques obtenus sont :

- Pourcentage de MES : 11 mg/l (prélèvement de novembre) ; 2 mg/l (prélèvement de décembre) Soit 6.5 mg/l en moyenne
- Densité de MES : 1,0 t/m<sup>3</sup>.

De ces valeurs est estimé l'ensablement du barrage dans le Tableau 43.

Tableau 43 – estimation de l'ensablement du barrage de Koukoutamba par analyse au laboratoire

estimation de l'ensablement du barrage		
données	Unité	quantité
MES	mg/l	6.5
	t/hm <sup>3</sup>	6.5
apports moyens	hm <sup>3</sup> /an	5 283
poids annuel des apports solides	t/an	34 339
poids volumique des MES	g/cm <sup>3</sup>	1.000 (Cf. analyse)
	t/m <sup>3</sup>	1.000
volume moyen annuel des apports solides en suspension	hm <sup>3</sup> /an	0.034
Charriage de fond	%	10% des MES
Volume moyen annuel des apports solides totaux	hm <sup>3</sup> /an	0.038
<b>Ensablement sur 50ans</b>	<b>hm<sup>3</sup></b>	<b>1.89</b>

L'analyse des prélèvements d'eau effectués en fin de période d'hivernage aboutit à une estimation moyenne d'apports solides sur 50 ans inférieurs à 2 hm<sup>3</sup>, valeur qui se situe dans la fourchette basse des résultats issus de l'analyse documentaire.

Bien que cette estimation soit à considérer avec précaution du fait des incertitudes inhérentes à toute mesure ponctuelle, elle donne néanmoins un ordre de grandeur des apports solides transitant par le Bafing à Koukoutamba.

Aussi, au vu de l'analyse de ce prélèvement, l'hypothèse conservatrice consistant à retenir une tranche morte de 7.5 hm<sup>3</sup> pour le futur barrage de Koukoutamba sera conservée.

### 6.3. Choix de la tranche morte

Privilégiant l'approche conservatrice pour l'estimation de la tranche morte de la future retenue, il est recommandé de retenir une valeur située dans la fourchette haute des résultats du Tableau 42 : la tranche morte pourra ainsi être estimée aux environs de 7.5 hm<sup>3</sup> à Koukoutamba., soit de l'ordre de 1% de la retenue.

L'estimation réalisée à partir des prélèvements d'eau in situ confirme la pertinence de cette valeur, par rapport aux incertitudes liées aux estimations réelles des apports solides

## C1.7 CONCLUSION

L'objet de ce rapport était de présenter les résultats de l'étude hydrologique de la Phase I (étude de faisabilité) de l'aménagement hydroélectrique de Koukoutamba.

Après une présentation générale du bassin versant du Bafing et des principaux facteurs climatiques de la région, une analyse annuelle puis mensuelle de la pluviométrie a été réalisée sur le bassin d'étude.

Un inventaire et une critique des données hydrométriques disponibles ont été réalisés. Ces données ont été utilisées pour estimer les apports du Bafing au droit du futur barrage de Koukoutamba, de 1951 à 2009. Les apports annuels moyens à Koukoutamba sont de 5 283 hm<sup>3</sup>/an. Une longue période de faible hydraulicité a été mise en évidence de 1970 à 1993.

L'étude de crues a été menée en plusieurs étapes. Dans un premier temps, les quantiles de débit ont été déterminés par une analyse statistique, appuyée par une analyse régionale. Les quantiles retenus sont issus d'un ajustement statistique de la loi GEV combiné au coefficient de Weiss. Le débit de pointe de la crue centennale est estimé à 2 205 m<sup>3</sup>/s, celui de la crue décennale est estimé à 3 682 m<sup>3</sup>/s. Dans un second temps, l'étude des formes des hydrogrammes à Koukoutamba nous a amenés à la sélection de trois formes synthétiques de crue pour la détermination des hydrogrammes de projet. Enfin, l'analyse statistique des volumes de crue a conduit à des estimations de volumes plus faibles que les volumes obtenus par combinaison des quantiles de débit avec les trois formes de crues déterminées. Finalement, la forme de crue concentrée est jugée la plus probable combinée aux quantiles de débit de crues.

L'envasement de la retenue sur 50 ans a été estimé à environ 7.5 hm<sup>3</sup>, soit entre 0.3 % (RN = 546.5 m) et 1.3 % (RN = 530 m) du volume total de la future retenue, suivant la cote de Retenue Normale choisie.



## C1.8 REFERENCES

- [1] EDF, 1950, « Inventaire des chutes d'eau ».
- [2] Energoprojekt – Belgrad, 1976, « Avant-Projet Détaillé de l'aménagement hydroélectrique de Koukoutamba ».
- [3] Polytechna – Prague, 1981, « Plan d'Aménagement hydroélectrique de la Moyenne Guinée ».
- [4] Dione Ousmane, 1996, « Evolution climatique récente et dynamique fluviale dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie », thèse de Doctorat, Université Lyon 3 Jean Moulin, Laboratoire de Géographie Physique, ORSTOM Editions, 427 p.
- [5] Groupement COTECO, Coyne et Bellier – Tecsum – Cobra, 2006, « Etudes d'avant-projets détaillés et d'élaboration des dossiers d'appel d'offres des aménagements hydroélectriques de Sambangalou et Kaléta et de la ligne d'interconnexion des pays membres de l'OMVG - Rapport de collecte et d'évaluation des données de base».
- [6] Coyne et Bellier, Avril 2003, « DTI n°25 – Détermination des crues de projet et de chantier ».
- [7] CEDEAO-CSAO/OCDE, Janvier 2008, « le climat et les changements climatiques », Atlas de l'Intégration Régionale en Afrique de l'Ouest, *série environnement*.

## C1.9 ANNEXES

Annexe A : Données d'apports mensuels et annuels aux stations hydrométriques

Annexe B : Ration Q/Qp pour les trois dynamiques de crue à Koukoutamba

Annexe C : apports interannuels des stations du haut bassin du fleuve senegal (transmis par l'OMvs en octobre 2011)

Annexe D: RAPPORT d'analyse d'eau pour estimation des apports solides

**ANNEXE A : DONNEES D'APPORTS MENSUELS ET ANNUELS AUX STATIONS**

**Apports mensuels et annuels à la station de Dakka Saidou sur le Bafing (15 700 km<sup>2</sup>) en hm<sup>3</sup> – les données reconstituées sont en bleu souligné**

Année	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
1951	<u>268</u>	<u>138</u>	<u>75</u>	<u>24</u>	<u>10</u>	<u>104</u>	<u>590</u>	<u>1747</u>	<u>2110</u>	<u>2832</u>	<u>1614</u>	<u>589</u>	<u>10101</u>
1952	<u>352</u>	<u>209</u>	<u>113</u>	<u>45</u>	<u>12</u>	121	862	2001	2593	<u>2497</u>	<u>760</u>	<u>390</u>	<u>9956</u>
1953	<u>238</u>	62	52	<u>29</u>	<u>7</u>	<u>179</u>	1507	1908	2417	<u>1634</u>	<u>616</u>	<u>356</u>	<u>9004</u>
1954	<u>245</u>	80	60	55	91	519	1576	3662	2840	1543	953	528	<u>12153</u>
1955	241	130	98	90	101	455	1583	3113	2594	1922	839	426	11592
1956	233	121	79	54	53	183	785	<u>2182</u>	2440	1731	650	288	<u>8798</u>
1957	149	80	60	42	39	256	944	<u>2797</u>	3561	3164	1096	399	12588
1958	205	102	70	54	82	265	1079	<u>3103</u>	2681	1597	960	511	<u>10709</u>
1959	236	119	82	53	109	414	832	2362	2916	1306	599	244	9273
1960	125	73	55	38	58	175	1071	2062	2217	1517	636	249	8277
1961	128	77	60	42	43	332	896	2508	2770	1272	575	259	8961
1962	146	78	56	39	50	154	915	2212	2702	1831	785	312	9282
1963	181	82	59	41	38	60	564	1972	2585	2362	684	275	8902
1964	132	73	52	37	50	257	954	2577	3346	1513	610	300	9900
1965	153	80	63	47	42	113	996	2190	3133	1665	661	265	9410
1966	163	86	66	50	56	92	601	1702	2311	2621	755	288	8793
1967	165	87	64	47	57	300	997	3509	3587	2359	776	330	12277
1968	196	116	68	45	64	210	535	1327	1835	1064	359	200	6018
1969	96	55	43	34	32	142	905	1929	2865	2474	957	325	9857
1970	151	78	57	40	44	105	498	2403	2393	904	311	163	7147
1971	92	58	45	37	51	85	599	2189	1954	790	269	146	6315
1972	78	51	37	24	27	250	774	1522	1934	1110	365	226	6397
1973	99	56	43	27	74	196	573	1636	1888	892	301	128	5913
1974	78	50	38	25	21	174	920	2097	2158	1378	361	170	7468
1975	99	61	47	32	21	108	806	1305	2261	1342	404	175	6660
1976	103	62	44	31	37	173	811	1928	1644	1722	1138	306	8000
1977	153	77	53	40	39	102	332	845	1468	675	226	100	4110
1978	65	42	32	22	27	131	492	1591	1813	1438	449	177	6279
1979	87	50	34	23	23	142	458	1107	1165	718	415	137	4357
1980	75	45	31	15	20	100	575	2007	1690	541	252	113	5465
1981	69	45	36	39	73	120	567	2022	1489	873	277	120	5730
1982	73	45	37	25	22	78	494	1302	1482	709	277	110	4653
1983	67	42	31	17	21	220	745	1463	1641	786	301	113	5448
1984	74	45	37	28	15	106	751	733	767	779	174	75	3584
1985	49	32	23	12	2	9	464	1822	1695	722	212	95	5138
1986	57	35	25	13	11	60	319	1654	1873	883	295	112	5338
1987	69	45	33	18	24	127	224	1418	1912	1165	314	126	5475
1988	73	46	31	15	14	40	486	1913	2008	770	260	120	5774
1989	75	47	38	27	14	45	320	1664	1736	947	279	119	5311
1990	72	46	32	19	14	64	771	1759	1571	733	289	112	5482
1991	67	40	29	14	7	47	754	1976	1747	1350	408	156	6595
1992	87	54	37	23	18	44	777	1445	1683	841	314	127	5451
1993	72	45	32	20	18	73	388	1233	1676	611	290	113	4572
1994	67	42	32	17	8	76	427	1417	2370	1672	872	248	7247
1995	113	64	49	36	33	75	263	2328	2070	1181	328	159	6699
1996	87	53	38	22	21	117	507	1838	1996	1093	302	130	6206
1997	74	46	35	31	69	366	778	1693	2169	918	322	139	6642
1998	82	49	38	26	27	73	397	2153	1977	1279	337	141	6578
1999	82	50	37	24	31	72	445	1676	1995	1933	607	235	7188
2000	119	61	47	34	37	58	609	1498	2030	1353	465	171	6482
2001	91	55	41	26	20	139	627	2007	2273	952	327	142	6700
2002	79	48	35	21	14	51	652	2418	1881	1086	388	140	6813
2003	81	51	35	21	30	72	1337	2405	2858	1333	579	201	9004
2004	107	64	46	36	34	70	1034	1505	2011	926	454	149	6438
2005	91	55	66	35	33	432	1110	2043	1873	1121	325	150	7335
2006	88	54	40	28	46	152	585	1568	1646	1246	483	172	6106
2007	88	53	40	23	22	22	424	2180	2233	927	386	152	6551
2008	79	50	35	22	35	93	838	2276	1727	1203	449	164	6970
2009	88	53	41	29	19	80	315	<u>1628</u>	<u>2585</u>	1197	456	166	<u>6658</u>
2010	86	51	37	22									

Nb	60	60	60	60	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Moy	119	66	48	32	36	150	719	1941	2150	1339	511	212	7324
E.T.	63	30	18	14	24	113	311	567	559	592	280	115	2115
Cv	0.53	0.46	0.37	0.43	0.67	0.75	0.43	0.29	0.26	0.44	0.55	0.54	0.29
Min	49	32	23	12	2	9	224	733	767	541	174	75	3584
Med	89	55	41	28	31	113	652	1928	2011	1203	408	166	6660
Max	352	209	113	90	109	519	1583	3662	3587	3164	1614	589	12588

Apports mensuels et annuels à la station de Bafing Makana sur le Bafing (22 000 km<sup>2</sup>) en hm<sup>3</sup>

Année	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
1951													
1952													
1953													
1954													
1955													
1956													
1957													
1958													
1959													
1960													
1961		106	75	38	34	384	969	3121	3560	1387	665	339	
1962	205	110	67	32	47	188	958	2467	3356	2009	891	426	10757
1963	244	119	72	36	28	56	735	2106	3096	2887	816	359	10554
1964	187	102	58	25	45	321	903	3289	4198	1768	675	393	11964
1965	234	128	94	46	55	190	984	2472	3809	1962	755	345	11076
1966	219	100	68	52	82	119	660	2079	2590	3427	888	407	10691
1967	225	125	79	45	37	275	1137	4451	4931	2999	967	437	15707
1968	259	165	91	44	71	288	547	1336	1998	1202	452	285	6737
1969	154	73	40	21	14	177	955	2119	3689	2838	1188	466	11733
1970	245	132	79	35	17	142	546	2997	3134	1044	453	255	9078
1971	137	75	44	21	35	68	702	2875	2280	920	364	206	7727
1972	108	58	26	8	8	289	784	1581	2033	1146	439	282	6763
1973	141	71	28	5	61	230	545	1931	2014	929	379	193	6527
1974	99	47	15	2	0	210	1020	2893	2730	1526	463	234	9238
1975	143	81	46	20	5	107	728	1599	2877	1446	496	253	7803
1976	149	76	35	5	19	156	803	1875	1536	1569	1196	406	7826
1977	211	110	59	34	14	91	339	921	1545	779	303	144	4549
1978	85	42	20	5	2	131	529	1673	1923	1429	552	231	6622
1979	126	66	31	7	5	172	508	1173	1226	813	501	194	4822
1980	104	47	19	3	8	128	587	2207	1886	644	331	164	6126
1981	92	47	25	25	88	125	599	2209	1530	974	359	173	6245
1982	101	53	28	14	2	85	558	1343	1585	787	363	160	5078
1983	90	42	23	9	0	263	809	1526	1742	885	389	163	5940
1984	101	47	27	13	3	134	804	822	835	872	240	116	4013
1985	63	26	10	2	1	18	496	1807	1733	786	253	115	5308
1986	68	29	10	1	1	46	394	1382	2076	962	379	171	5519
1987	95	47	20	4	3	158	270	1406	1837	1173	379	171	5562
1988	97	48	19	3	1	53	543	1891	2322	835	324	156	6292
1989	87	44	22	8	2	35	362	1758	1817	1016	353	168	5673
1990	91	45	18	4	2	57	892	1820	1600	798	356	162	5845
1991	84	35	13	2	1	19	738	2151	1966	1341	479	221	7050
1992	126	70	32	9	2	52	718	1492	1904	896	387	186	5873
1993	99	53	23	6	4	82	407	1223	1794	666	362	165	4884
1994	92	46	20	3	1	104	632	1957	2647	2022	959	359	8842
1995	192	105	61	38	19	93	270	2623	2419	1306	448	244	7817
1996	143	75	40	14	4	158	543	1931	2189	1177	399	200	6873
1997	116	57	30	18	54	368	779	1774	2344	1079	410	202	7231
1998	127	63	33	12	10	74	486	2369	2418	1516	439	232	7781
1999	136	67	35	10	13	69	470	1907	2077	2058	711	347	7899
2000	189	95	56	25	22	58	586	1690	2154	1349	527	260	7010
2001	147	70	41	16	3	125	708	2506	2786	1082	437	247	8168
2002	128	63	32	9	2	55	671	2747	1963	1108	455	223	7455
2003	123	68	29	9	3	85	1284	2747	3447	1445	709	297	10246
2004	192	104	51	28	22	101	968	1553	2019	961	502	232	6733
2005	126	70	74	30	15	395	1087	2303	1944	1193	410	231	7878
2006	131	74	37	15	35	186	568	1505	1681	1305	536	238	6312
2007	132	71	43	18	8	11	509	2391	2639	1112	484	218	7635
2008	125	76	37	14	13	130	883	2493	1968	1294	534	262	7828
2009	141	74	40	14	8	77	381	1906	3026	1470	588	263	7990
2010	147	77	38	14									

Nb	49	50	50	50	49	49	49	49	49	49	49	49	48
Moy	140	74	40	17	19	142	681	2049	2344	1351	529	249	7568
E.T.	51	30	22	14	23	98	234	669	801	622	225	89	2257
Cv	0.36	0.40	0.54	0.79	1.20	0.69	0.34	0.33	0.34	0.46	0.43	0.36	0.30
Min	63	26	10	1	0	11	270	822	835	644	240	115	4013
Med	128	70	35	14	8	125	660	1931	2076	1177	453	232	7141
Max	259	165	94	52	88	395	1284	4451	4931	3427	1196	466	15707

**Apports mensuels et annuels à la station de Bakel sur le Sénégal (218 000 km<sup>2</sup>) en hm<sup>3</sup>**

Année	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Année
1951	536	275	150	47	20	207	1179	4049	6015	9471	3533	1177	26659
1952	704	416	225	89	25	82	1587	3852	6536	7798	1520	779	23613
1953	476	226	129	58	15	358	2329	4411	7290	3268	1231	713	20503
1954	494	260	145	48	48	765	2917	10773	10988	4136	1769	1133	33476
1955	658	372	240	141	111	668	1890	9462	10026	6545	1978	1021	33112
1956	677	396	245	113	50	150	1505	6220	13488	5344	1625	881	30696
1957	567	318	211	80	34	634	1744	7261	10726	7339	2376	1021	32312
1958	660	380	239	107	65	584	1642	10827	9893	4836	2035	1248	32515
1959	765	445	296	136	71	565	1705	6863	10042	3186	1283	722	26077
1960	452	256	146	59	24	291	2310	5028	6314	3408	1313	697	20299
1961	429	240	144	57	18	348	2377	7890	13113	3345	1226	682	29869
1962	431	238	138	45	14	282	1604	6271	8858	4229	1541	811	24462
1963	489	276	151	61	34	32	1612	4527	6889	5164	1620	738	21593
1964	458	240	126	50	16	548	1879	5597	14646	4860	1498	881	30800
1965	578	336	203	86	39	297	1517	9076	13576	5076	1667	887	33336
1966	590	331	203	94	44	281	1148	3919	7257	10046	2146	953	27011
1967	595	337	217	91	45	309	1709	6670	13043	6933	1947	1014	32910
1968	699	448	273	120	61	271	1316	2802	4687	2264	872	580	14394
1969	330	174	93	33	14	161	2013	4724	7755	5491	2279	920	23986
1970	545	298	176	82	38	109	986	6059	6247	2061	832	502	17935
1971	301	167	95	40	20	16	1456	7053	6581	2084	776	462	19051
1972	267	151	80	34	17	189	933	2258	2797	1366	666	416	9173
1973	236	126	70	31	14	376	1041	4653	3563	1334	587	305	12336
1974	184	99	60	24	1	13	2053	8798	8614	3728	1011	488	25074
1975	253	120	46	12	2	0	1570	4158	8471	3238	1046	505	19421
1976	266	125	45	6	1	12	1380	3924	3003	3098	2319	671	14849
1977	360	163	70	16	2	3	698	2284	4261	2088	620	257	10819
1978	124	35	8	1	0	27	1054	4621	4666	3493	1230	489	15749
1979	252	104	25	6	2	139	900	2678	3340	1593	788	345	10173
1980	159	52	10	1	0	71	914	4149	5086	1361	569	298	12669
1981	134	42	11	1	0	105	1286	4987	4439	1818	642	302	13766
1982	150	56	10	1	1	0	686	3106	3557	1557	633	276	10034
1983	130	40	8	1	0	234	1067	1888	2178	1229	427	188	7391
1984	82	22	4	1	0	121	1331	2094	1546	1509	420	174	7305
1985	54	15	2	1	0	0	1098	3809	4277	1565	470	195	11487
1986	67	20	7	1	0	0	718	1894	4890	2327	721	293	10940
1987	140	50	17	6	1	1	381	1341	2448	1773	387	211	6754
1988	139	91	91	2	67	240	1239	4303	6450	2124	679	294	15717
1989	150	47	77	46	27	113	991	4677	5007	2031	715	304	14184
1990	124	62	63	27	22	100	1614	3364	2726	1514	635	217	10467
1991	131	50	41	24	29	37	1464	4402	4676	2672	1020	475	15020
1992	258	173	154	155	135	98	1114	2413	3722	1779	758	374	11135
1993	129	69	52	59	39	105	826	2703	3899	1480	650	242	10253
1994	99	44	20	2	0	189	1212	4682	6108	4611	1514	265	18747
1995	254	212	129	51	18	147	706	5826	6412	3455	1205	591	19005
1996	352	242	222	173	133	313	1002	3425	5058	2555	743	272	14489
1997	128	45	5	10	11	361	1386	3968	4995	2879	751	273	14811
1998	117	44	5	0	0	102	992	5234	7529	3154	782	327	18286
1999	139	30	40	3	0	66	1293	7582	8723	5409	1751	721	25757
2000	364	162	88	55	74	66	1061	4349	4323	2849	958	445	14794
2001	134	65	15	8	0	69	1557	4016	5857	2177	620	252	14769
2002	84	111	78	0	0	42	1105	4804	4184	1976	694	258	13335
2003	129	50	52	17	0	28	2772	8288	9461	3546	1490	540	26372
2004	302	124	39	25	16	110	1989	3882	4499	1860	765	315	13927
2005	160	51	51	44	27	443	2330	4865	5644	3370	832	373	18190
2006	213	90	23	31	32	155	891	3127	3758	2713	890	343	12265
2007	151	15	9	23	31	46	1202	6141	8800	2775	839	347	20378
2008	152	80	27	35	11	232	2163	5051	6272	3568	1066	437	19092
2009	93	40	27	21	53	150			8666	3574	1294	445	
2010	161	79	45	8	18	173	1006	4246					

Nb	60	60	60	60	60	60	59	59	59	59	59	59	58
Moy	304	160	95	43	27	194	1414	4938	6574	3424	1157	531	18854
E.T.	203	126	82	43	31	186	535	2159	3129	1989	617	289	7751
Cv	0.67	0.79	0.87	1.00	1.17	0.96	0.38	0.44	0.48	0.58	0.53	0.54	0.41
Min	54	15	2	0	0	0	381	1341	1546	1229	387	174	6754
Med	252	122	70	32	18	143	1316	4527	6108	3098	958	445	18063
Max	765	448	296	173	135	765	2917	10827	14646	10046	3533	1248	33476

## ANNEXE B : RATIO Q/QP POUR LES TROIS DYNAMIQUES DE CRUE A KOUKOTUAMBA

Jours	Q / Qp			Jours	Q / Qp		
	crues rapides	crues lentes	crues très lentes		crues rapides	crues lentes	crues très lentes
1	0.26	0.23	0.39	47	0.91	0.93	0.94
2	0.25	0.24	0.41	48	0.81	0.86	0.90
3	0.25	0.25	0.43	49	0.73	0.81	0.87
4	0.26	0.24	0.42	50	0.68	0.78	0.84
5	0.26	0.24	0.41	51	0.65	0.76	0.79
6	0.28	0.24	0.40	52	0.62	0.75	0.75
7	0.31	0.26	0.42	53	0.58	0.74	0.71
8	0.31	0.28	0.41	54	0.55	0.72	0.69
9	0.32	0.31	0.43	55	0.54	0.71	0.71
10	0.31	0.33	0.44	56	0.52	0.68	0.75
11	0.32	0.36	0.47	57	0.50	0.67	0.78
12	0.33	0.36	0.49	58	0.49	0.65	0.75
13	0.33	0.35	0.48	59	0.49	0.65	0.72
14	0.32	0.36	0.47	60	0.49	0.64	0.67
15	0.32	0.37	0.48	61	0.50	0.64	0.66
16	0.34	0.37	0.51	62	0.50	0.64	0.65
17	0.36	0.37	0.53	63	0.51	0.64	0.62
18	0.37	0.37	0.54	64	0.50	0.64	0.60
19	0.38	0.39	0.54	65	0.49	0.63	0.59
20	0.40	0.41	0.57	66	0.47	0.64	0.59
21	0.43	0.41	0.59	67	0.45	0.64	0.58
22	0.41	0.43	0.58	68	0.45	0.63	0.56
23	0.40	0.44	0.60	69	0.43	0.61	0.55
24	0.41	0.45	0.59	70	0.43	0.60	0.54
25	0.42	0.46	0.64	71	0.43	0.59	0.54
26	0.42	0.47	0.70	72	0.44	0.57	0.52
27	0.40	0.49	0.73	73	0.42	0.54	0.51
28	0.40	0.49	0.71	74	0.42	0.52	0.51
29	0.39	0.50	0.68	75	0.43	0.51	0.51
30	0.40	0.51	0.69	76	0.44	0.50	0.51
31	0.43	0.52	0.71	77	0.44	0.48	0.50
32	0.44	0.53	0.73	78	0.45	0.48	0.50
33	0.43	0.54	0.73	79	0.44	0.47	0.49
34	0.42	0.55	0.74	80	0.42	0.47	0.48
35	0.41	0.56	0.73	81	0.41	0.45	0.46
36	0.42	0.58	0.71	82	0.39	0.44	0.45
37	0.43	0.60	0.71	83	0.38	0.42	0.43
38	0.45	0.63	0.72	84	0.38	0.41	0.42
39	0.48	0.64	0.73	85	0.38	0.40	0.41
40	0.53	0.66	0.75	86	0.38	0.39	0.40
41	0.57	0.69	0.75	87	0.37	0.38	0.40
42	0.60	0.72	0.78	88	0.37	0.38	0.40
43	0.64	0.74	0.85	89	0.36	0.37	0.40
44	0.71	0.78	0.89	90	0.36	0.36	0.41
45	0.89	0.89	0.96	91	0.36	0.36	0.41
46	1.00	1.00	1.00				

**ANNEXE C : APPORTS INTERANNUELS DES STATIONS DU HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL (TRANSMIS PAR L'OMVS EN OCTOBRE 2011)**

Date	Bakel	Bafing Makana	Kayes	Dakka Saidou	Oualia	Gourbassi	Kidira	GALOUGO
01/05/1904	711,3	269,7	579,2	264,2	157,6	154,8	176,1	576,9
01/05/1905	839,1	331,1	717,8	325,7	202,8	184,4	209,4	718,7
01/05/1906	1208	425,5	883,7	373,9	253,2	250,9	317	884,4
01/05/1907	522,6	224,4	415,2	225,5	109,3	108,2	119	405,2
01/05/1908	766,7	346,1	726,3	321,5	205,2	152,6	175,8	720,9
01/05/1909	903,6	396,4	834,8	360,9	234,6	178,4	212	823,7
01/05/1910	662,3	279,7	582,2	271,5	163,5	137,5	157	580,2
01/05/1911	519,5	228,7	458,2	230,2	121,9	103,3	114,2	452,1
01/05/1912	551,1	228,3	466,4	230	126,4	115,4	126,8	463,1
01/05/1913	280,1	132,8	214,2	135,7	46,75	51,13	50,7	200,1
01/05/1914	414,1	193,7	389,6	197,4	97,85	77,02	84,08	382,6
01/05/1915	578,9	260,6	541,4	261	148,2	117	131,8	536,3
01/05/1916	670,9	287,3	616,7	280,9	174,5	135,7	155,9	616,1
01/05/1917	635	250	514,2	237,8	145,7	132,5	154,7	515,6
01/05/1918	1127	366,3	774,7	330,6	221,2	242,7	301,2	785
01/05/1919	530,7	238,5	447,1	238	121,8	108,5	120,8	442
01/05/1920	827,1	296,2	605,7	275,2	170,7	180,1	210,2	606,1
01/05/1921	423,3	193,9	374,2	193,5	101,8	81,62	90,11	371,2
01/05/1922	1192	437	883,6	363,7	262,9	243,2	313,8	894,6
01/05/1923	757,9	281,4	587,4	271	161,9	164	187,8	582,3
01/05/1924	1255	450,3	970,6	395,7	280,4	259,8	321,6	971,3
01/05/1925	816,2	337,3	711,3	319,8	203,5	173,5	199,1	712,6
01/05/1926	529,4	245,8	472,8	250,1	124,1	102,5	112,5	461,3
01/05/1927	1060	374,3	805,9	342,7	232,9	226,1	270,6	815,2
01/05/1928	932,5	360,3	739,6	323,8	213,3	191,5	230,3	736,4
01/05/1929	905,5	345,4	718,8	320,7	202,5	190,9	226,3	714,7
01/05/1930	803,4	288,6	614,2	283,5	172,6	177,9	213,4	618,8
01/05/1931	727,4	290,8	598,9	283,7	168,6	160,8	186,6	598,2
01/05/1932	758,1	343	726,5	321,6	208,1	144,5	169,1	726,3
01/05/1933	844,5	337,2	710,4	315	203,2	192	238,6	705,7
01/05/1934	694,8	266,3	558,6	250,9	156,7	148	188,2	556,8
01/05/1935	1169	437,7	896,4	372,7	267,8	247,9	325	903,8
01/05/1936	1237	463,8	910,8	376,8	272,5	223,3	286,5	929,3
01/05/1937	626,5	240,1	494,2	237,9	136,7	141,4	164,1	484,7
01/05/1938	786,6	304	638,2	287,1	181,8	181,3	217,2	639,6
01/05/1939	551,9	219,8	439,8	218,5	118,6	124,8	146,1	432,7
01/05/1940	432,9	184,1	343	184	84,16	90,93	102,7	337,5
01/05/1941	412,5	171,3	317,9	172,2	83,27	93,47	109,6	313,8
01/05/1942	421	180,8	351,4	182,8	93,05	74,66	85,44	347,7
01/05/1943	629,6	233,3	492,3	230,6	140,9	138,5	158	498,3
01/05/1944	329	152,9	269,1	154,1	66,81	60,17	65,68	268
01/05/1945	950,1	333,7	700	297,2	203,2	195,7	243,8	705,5
01/05/1946	717,5	275,5	592,8	268,8	169,6	149,8	179,4	594,4
01/05/1947	658,1	207,3	419,5	206	115,5	151,6	174,6	415,8
01/05/1948	560,7	247,4	506,1	244,9	138,5	113,5	127,1	506,5
01/05/1949	467,6	210,1	419,1	206,8	112,1	94,71	106,4	408,7
01/05/1950	1153	401,8	843,9	346,9	248,7	239,2	302,8	855,5
01/05/1951	845,4	320,4	674,7	311,1	195,3	191,2	239,1	692,5
01/05/1952	747,9	318,1	579,8	286,1	157,5	199,2	222,9	556,6
01/05/1953	650,4	314,9	561,1	295,8	138,5	159,8	132,5	540,3
01/05/1954	1059	443,1	803,2	382,4	246,3	222,6	263,4	869,2
01/05/1955	1049	433	762,8	367,6	177,4	211	274,4	842,6
01/05/1956	975	380,1	676,9	323	207,1	186,4	258,2	735,4
01/05/1957	1024	474,5	773,7	399,2	240,5	168,3	231,4	868,8
01/05/1958	1029	402,3	796,3	353,7	259,9	176,1	217,4	869,4
01/05/1959	828,6	339,7	580,7	294,1	176	153,8	205,8	607,7

**Projet HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA**

Hydrologie

Date	Bakel	Bafing Makana	Kayes	Dakka Saidou	Oualia	Gourbassi	Kidira	GALOUGO
01/05/1960	644,4	277,4	477,6	261,8	154,7	123,8	145,2	523,3
01/05/1961	949,6	358	685,1	284,2	231,9	175,7	247,4	745,1
01/05/1962	775,8	339,7	548,2	294,3	210,3	165	217,7	609,4
01/05/1963	687,1	332,9	508,2	282,3	132,4	139,6	167,3	545,2
01/05/1964	979,6	377,9	708,1	313,1	244,8	192	268,6	762,7
01/05/1965	1057	350	711,1	298,4	210,7	196,7	263,1	713,6
01/05/1966	854,9	336,8	598,5	278,8	216,5	191,8	282,7	665,4
01/05/1967	1044	495,6	753,3	389,3	226,2	209,5	265,5	831,4
01/05/1968	457,6	212,9	366,4	190,3	133,5	66,35	73,81	387,2
01/05/1969	760,2	370,5	593	312,6	200,7	145	170,1	668,2
01/05/1970	570,7	286,8	439	226,6	121,6	116,4	134,6	472,9
01/05/1971	605,1	243,5	452,6	200,2	159	130,1	152,8	499,3
01/05/1972	290,2	213,4	236,6	202,3	36,58	39,99	43,74	256,7
01/05/1973	391,7	206	312,4	187,5	81,29	66,53	78,47	338,9
01/05/1974	792,2	291,1	485,9	236,8	142,4	137,4	168,6	525,4
01/05/1975	615,4	246,7	380,6	211,2	99,25	117,4	129	419,2
01/05/1976	467,9	246,7	331,7	253	92,95	68,48	68,46	363,4
01/05/1977	342,5	144	221,1	130,3	65,59	58,77	63,04	203,9
01/05/1978	496,5	208,9	307,1	199,1	73,74	105,6	115,2	323,9
01/05/1979	321,5	152,2	212,5	138,2	41,71	45,94	57,07	219,6
01/05/1980	400,7	193,1	262,9	172,8	52,8	73,84	79,9	285,3
01/05/1981	434,2	196,6	271,6	181,7	46,21	75,06	91,09	282,8
01/05/1982	317	160,3	211,5	147,5	46,98	55,18	58,93	219,9
01/05/1983	233,1	187,5	166,1	172,7	13,8	19,86	21,69	175,3
01/05/1984	229,6	126,2	162,3	113,4	30,33	28,37	31,09	161,2
01/05/1985	362,6	167,3	239,3	162,9	45	48,36	64,56	242
01/05/1986	346,5	174,4	234,8	169,3	36,27	50,11	57,52	246,5
01/05/1987	309,7	175,7	213,9	173,6	19,89	30,11	32,7	159,3
01/05/1988	496,9	198,7	350,8	182,6	112,8	74,91	86,1	271,8
01/05/1989	447,6	178,9	314,8	168,4	54,88	80,88	96,2	265,7
01/05/1990	329,5	184,1	228,4	173,8	36,69	46,81	49,6	162,3
01/05/1991	473,4	222	333,6	209,1	61,7	62,17	79,9	262,1
01/05/1992	351,7	185,3	244,6	172,4	44,96	30,7	35,0	294,7
01/05/1993	324,1	154,5	224,4	145	41,32	44,81	51,9	257,5
01/05/1994	591,5	279,1	420,0	229,8	133,5	108,4	133,3	416,8
01/05/1995	600,1	246,7	426,3	212,4	121,6	94,51	114,0	422,7
01/05/1996	457,8	216,9	322,2	196,3	81,2	65,62	82,8	324,9
01/05/1997	467,3	228,4	329,2	210,6	75,34	83,1	97,0	331,4
01/05/1998	577,8	245,3	410,0	208,6	71,19	102	122,7	407,4
01/05/1999	812,5	249	581,7	227,9	178,3	144,6	193,5	568,8
01/05/2000	466,3	221,2	328,4	205	63,64	75,75	91,4	330,8
01/05/2001	466,5	257,9	328,6	212,5	66,39	86,22	99,3	330,9
01/05/2002	420,3	234,7	294,8	216	53,44	51,7	63,1	299,1
01/05/2003	832,1	323,5	596,0	285,5	148,6	137,7	191,9	582,2
01/05/2004	439,2	212,5	308,6	203,6	48	70,44	91,7	312,1
01/05/2005	573,3	248,2	406,7	232,6	94,71	83,4	108,9	404,3
01/05/2006	388	199,1	271,2	192,6	61	48,18	48,37	276,9
01/05/2007	644,5	241	458,8	206,8	93,4	66,26	163,4	453,3
01/05/2008	602,1	246,5	427,8	219,3	115,6	84,3	107,2	424,1
01/05/2009	637,7	252,6	453,8	196,8	144,3	105,7	104,7	448,6
01/05/2010	667,9	251	475,9	224,6	179,5	136,6	78,9	469,4

## ANNEXE D: RAPPORT D'ANALYSE D'EAU POUR ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES



TRACTEBEL ENGINEERING S.A.  
Mr TCHUINKAM SU  
Le Delage  
5 rue du 19 mars 1962  
92622 GENNEVILLIERS CEDEX

N° échantillon : 11E034840-001  
Version du : 21/11/2011 12:14

Page 1 sur 1

### RAPPORT D'ANALYSE

Date de réception :	18/10/2011
Référence dossier :	N°Commande Client: BTC/ATE-1637/CEXT Devis de référence : FCIL2011006501 Aménagement hydroélectrique de Koukoutamba sur le Bafing
Référence échantillon :	Eau
Matrice :	Eau chargée/résiduaire
Début d'analyse :	20/10/2011

### Résultats

Paramètres	Méthodes	Résultats	Unités	LQI
* Matières en suspension (filtration)	NF EN 872 - filtres Millipore AP40	11	mg/l	2
Analyse sous-traitée : Granulometrie	Méthode interne	Ci-joint	-	

LQI : Limite de Quantification Inférieure. Les LQI sont fournies à titre indicatif, elles sont sous la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.

Tous les éléments de traçabilité sont disponibles sur demande

Etienne SEGUIN  
Responsable Projet  
Site de Saveme

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par \*.

Laboratoire agréé pour la réalisation des prélèvements et des analyses terrains et/ou des analyses des paramètres du contrôle sanitaire des eaux – portée détaillée de l'agrément disponible sur demande

Laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement : portée disponible sur <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr>

Laboratoire agréé par le ministre chargé des installations classées par arrêté du JO du 07/01/2011. Mention des types d'analyses pour lesquels l'agrément a été délivré sur : [www.eurofins.fr](http://www.eurofins.fr) ou disponible sur demande.

E-ENV-003 1611201

**Eurofins Analyses pour l'Environnement France - Site de Saveme**  
5 Rue d'Otterswiller - 67700 Saveme  
Tél 03 88 911 911 - fax 03 88 916 531 - site web : [www.eurofins.fr/env](http://www.eurofins.fr/env)  
SAS au capital de 1 632 800 € - APE 7120B - RCS SAVERNE 422 908 971

ACCREDITATION  
1-1488 - Site de Saveme (S)  
Portée disponible sur  
[www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)







Matériaux

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT  
Département  
Environnement  
5 rue d'Otterswiller  
67700 SAVERNE

## RAPPORT D'ANALYSE

N° échantillon LEM: 11M001950-001  
Date de réception : 20/10/2011  
Référence échantillon: 11E034840-001  
Référence dossier : Cde n° EUFRSA2-00013652  
Version du : 15/11/2011 14:56

Page 1 sur 1

Granulométrie Laser		
Méthodes utilisées :	Méthode interne	
Paramètres	Résultat(s)	Unité(s)
Granulométrie Laser	Ci-joint -	-

Jennifer BLAISE  
Technicienne

Les éléments de traçabilité sont disponibles sur demande

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis l'essai. L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par \*.

**Eurofins Analyses pour l'Environnement France - Site de Saverne**  
20 rue du Koehersberg - BP 50047 - 67701 Saverne Cedex  
Tél 03 88 911 911 - fax 03 88 916 531 - site web : www.eurofins.com

8-MAT-RAP-Blai 0002011

Eurofins Analyses pour l'Environnement France-5 Rue d'Otterswiller 67700 Saverne-SAS au capital de 1 632 800 € APE 7120B RCS SAVERNE 422998971 TVA FR51422998971



# ANNEXE

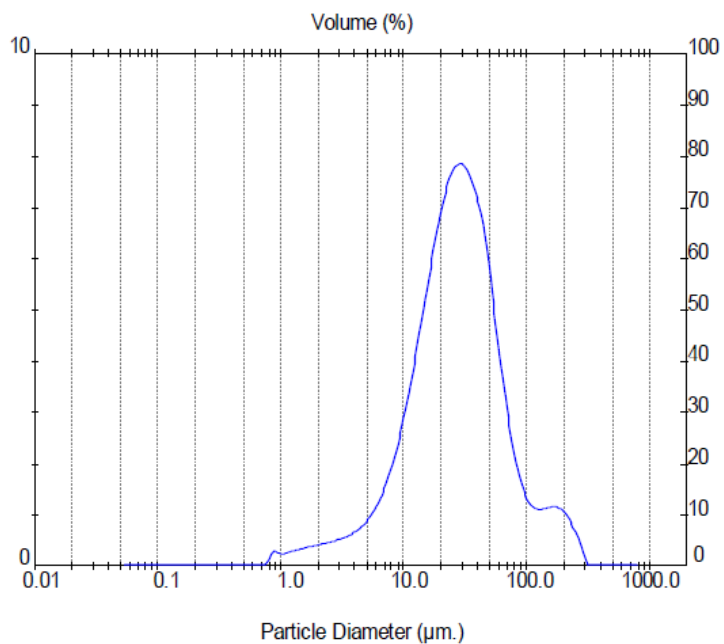
## Granulométrie laser – Echantillon 11M001950-001

Result: Analysis Table

ID:		Run No: 1		Measured: 10/11/2011 11:02			
File: (Result Not Saved)				Analysed: 10/11/2011 11:02			
Path: C:\SIZERS\DATA\				Source: Analysed			
Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: None			
Presentation: 3OHD		Analysis: Poly disperse		Obs: 6.2 %			
Modifications: None				Residual: 1.686 %			
Conc. = 0.0124 %Vol		Density = 1.000 g/cm <sup>3</sup>		S.S.A. = 0.4085 m <sup>2</sup> /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 39.49 um		D[3, 2] = 14.69 um			
D(v, 0.1) = 8.39 um		D(v, 0.5) = 27.26 um		D(v, 0.9) = 77.33 um			
Span = 2.528E+00		Uniformity = 8.901E-01					
Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	1.58	76.32	2.02
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	2.08	88.91	1.44
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	2.73	103.58	1.16
0.08	0.00	0.91	0.25	10.48	3.51	120.67	1.11
0.09	0.00	1.06	0.27	12.21	4.40	140.58	1.15
0.11	0.00	1.24	0.31	14.22	5.35	163.77	1.15
0.13	0.00	1.44	0.36	16.57	6.27	190.80	1.04
0.15	0.00	1.68	0.39	19.31	7.07	222.28	0.76
0.17	0.00	1.95	0.43	22.49	7.84	258.95	0.38
0.20	0.00	2.28	0.47	26.20	7.71	301.68	0.00
0.23	0.00	2.65	0.51	30.53	6.64	351.46	0.00
0.27	0.00	3.09	0.56	35.56	5.38	409.45	0.00
0.31	0.00	3.60	0.64	41.43	4.08	477.01	0.00
0.36	0.00	4.19	0.76	48.27	2.92	555.71	0.00
0.42	0.00	4.88	0.94	56.23		647.41	0.00
0.49	0.00	5.69	1.21	65.51		754.23	0.00
0.58	0.00	6.63		76.32		878.67	0.00

Result: Analysis Table

ID:		Run No: 1		Measured: 10/11/2011 11:02			
File: (Result Not Saved)				Analysed: 10/11/2011 11:02			
Path: C:\SIZERS\DATA\				Source: Analysed			
Range: 300RF mm		Beam: 2.40 mm		Sampler: None			
Presentation: 3OHD		Analysis: Poly disperse		Obs: 6.2 %			
Modifications: None				Residual: 1.686 %			
Conc. = 0.0124 %Vol		Density = 1.000 g/cm <sup>3</sup>		S.S.A. = 0.4085 m <sup>2</sup> /g			
Distribution: Volume		D[4, 3] = 39.49 um		D[3, 2] = 14.69 um			
D(v, 0.1) = 8.39 um		D(v, 0.5) = 27.26 um		D(v, 0.9) = 77.33 um			
Span = 2.528E+00		Uniformity = 8.901E-01					
Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%
0.05	0.00	0.58	0.00	6.63	7.35	76.32	89.80
0.06	0.00	0.67	0.00	7.72	8.93	88.91	91.82
0.07	0.00	0.78	0.00	9.00	11.02	103.58	93.26
0.08	0.00	0.91	0.25	10.48	13.74	120.67	94.42
0.09	0.00	1.06	0.50	12.21	17.25	140.58	95.53
0.11	0.00	1.24	0.77	14.22	21.66	163.77	96.67
0.13	0.00	1.44	1.09	16.57	27.01	190.80	97.83
0.15	0.00	1.68	1.44	19.31	33.28	222.28	98.86
0.17	0.00	1.95	1.83	22.49	40.35	258.95	99.62
0.20	0.00	2.28	2.26	26.20	47.97	301.68	100.00
0.23	0.00	2.65	2.72	30.53	55.80	351.46	100.00
0.27	0.00	3.09	3.23	35.56	63.51	409.45	100.00
0.31	0.00	3.60	3.79	41.43	70.78	477.01	100.00
0.36	0.00	4.19	4.44	48.27	77.42	555.71	100.00
0.42	0.00	4.88	5.20	56.23	82.80	647.41	100.00
0.49	0.00	5.69	6.14	65.51	86.88	754.23	100.00
0.58	0.00	6.63	7.35	76.32	89.80	878.67	100.00





Environnement

**TRACTEBEL ENGINEERING S.A.**  
**Mr Brice TCHUINKAM SU**  
 Le Delage  
 5 rue du 19 mars 1962  
 92622 GENNEVILLIERS CEDEX

## RAPPORT D'ANALYSE

N° de rapport d'analyse : AR-12-LK-008084-01      Version du : 19/01/2012      Page 1/2  
 Dossier N° : 12E000919      Date de réception : 11/01/2012  
 Référence Dossier : Réf. : BTC/ATE - 0047 / CEXT  
 Objet : Aménagement hydroélectrique de KOUKOUTAMBA sur le bafing - Analyse eau de fleuve

N° Ech	Matrice	Référence échantillon	Observations
001	Eau chargée/Résiduaire	Bafing	

### Conservation de vos échantillons

Les échantillons seront conservés sous conditions contrôlées pendant 4 semaines, à compter de la date de réception des échantillons au laboratoire. Sans avis contraire, ils seront détruits après cette période sans aucune communication de notre part. Si vous désirez que les échantillons soient conservés plus longtemps, veuillez retourner ce document signé au plus tard une semaine avant la date d'issue.

Conservation Supplémentaire : ..... x 6 semaines supplémentaires (LS0PX)

Nom :

Signature :

Date :

**Eurofins Analyses pour l'Environnement - Site de Saverne**  
 5, rue d'Otterswiller - 67700 Saverne  
 Tél 03 88 911 911 - fax 03 88 916 531 - site web : www.eurofins.fr/env  
 SAS au capital de 1 632 800 € - APE 7120B - RCS SAVERNE 422 998 971

ACCREDITATION  
 N° 1- 1488  
 Site de saverne  
 Portée disponible sur  
 www.cofrac.fr



## RAPPORT D'ANALYSE

N° de rapport d'analyse : AR-12-LK-008084-01 Version du : 19/01/2012 Page 2/2  
 Dossier N° : 12E000919 Date de réception : 11/01/2012  
 Référence Dossier : Réf. : BTC/ATE - 0047 / CEXT  
 Objet : Aménagement hydroélectrique de KOUKOUTAMBA sur le bafing - Analyse eau de fleuve

N° Echantillon : **12E000919-001** Référence : Bafing  
 Date de prélèvement : 18/12/2011  
 Début d'analyse : 11/01/2012

Incertitudes  
 (A) Eurachem  
 (B) XP T 90-220

### Analyses immédiates

	Résultat	Unité	Critères
LS010 : <b>Matières en suspension (MES)</b> Analyse réalisée sur le site de Saverne Accrédité Cofrac <small>N°1-1488            NF EN 872 (T 90-105-1) - filtres Millipore AP40</small>	<2.0	mg/l	15% (B)

### Sous-traitance | Eurofins Analyses pour l'Environnement France (Matériaux)

	Résultat	Unité	Critères
LE01R : <b>Analyse granulométrique par diffraction laser</b> Analyse soustraite à Eurofins Analyses <small>pour l'Environnement France (MA)            NF ISO 13320-1</small>	-		

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 2 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par \*.

Laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement : portée disponible sur <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr>

Laboratoire agréé pour la réalisation des prélèvements et des analyses terrains et/ou des analyses des paramètres du contrôle sanitaire des eaux - portée détaillée de l'agrément disponible sur demande

Laboratoire agréé par le ministre chargé des installations classées par arrêté du JO du 07/01/2011. Mention des types d'analyses pour lesquels l'agrément a été délivré sur [www.eurofins.fr](http://www.eurofins.fr) ou disponible sur demande.



Rui Ventura  
 Responsable Département  
 Environnement

**Eurofins Analyses pour l'Environnement - Site de Saverne**  
 5, rue d'Oterswiller - 67700 Saverne  
 Tél 03 88 911 911 - fax 03 88 916 531 - site web : [www.eurofins.fr/env](http://www.eurofins.fr/env)  
 SAS au capital de 1 632 800 € - APE 7120B - RCS SAVERNE 422 998 971

ACCREDITATION  
 N° 1-1488  
 Site de saverne  
 Portée disponible sur  
[www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)





Matériaux

EUROFINS ANALYSES POUR L'ENVIRONNEMENT  
Département  
Environnement  
5 rue d'Otterswiller  
67700 SAVERNE

---

## RAPPORT D'ANALYSE

---

N° échantillon LEM: 12M000066-001  
Date de réception : 13/01/2012  
Référence échantillon: 12E000919-001  
Référence dossier : Cde n°EUFRSA2-00015724  
Version du : 19/01/2012 08:24

Page 1 sur 1

Granulométrie Laser		
Méthodes utilisées :	Méthode interne	
Paramètres	Résultat(s)	Unité(s)
Granulométrie Laser	L'analyse non réalisable le taux d'obscurité est trop faible	-

Jennifer BLAISE  
Technicienne

Les éléments de traçabilité sont disponibles sur demande

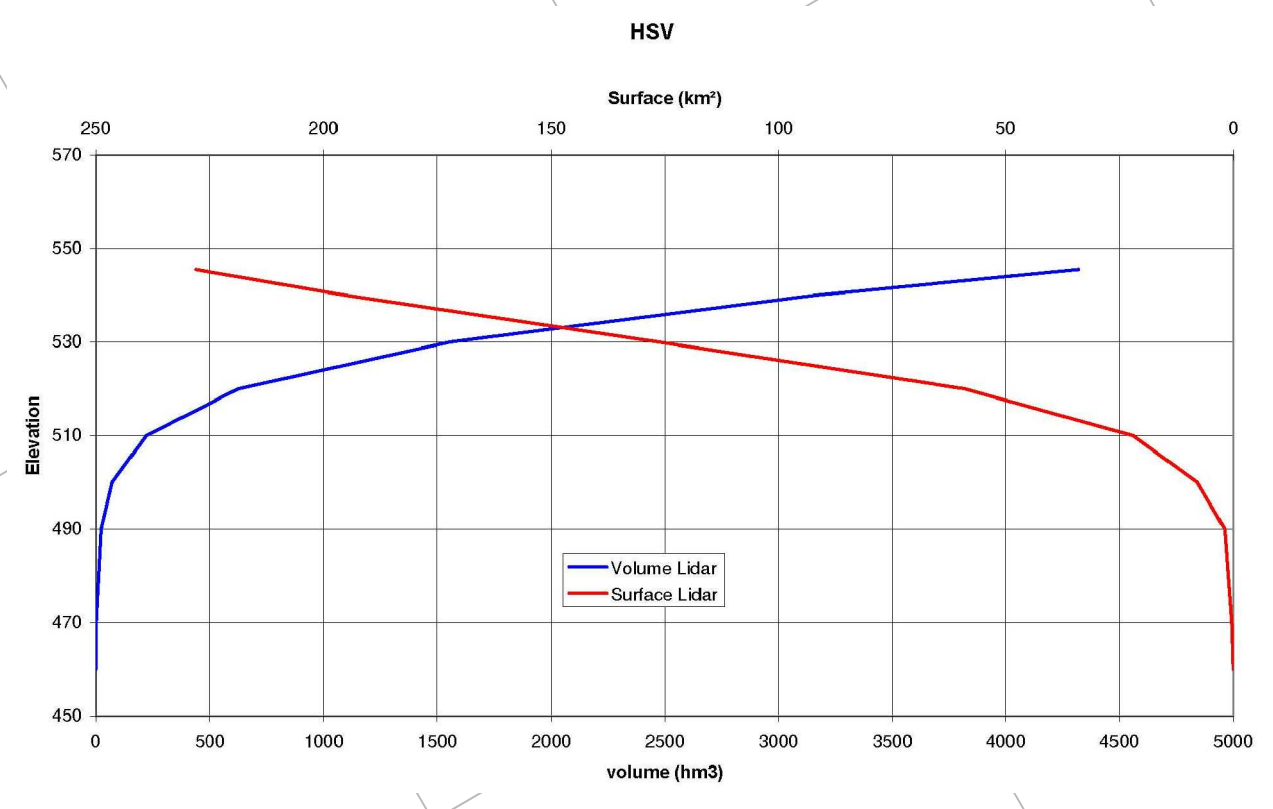
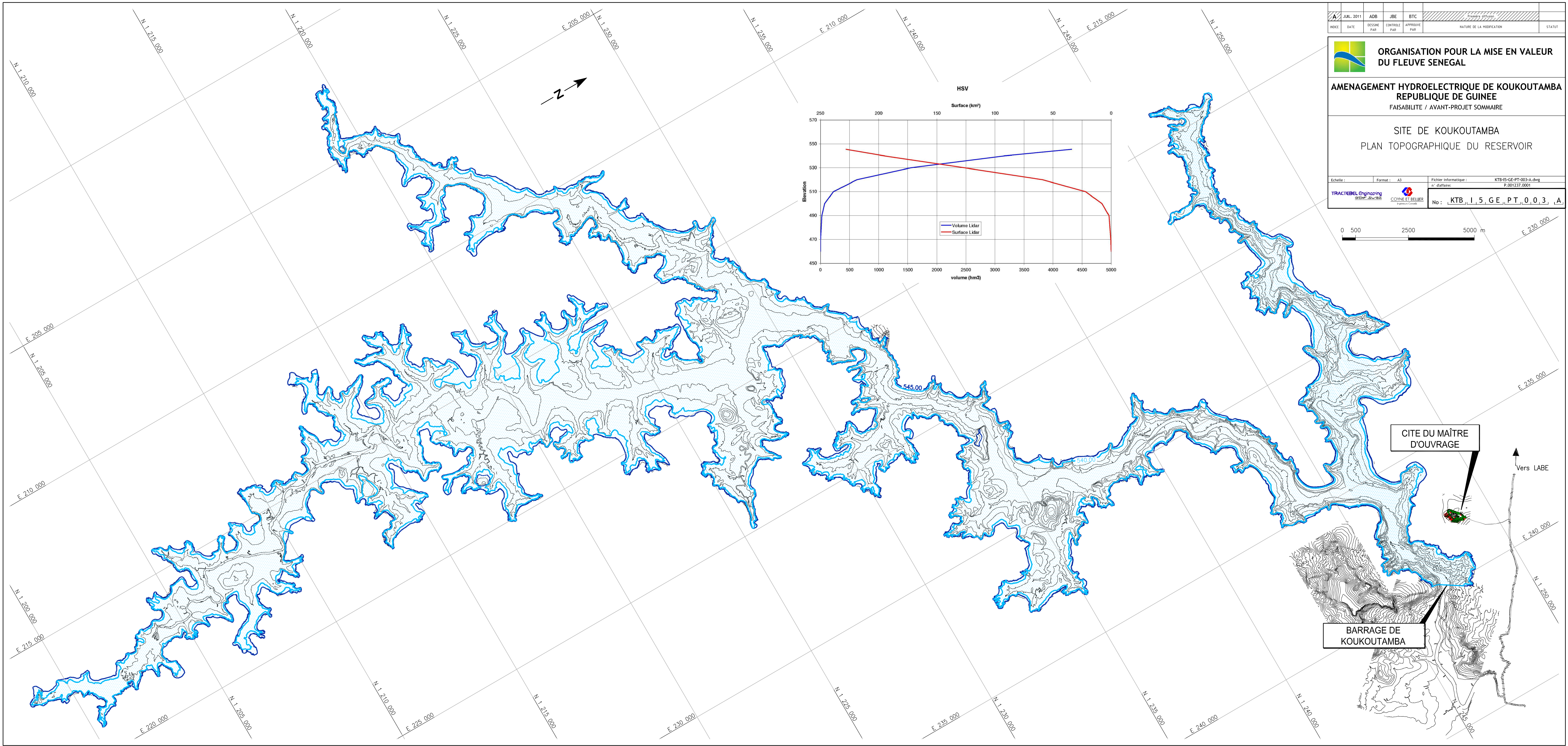
La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par \*.

Eurofins Analyses pour l'Environnement France - Site de Saverne  
20 rue du Kochersberg - BP 50047 - 67701 Saverne Cedex  
Tél 03 88 911 911 - fax 03 88 916 531 - site web : www.eurofins.com

S-MAT-RAP-Ber 0062011

Eurofins Analyses pour l'Environnement France-5 Rue d'Otterswiller 67700 Saverne-SAS au capital de 1 632 800 € APE 7120B RCS SAVERNE 422998971 TVA FR51422998971





DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
2011	ADB	JBE	BTC		

**ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL**

**AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA  
REPUBLIQUE DE GUINEE**  
FAISABILITE / AVANT-PROJET SOMMAIRE

**SITE DE KOUKOUTAMBA  
PLAN TOPOGRAPHIQUE DU RESERVOIR**

Echelle : Format : A3  
Fichier informatique : KTB-GE-PT-003-A.dwg  
n° de plan : F.001237.0001

TRACTEBEL Engineering  
CORNEILLE BELLEUR  
No : KTB\_1\_5\_GE\_PT\_1\_0\_0\_3\_A



Vers LABE

**CITE DU MAÎTRE D'OUVRAGE**

**BARRAGE DE KOUKOUTAMBA**





**LEVE TOPOGRAPHIQUE PAR LASER AEROPORTE  
SUR LE SITE DE KOUKOUTAMBA**

**TRACTEBEL Engineering SA**

**Rapport d'Acquisition et  
de Traitement Lidar**

Date	Rédaction	Modification / commentaire
25/05/2011	CMI	Création du document
10/06/2011	CMI	Modification



## Sommaire

<b>C2.1. INTRODUCTION ET PRÉSENTATION SUCCINCTE .....</b>	<b>3</b>
C.1.1. Objectifs du projet.....	3
C.1.2. Définition des zones à lever.....	3
<b>C2.2. ACQUISITION ET AJUSTEMENT DES DONNÉES .....</b>	<b>4</b>
C.2.1. Données Lidar .....	4
<b>C2.3. TRAITEMENT DU SEMIS LIDAR .....</b>	<b>19</b>
C.3.1. La classification automatisée.....	19
C.3.2. La classification manuelle .....	23
<b>C2.4. Création des produits.....</b>	<b>32</b>

## **C2.1. INTRODUCTION ET PRÉSENTATION SUCCINCTE**

### **C.1.1. Objectifs du projet**

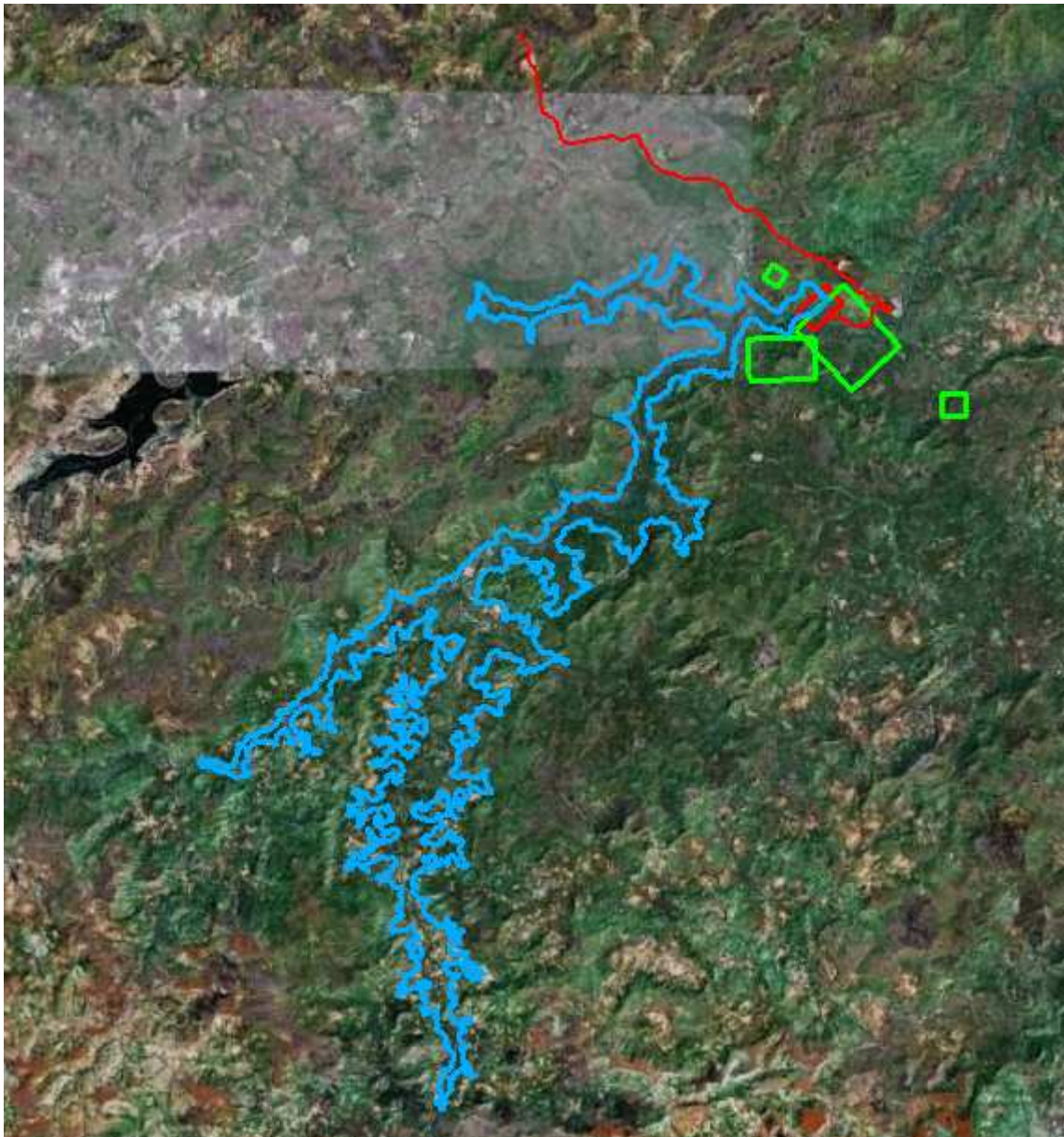
Ce présent document présente les différentes étapes de l'acquisition et du traitement pour la réalisation d'un relevé topographique par la technique Lidar sur le Site de Koukoutamba.

**Les résultats du levé topographiques sont fournis sous forme de fichiers dwg.**

### **C.1.2. Définition des zones à lever**

Les zones à lever concernent trois secteurs :

- En bleu : la zone du réservoir
- En vert : les sites du barrage
- En rouge : les voies d'accès



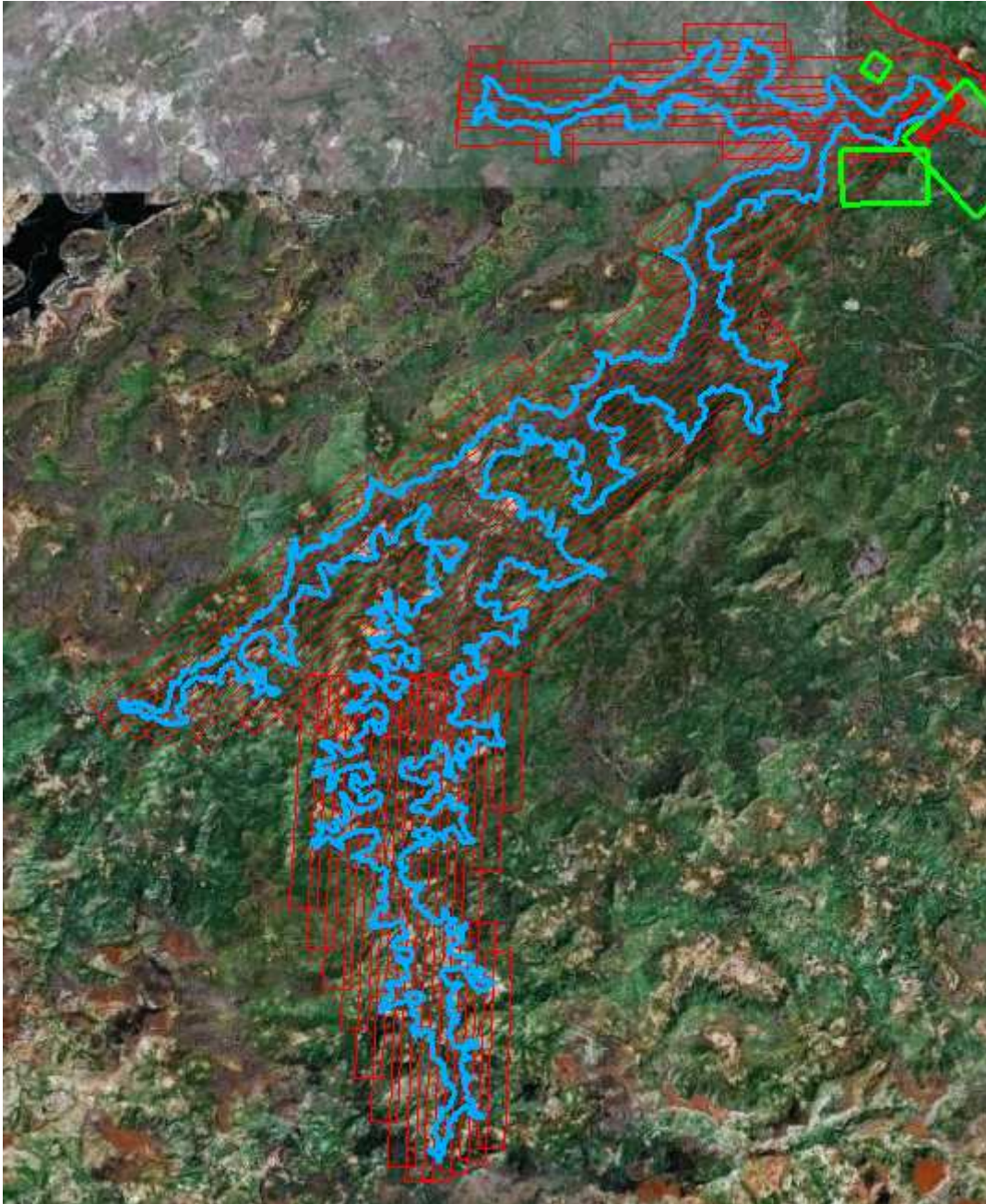


## C2.2. ACQUISITION ET AJUSTEMENT DES DONNÉES

### C.2.1. Données Lidar

#### C.2.1.1. Plan de vol projet

Le plan de vol a été créé afin d'obtenir une densité « départ avion » de 1pt/m<sup>2</sup> sur le site du réservoir et de 4pts/m<sup>2</sup> sur les autres sites avec une sur densité sur le site du barrage avec un recouvrement croisé.



Plan de vol prévisionnel 1 pts/m<sup>2</sup>





Plan de vol prévisionnel 4pts/m<sup>2</sup>

### **C.2.1.2. Vols**

L'acquisition s'est déroulée sur deux missions et cinq sessions de vols les 25-26-27 Janvier, le 03 Février et le 17 Mars 2011 (session de reprise). Elle a été réalisée par la société IMAO à l'aide de leur avion immatriculé F-GDAP et de leur Lidar IGI LiteMapper 5600.



LiteMapper 5600

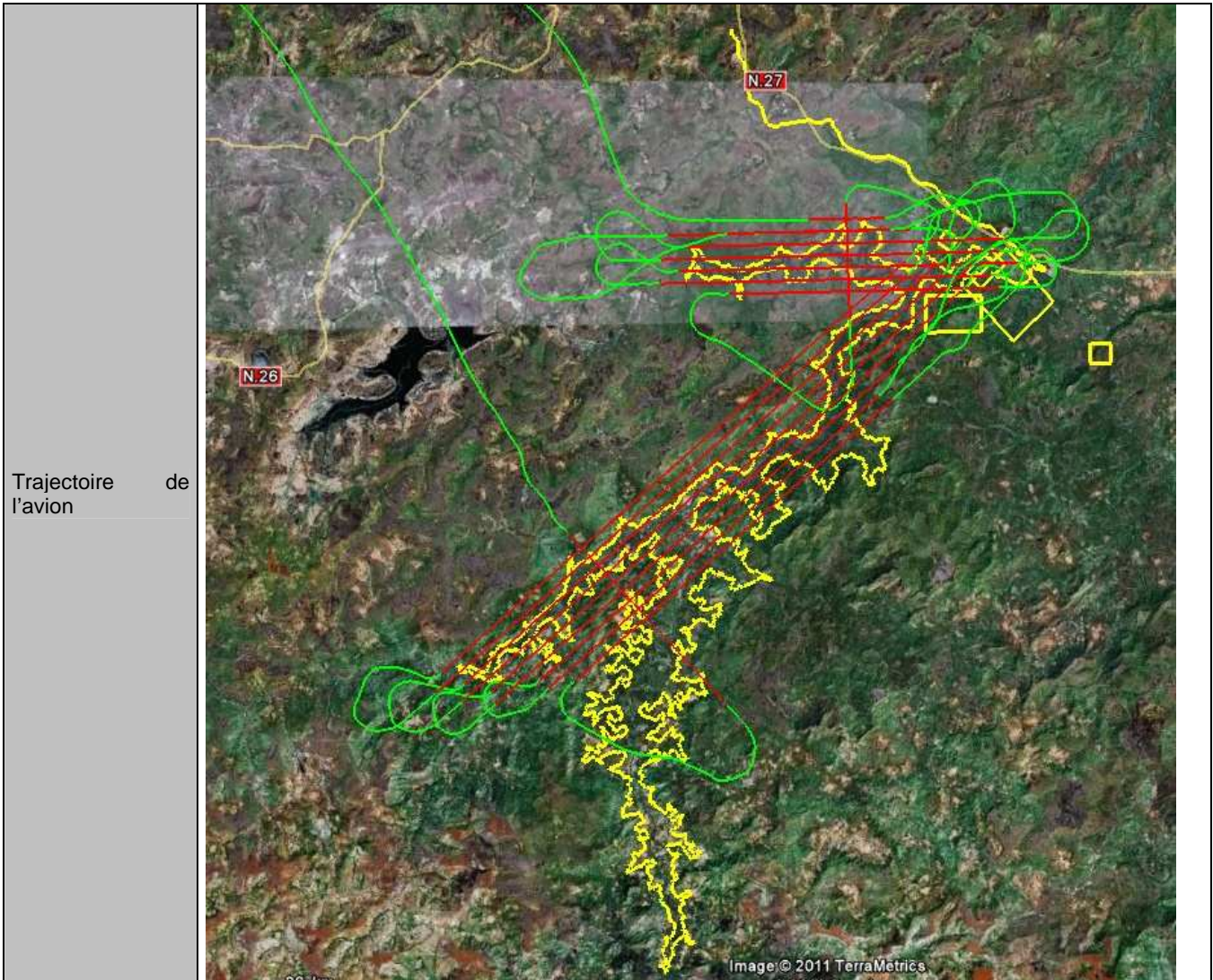
### **C.2.1.3. Calcul de la trajectoire**

Les trajectoires des avions ont été calculées à partir des stations GPS mises en place pendant la mission topographique. Les tableaux ci-après présentent les résultats de calcul par GPS différentiel pour des 4 premières sessions de vol.

La session de reprise a été calculée par la méthode PPP (Precise Point Positioning) à partir des éphémérides précises des satellites.

NOM PROJET Koukoutamba		Post traitement Calcul de la trajectographie				N°TACHE : 0301		
<b>Calcul de la trajectoire S01-GE610034-20110125_01_LM par Grafnav</b>								
Antenne Avion	NOM	Remote			Ha	0.000	Type	Avion
Pivots	NOM	V1000	TYPE	Station au sol	Ha	1.614	Type	Trimble 55971
	E	244930.942		N	1246706.967		H	499.710
Fichier rapport	<a href="#">110125_KOUKOU.Run_(29).Html</a>							
Comparaison de la trajectoire avant - arrière	<b>Figure 1: 110125_KOUKOU [Combined] - Forward/Reverse or Combined Separation Plot</b>							
Valeur cible : XY < 5cm Z < 10 cm								
OK valeurs supérieures en dehors des bandes								
Nombre de satellites	<b>Figure 3: 110125_KOUKOU [Combined] - Number of Satellites Bar Plot</b>							
Valeur cible : > 6								
OK								

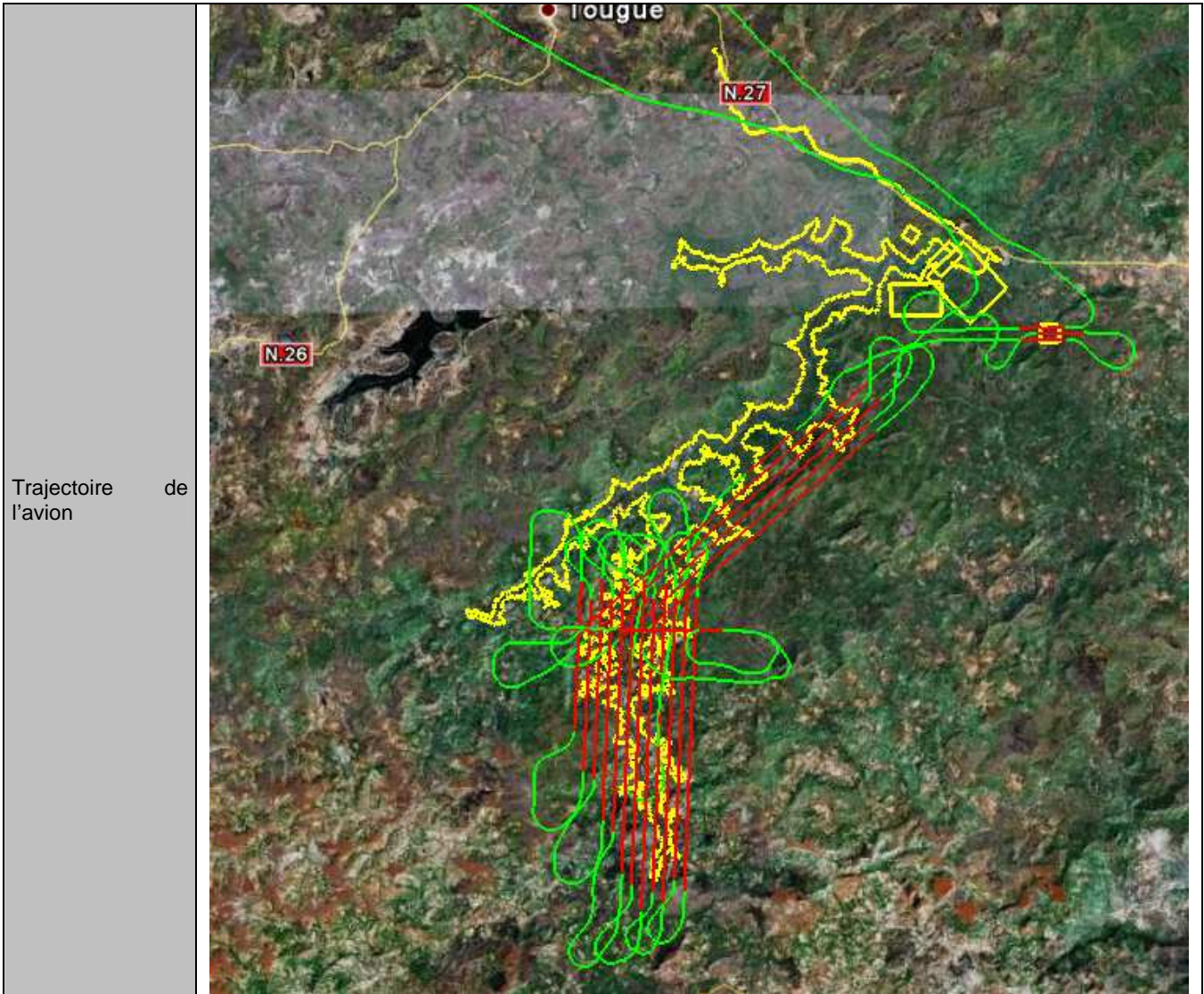




Validation de la trajecto GPS	OK
Remarque	-
Réserve	-
Point bloquant	-

NOM PROJET Koukoutamba		Post traitement Calcul de la trajectographie					N°TACHE : 0301		
<b>Calcul de la trajectoire S02-GE610034-20110126_01_LM par Grafnav</b>									
Antenne Avion	NOM	Remote			Ha	0.000	Type	Avion	
Pivots	NOM	V1000	TYPE	Station au sol	Ha	1.642	Type	Trimble 55971	
	E	244930.942		N	1246706.967		H	499.710	
Fichier rapport	<a href="#">110126 KOUKOU.Run (43).Html</a>								
Comparaison de la trajectoire avant - arrière									
Valeur cible : XY < 5cm Z < 10 cm									
OK valeurs supérieures dehors des bandes									
Nombre de satellites									
Valeur cible : > 6									
OK									

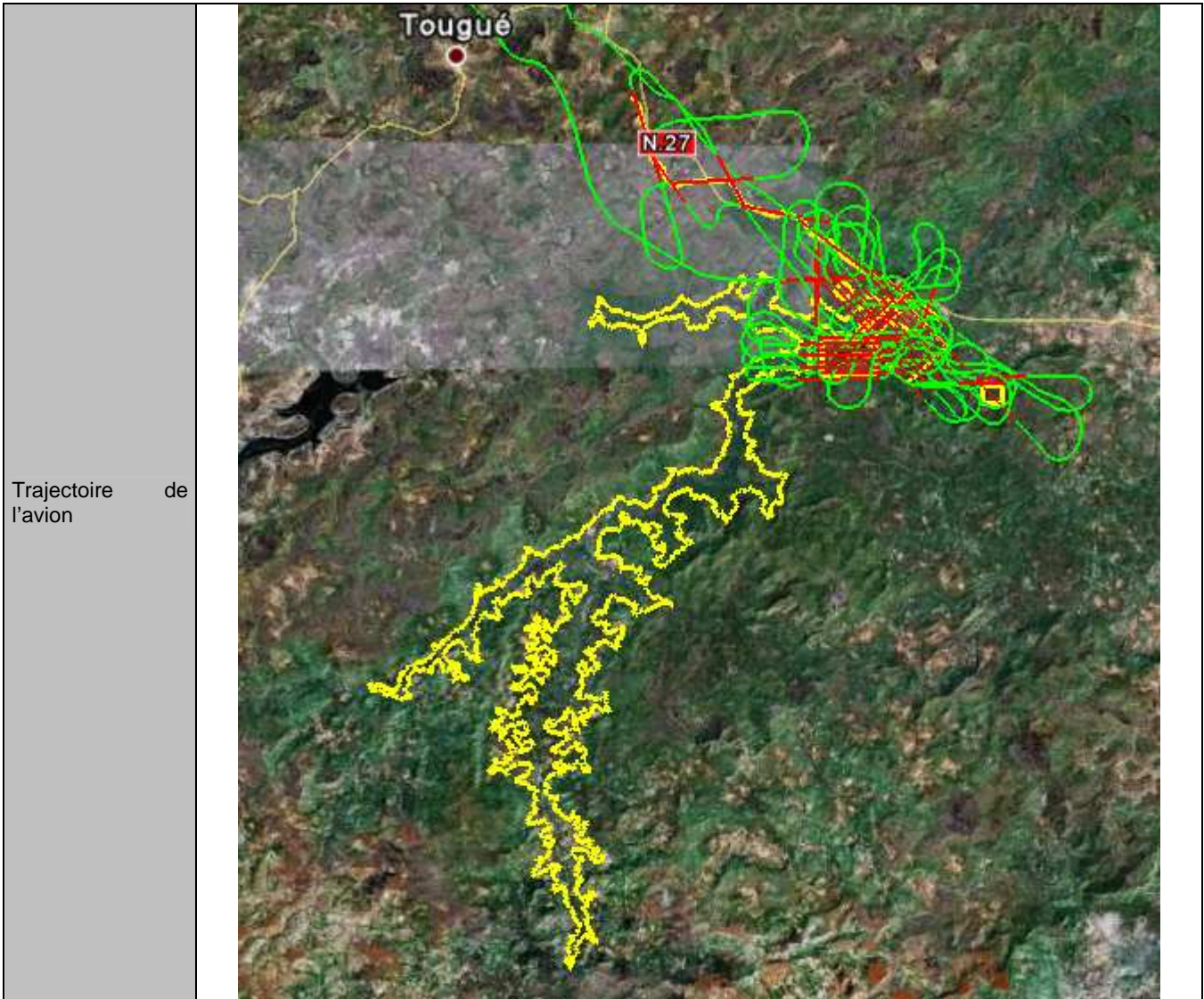




Validation de la trajecto GPS	OK
Remarque	-
Réserve	-
Point bloquant	-

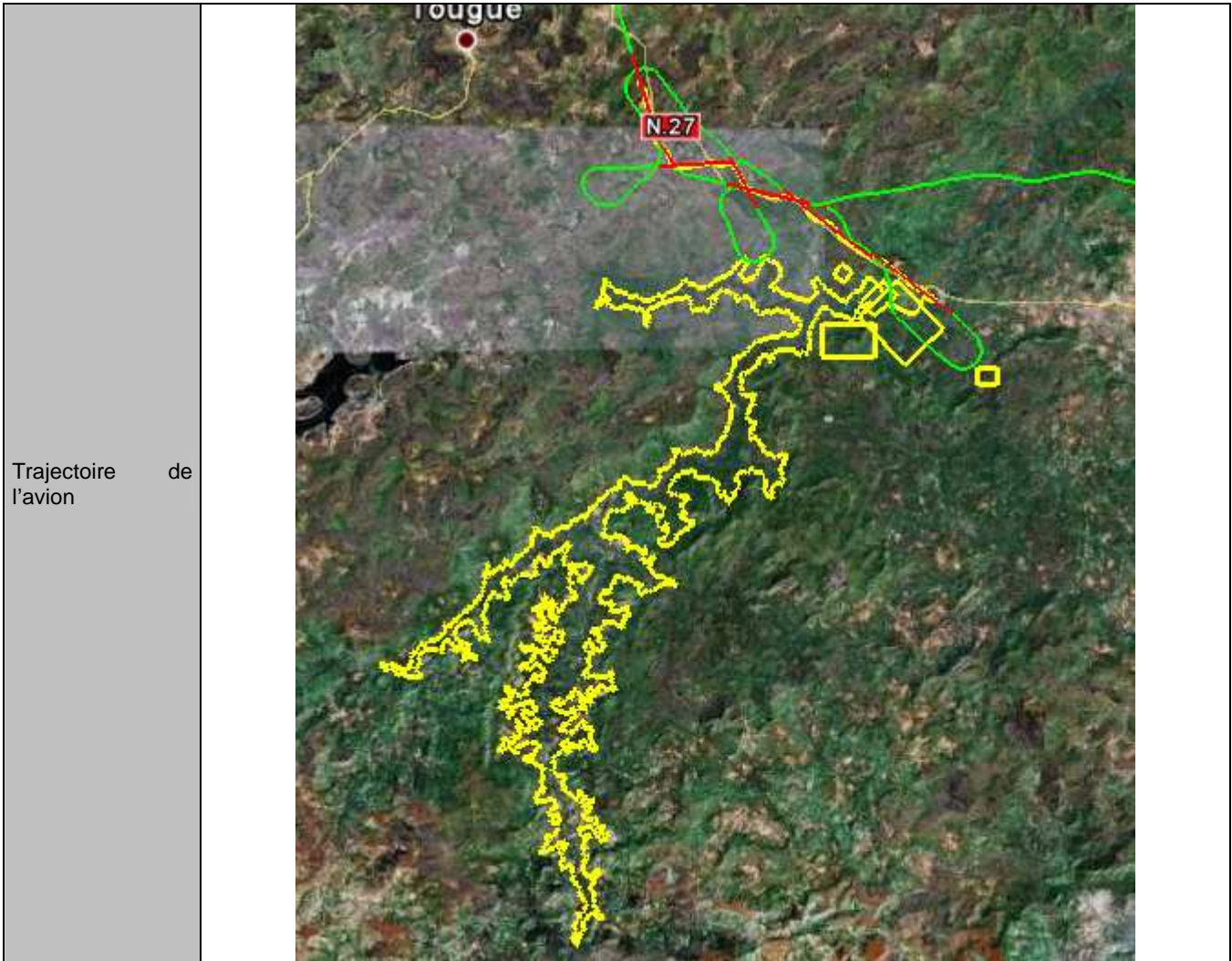
NOM PROJET Koukoutamba		Post traitement Calcul de la trajectographie					N°TACHE : 0301	
<b>Calcul de la trajectoire S03-GE610034-20110127_01_LM par Grafnav</b>								
Antenne Avion	NOM	Remote			Ha	0.000	Type	Avion
Pivots	NOM	V1000	TYPE	Station au sol	Ha	1.630	Type	Trimble 55971
	E	244930.942		N	1246706.967		H	499.710
Fichier rapport	<a href="#">110127 KOUKOU.Run (11).Html</a>							
Comparaison de la trajectoire avant - arrière								
Valeur cible : XY < 5cm Z < 10 cm								
OK valeurs supérieures en dehors des bandes								
Nombre satellites								
Valeur cible : > 6								
OK								





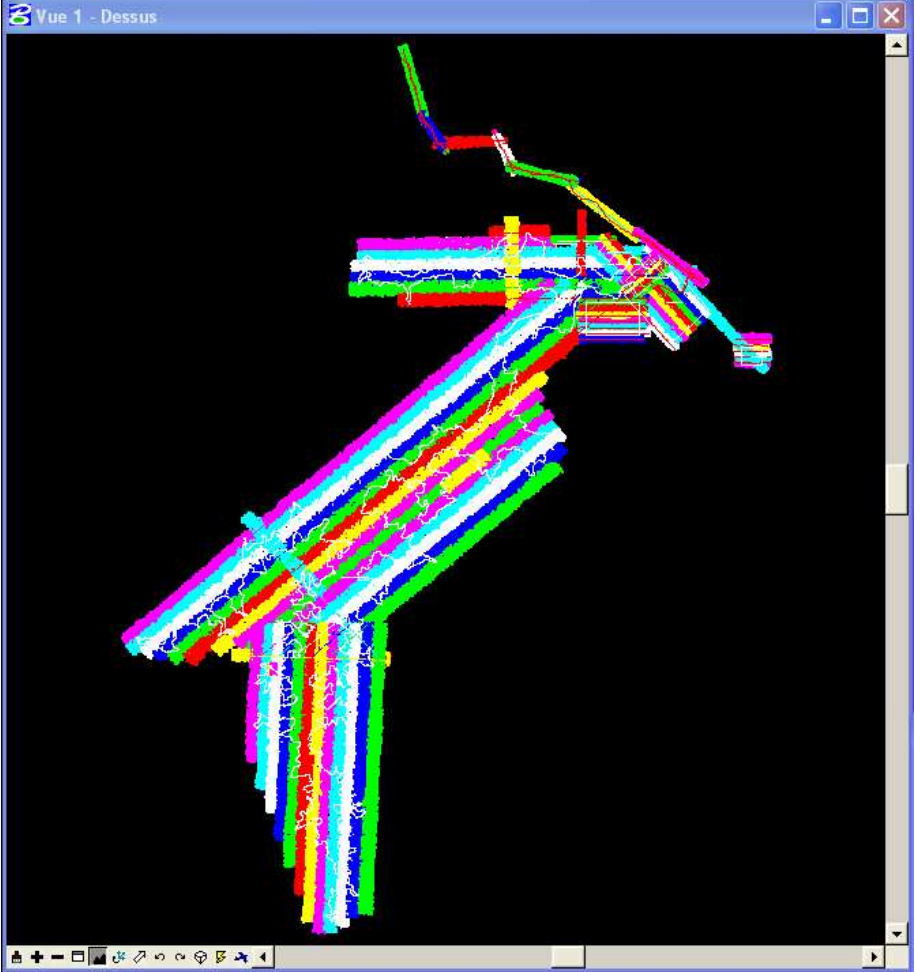
Validation de la trajecto GPS	OK
Remarque	-
Réserve	-
Point bloquant	-

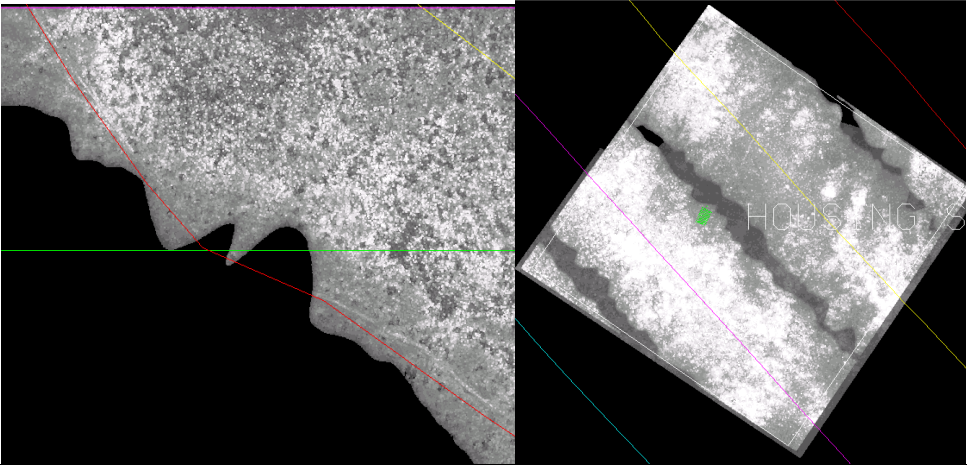
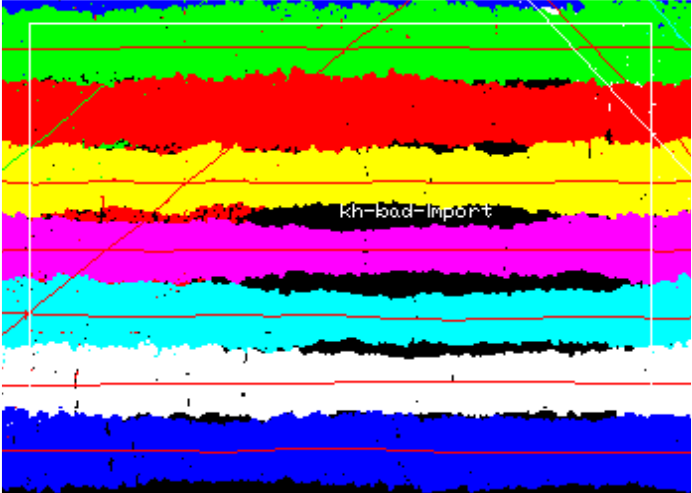
NOM PROJET Koukoutamba		Post traitement Calcul de la trajectographie				N°TACHE : 0301		
<b>Calcul de la trajectoire S04-GE610034-20110203_01_LM par Grafnav</b>								
Antenne Avion	NOM	Remote			Ha	0.000	Type	Avion
Pivots	NOM	V1000	TYPE	Station au sol	Ha	1.525	Type	Trimble 55971
	E	244930.942		N	1246706.967		H	499.710
Fichier rapport	<a href="#">110203_KOUKOU.Run_(7).Html</a>							
Comparaison de la trajectoire avant - arrière								
Valeur cible : XY < 5cm Z < 10 cm								
OK valeurs supérieures en dehors des bandes								
Nombre de satellites								
Valeur cible : > 6								
OK								



Validation de la trajecto GPS	OK
Remarque	-
Réserve	-
Point bloquant	-



NOM PROJET Koukoutamba	Post traitement Préparation des données	N°TACHE : 0302
<b>Import des LAS et trj dans Terra Scan</b>		
Import de l'ensemble des bandes pour visualiser l'emprise de la session	OK	
Création du projet Terra Scan qui englobe l'ensemble des données	GE610034_Koukoutamba.prj	
Import des trajectoires trj	WGS84 / UTM29N	
Numérotation des trj	OK	
Fichier de classe utilisé	<a href="#">Default.ptc</a>	
Import des LAS avec Reprojection et affectation des trj	WGS84 / UTM29N	
<p>Contrôle visuel de l'import de la session  S01-GE610034-20110125_01_LM</p>		
Application de la macro sol/sursol par bande de vol	OK	
Contrôle de la bonne application de la macro	OK (cf dossier rapport\macro_execution.txt)	

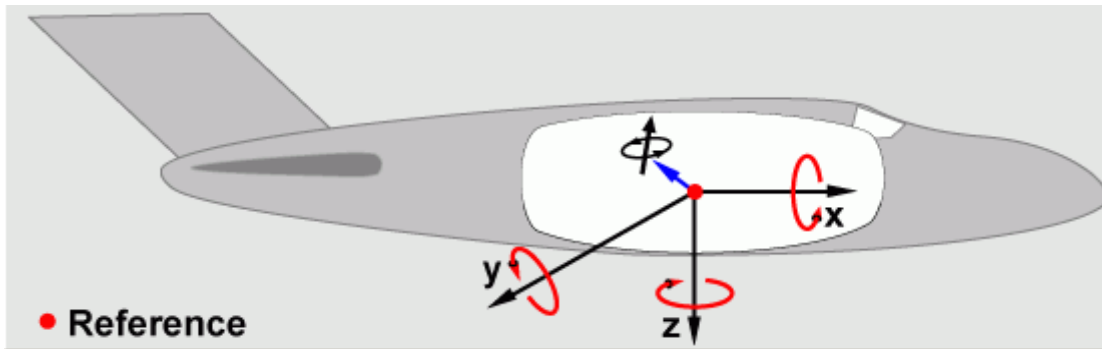
Validation de l'import	Non, cependant la zone du réservoir est complète.
Remarque	-
Réserve	-
Point bloquant	3 zones présentent des trous dans l'acquisition. Elles sont reprises par la session du 17/03/2011.
	 

### C.2.1.4. Traitements géométriques

Les semis de points bruts obtenus après les calculs GPS ont été ensuite ajustés géométriquement, afin de corriger les erreurs résiduelles de calibration de système Lidar.

Cette phase, inhérente à l'ensemble des capteurs existants, consiste à déterminer les systématismes résiduels liés à la mesure des angles de la centrale inertielle et le défaut d'échelle du miroir oscillant.

A partir des recouvrements interbande et des bandes transversales, nous calculons les valeurs de « misalignement » de la centrale inertielle. Ces valeurs correspondent aux angles entre la définition du système de la centrale inertielle et le système de référence du Lidar.



Ces valeurs sont calculées pour le projet entier Ensuite chaque bande est ajustée de proche en proche par un delta Z.

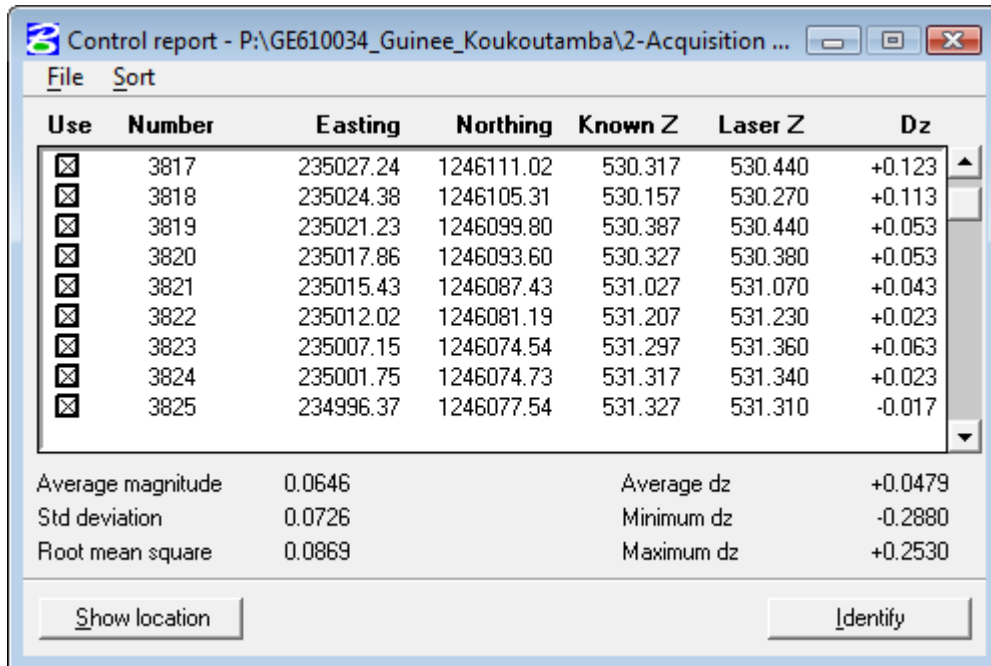
<b>NOM PROJET</b> Koukoutamba	<b>Post traitement</b> Ajustement par session de vol	<b>N°TACHE : 0303</b>
<b>Calcul du HRPM</b>		
Fichier utilisé pour le calcul du HRPM	Les corrections ont été calculées sur la croix de calibration.	
Valeurs obtenues	Correction HRP utilisée Roll : -0.24094296 ° Pitch : -0.08588943 ° Yaw : -0.25493363°	

Les données altimétriques Lidar ont ensuite été ajustées sur le Géoïde EGM08.



### C.2.1.5. Contrôle sur les points d'appui

Le tableau ci-dessous présente les résidus de calage mesuré sur les 227 points mesuré lors de la mission topo.



Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	3817	235027.24	1246111.02	530.317	530.440	+0.123
<input checked="" type="checkbox"/>	3818	235024.38	1246105.31	530.157	530.270	+0.113
<input checked="" type="checkbox"/>	3819	235021.23	1246099.80	530.387	530.440	+0.053
<input checked="" type="checkbox"/>	3820	235017.86	1246093.60	530.327	530.380	+0.053
<input checked="" type="checkbox"/>	3821	235015.43	1246087.43	531.027	531.070	+0.043
<input checked="" type="checkbox"/>	3822	235012.02	1246081.19	531.207	531.230	+0.023
<input checked="" type="checkbox"/>	3823	235007.15	1246074.54	531.297	531.360	+0.063
<input checked="" type="checkbox"/>	3824	235001.75	1246074.73	531.317	531.340	+0.023
<input checked="" type="checkbox"/>	3825	234996.37	1246077.54	531.327	531.310	-0.017

Average magnitude	0.0646	Average dz	+0.0479
Std deviation	0.0726	Minimum dz	-0.2880
Root mean square	0.0869	Maximum dz	+0.2530

## C2.3. TRAITEMENT DU SEMIS LIDAR

A l'issue de processus du calage du semis, nous procédons à la classification des données. Cette phase se décompose en 2 étapes.

La première consiste à classer automatiquement le semis de point à l'aide des utilitaires de TerraScan. Puis, dans un second temps, le semis est repris manuellement.

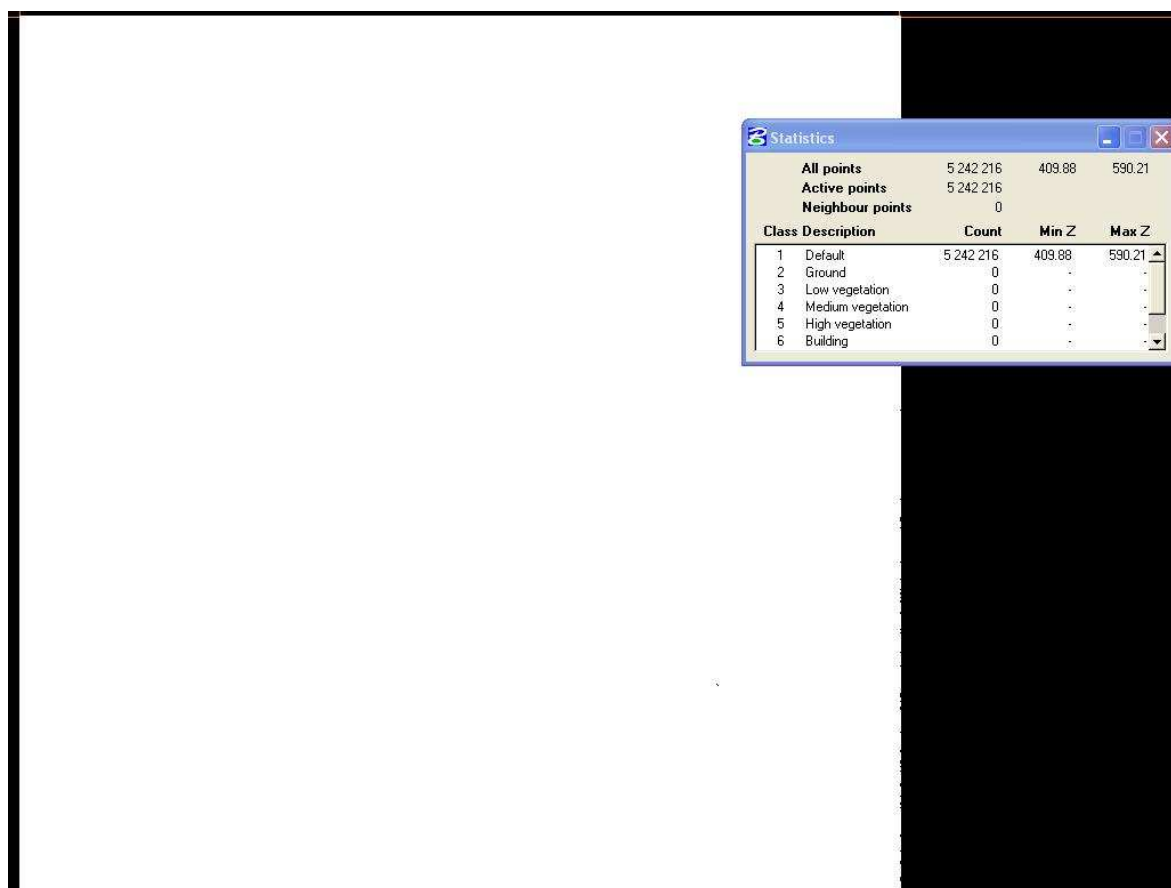
### C.3.1. La classification automatisée

Le logiciel TerraScan utilise une table de classification. Nous avons modifié cette table pour qu'elle réponde à la plupart des besoins en matière de classification.

Dans le cas du projet sur la cote viticole, seule les classes défaut (0-1), sol(2) et point bas (7) sont utilisées.

Les autres classes sont des classes temporaires.

Avant le début de la classification, tous les points sont classés en défaut.



Exemple d'une dalle avant classification

Nous créons une macro qui permet de réaliser plusieurs traitements sur l'ensemble des dalles Lidar décrite ci-après :

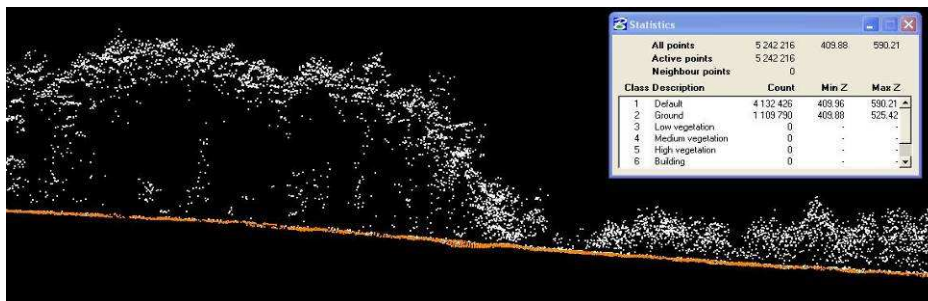
Etapes	Description
<i>Ces deux étapes permettent de s'assurer que tous les points sont dans la classe 0.</i>	
FnScanClassifyClass(1,0,0)	Tous les points de la classe 1 sont classé en 0
FnScanClassifyClass(2,0,0)	Tous les points de la classe 2 sont classé en 0
<i>Ces deux étapes permettent d'isoler les derniers échos où se trouvent les points sol, bâtis et quelques points de la végétation (canopée et végétation basse).</i>	
FnScanClassifyEcho(0,1,0,0)	Les échos uniques sont placés dans la classe 1
FnScanClassifyEcho(0,1,3,0)	Les derniers échos sont placés dans la classe 1
<i>Les trois étapes suivantes permettent d'isoler les points bas aberrants qui ne font pas partie du sol.</i>	
FnScanClassifyLow(1,7,6,0.50,5.00,0)	Des groupes de maximum 6 points sont en classés en points bas si dans un rayon de 5m, ils sont 50 cm plus bas que les autres.
FnScanClassifyLow(1,7,10,0.50,5.00,0)	Des groupes de maximum 10 points sont en classés en points bas si dans un rayon de 5m, ils sont 50 cm plus bas que les autres.
FnScanClassifyLow(1,7,1,0.50,3.00,0)	Des points uniques sont en classés en points bas si dans un rayon de 3m, ils sont 50 cm plus bas que les autres.
<i>Les étapes suivantes différencient le sol du sursol</i>	
FnScanClassifyGround(1,2,1,60.0,75.00,6.00,1.40,-1,5.0,0,2.0,0)	Les points de la classe 1 sont classés en sol (2). La macro sol crée un maillage carré de 60m où seuls les points le plus bas de chaque carré sont conservés. Puis à partir de ce maillage et de proche en proche, les points sont ajoutés au sol en prenant en compte un angle général de pente d'environ 75° et une hauteur de 1.4m. Cette triangulation s'arrête quand le coté d'un des triangles est de 2m.
FnScanClassifyHgtGrd(2,100.0,1,3,0.50,5.00,0)	A partir de ce premier MNT, les points situés dans la classe 1 sont classés dans la classe 3 s'ils sont situés entre 0.5 et 5m au dessus du sol.
FnScanClassifyGround(1,2,0,60.0,65.00,8.00,1.50,-1,3.0,0,2.0,0)	La macro de sol est relancée deux fois afin d'affiner le MNT
FnScanClassifyGround(1,2,0,60.0,88.00,10.00,1.50,-1,3.0,0,2.0,0)	
<i>Les étapes suivantes font le ménage dans les données</i>	
FnScanClassifyClass(3,1,0)	Les points de la classe 3 sont mis dans la classe 1
FnScanClassifyClass(0,1,0)	Les points de la classe 0 sont mis dans la classe 1

Cette classification automatisée permet d'obtenir le terrain nu de près de 80% du modèle de terrain.

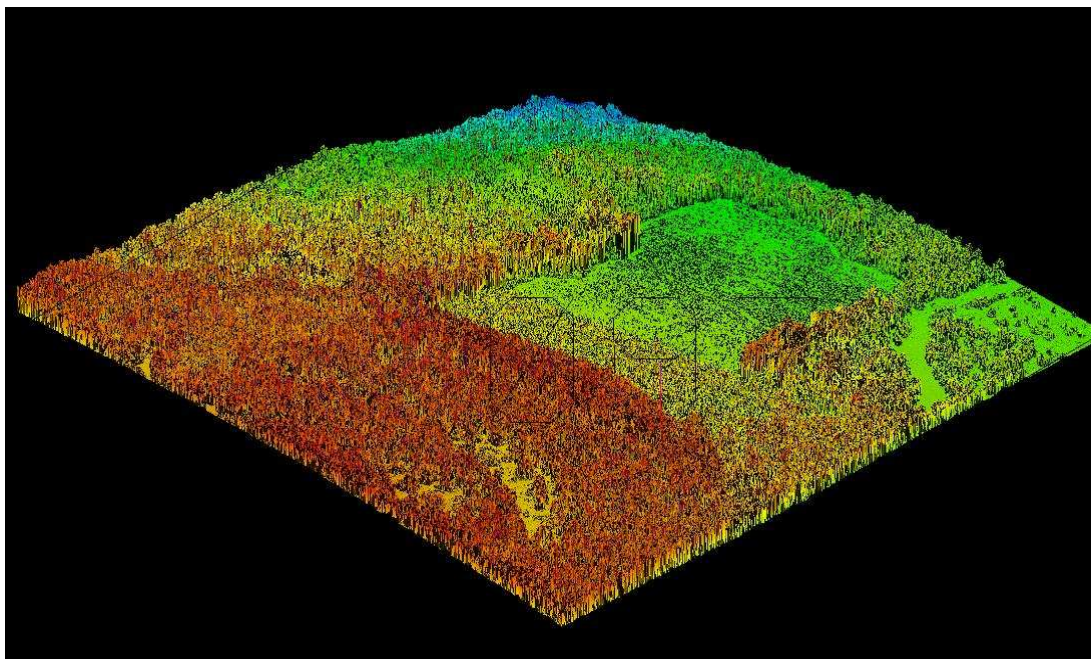
Ci-dessous des exemples du résultat de la macro



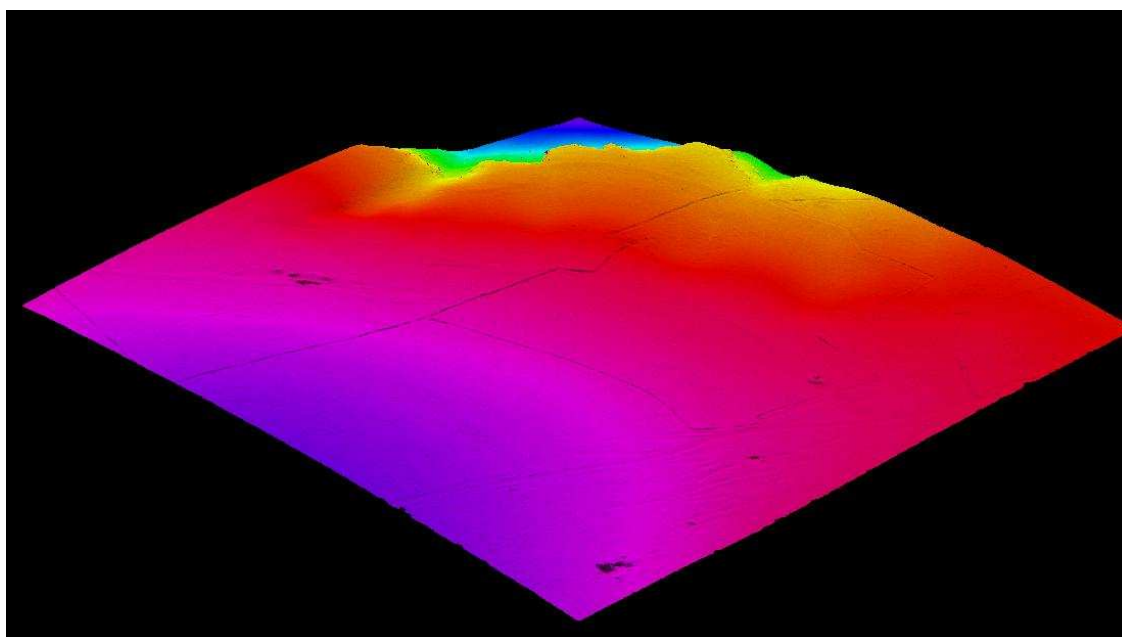
Dalle après classification



Vue de profil



Modèle numérique de surface (avant classification : données brutes)



Modèle numérique d'élévation (après classification)

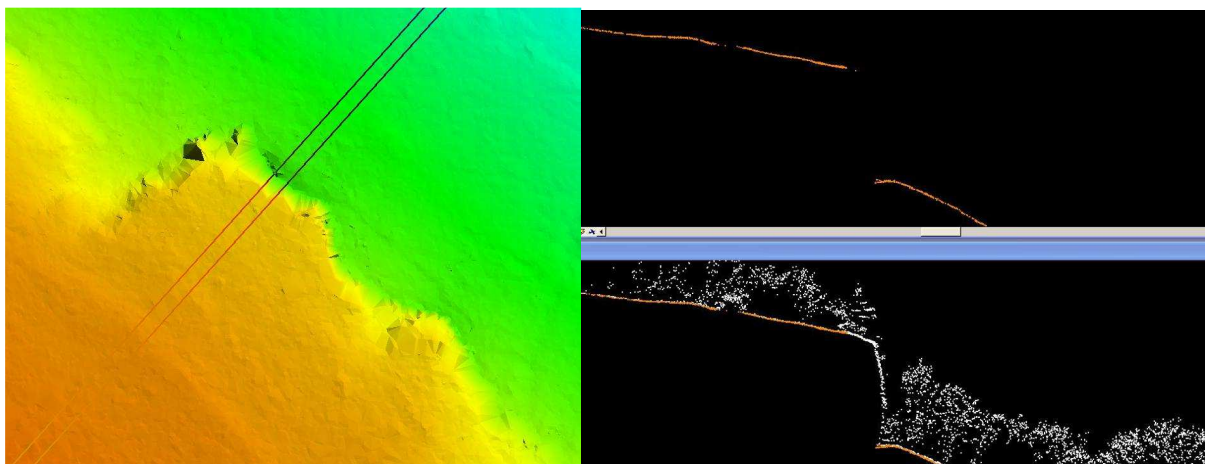


### **C.3.2. La classification manuelle**

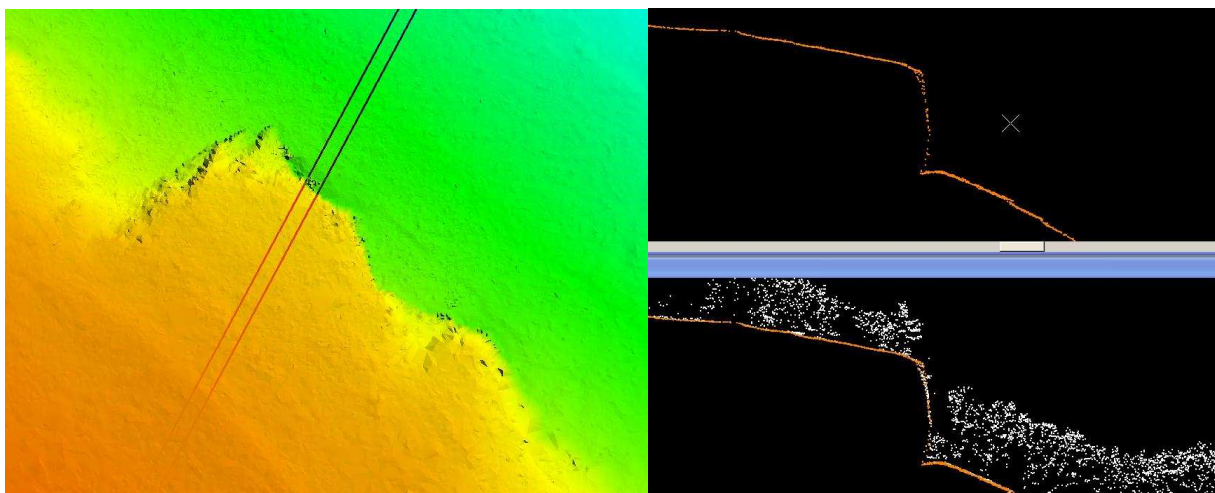
Une fois la classification automatisée effectuée sur l'ensemble de la zone du projet, les éléments suivants sont contrôlés manuellement

- Sol manquant aux ruptures de pente
- Correction des nuages points erronés.
- Elimination de la végétation.
- Classification des talus/obstacles

#### **Sol manquant aux ruptures de pente**

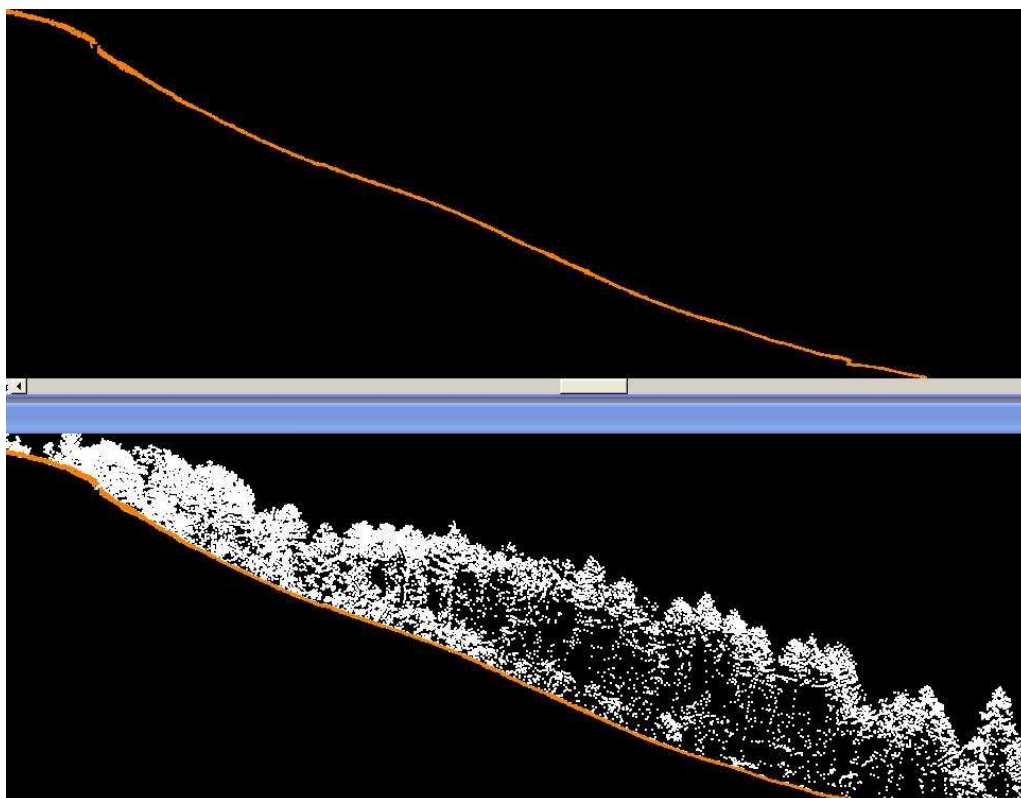
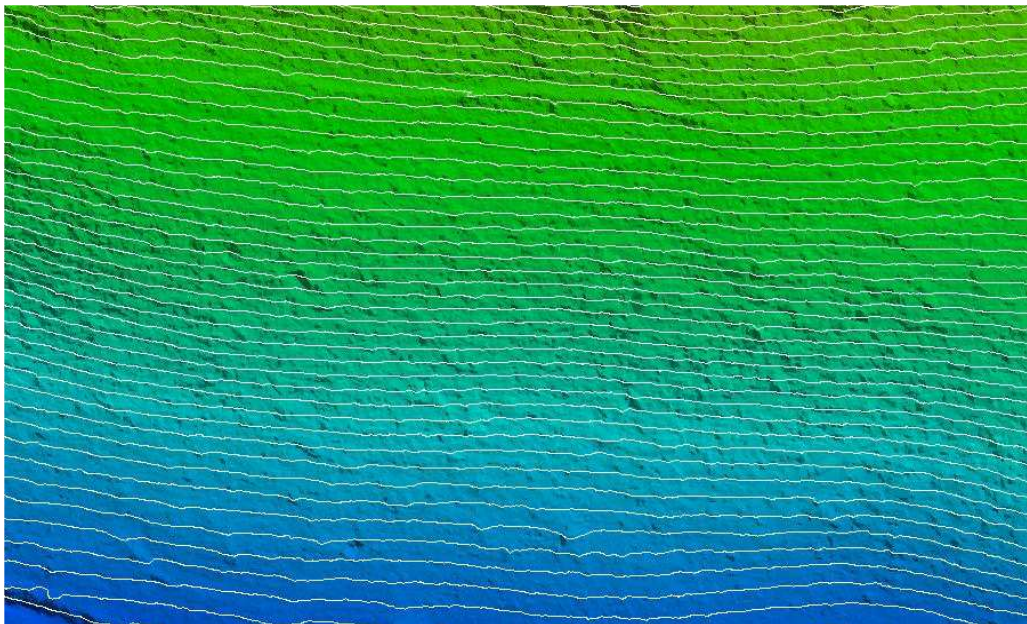


*Rupture de pente manquante : Avant édition manuelle*



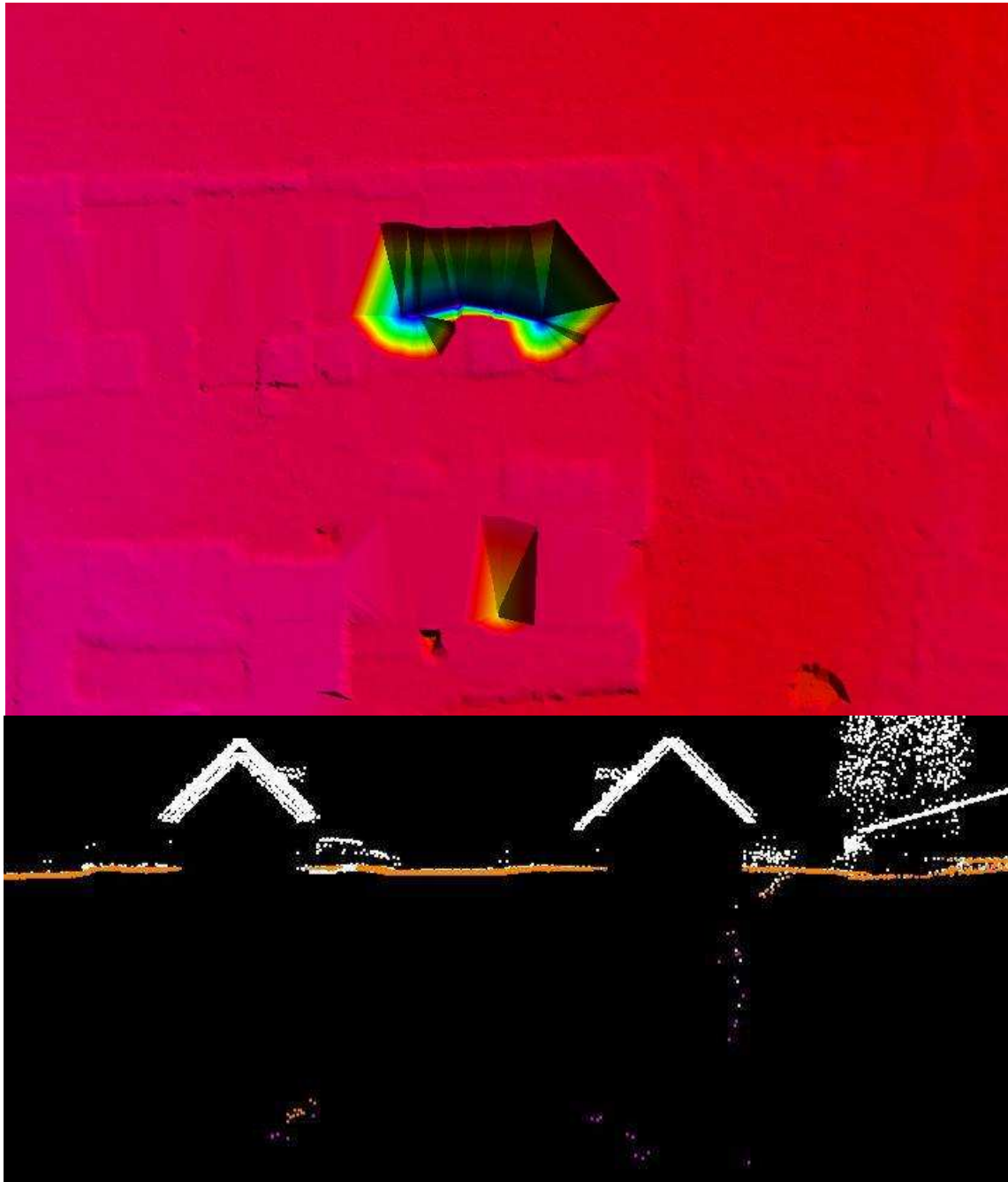
*Rupture de pente manquante : Après édition manuelle*

En milieu forestier, nous traçons les courbes de niveau. Elles permettent une vision plus réaliste du terrain et une meilleure appréhension des mouvements de terrain.



*Exemple de classification en milieu forestier*

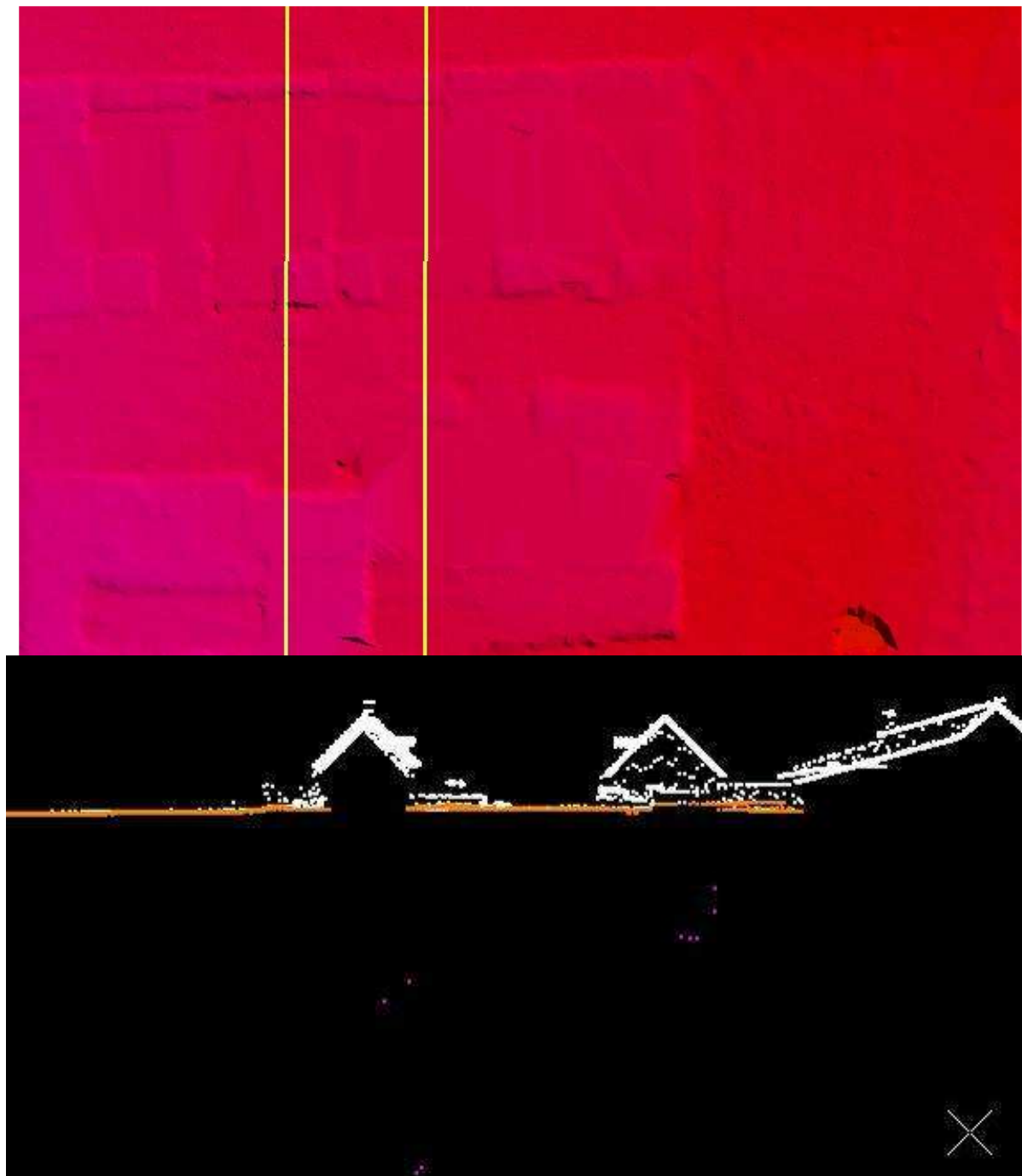
Correction des nuages points erronés



*Elimination des points bas – Avant édition*

Ces points sont généralement des multitrajets. Le rayon laser a été réfléchi par une ou plusieurs surfaces (eau, verrières...) avant de revenir à l'avion. Ceci a pour conséquence d'allonger artificiellement la distance. Les points semblent donc plus bas que le sol. Ces points résiduels n'ont pas pu être enlevés par la macro de base qui cible les points aberrants. Ils sont enlevés manuellement

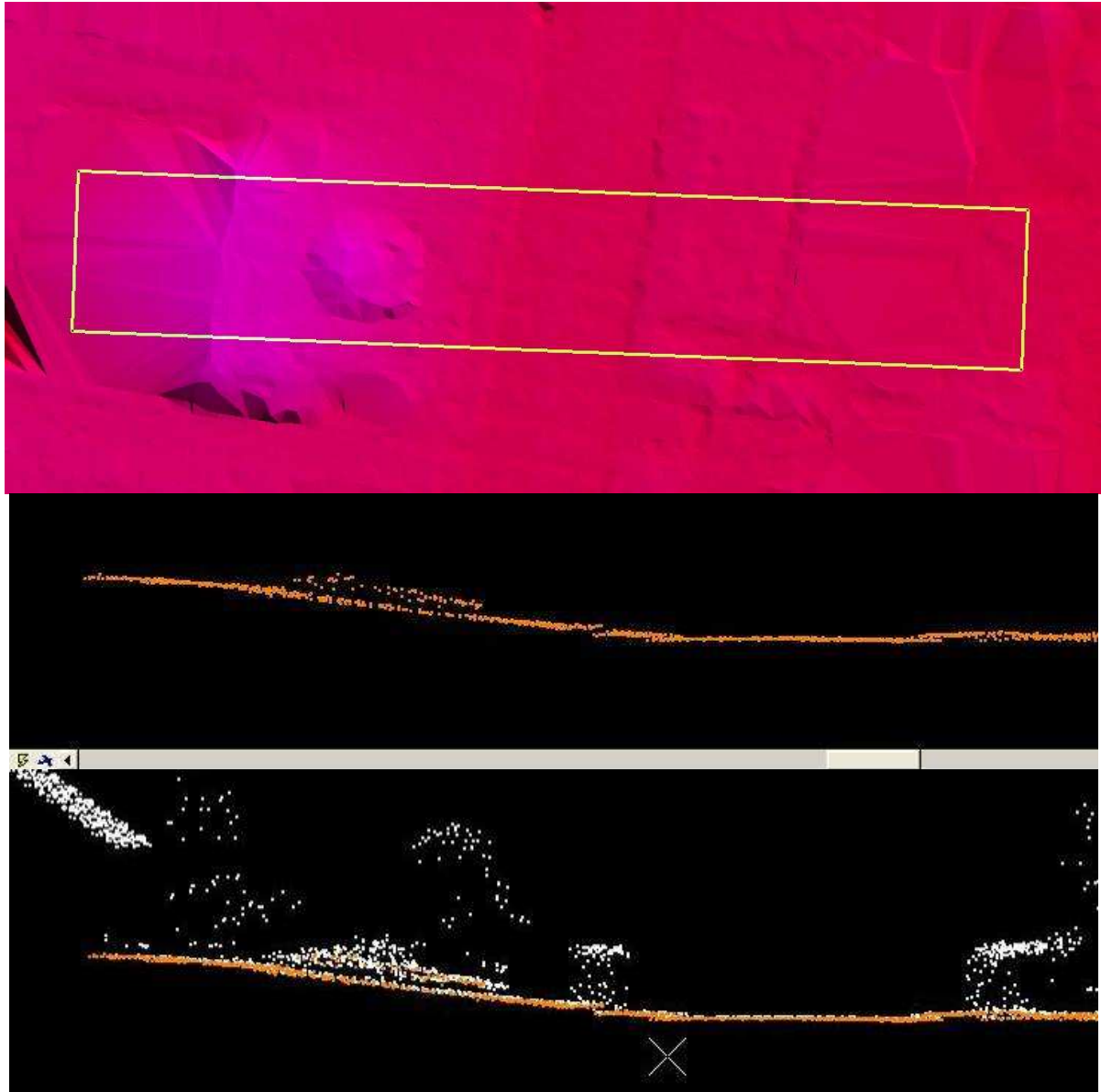




*Elimination des points bas –Après édition*

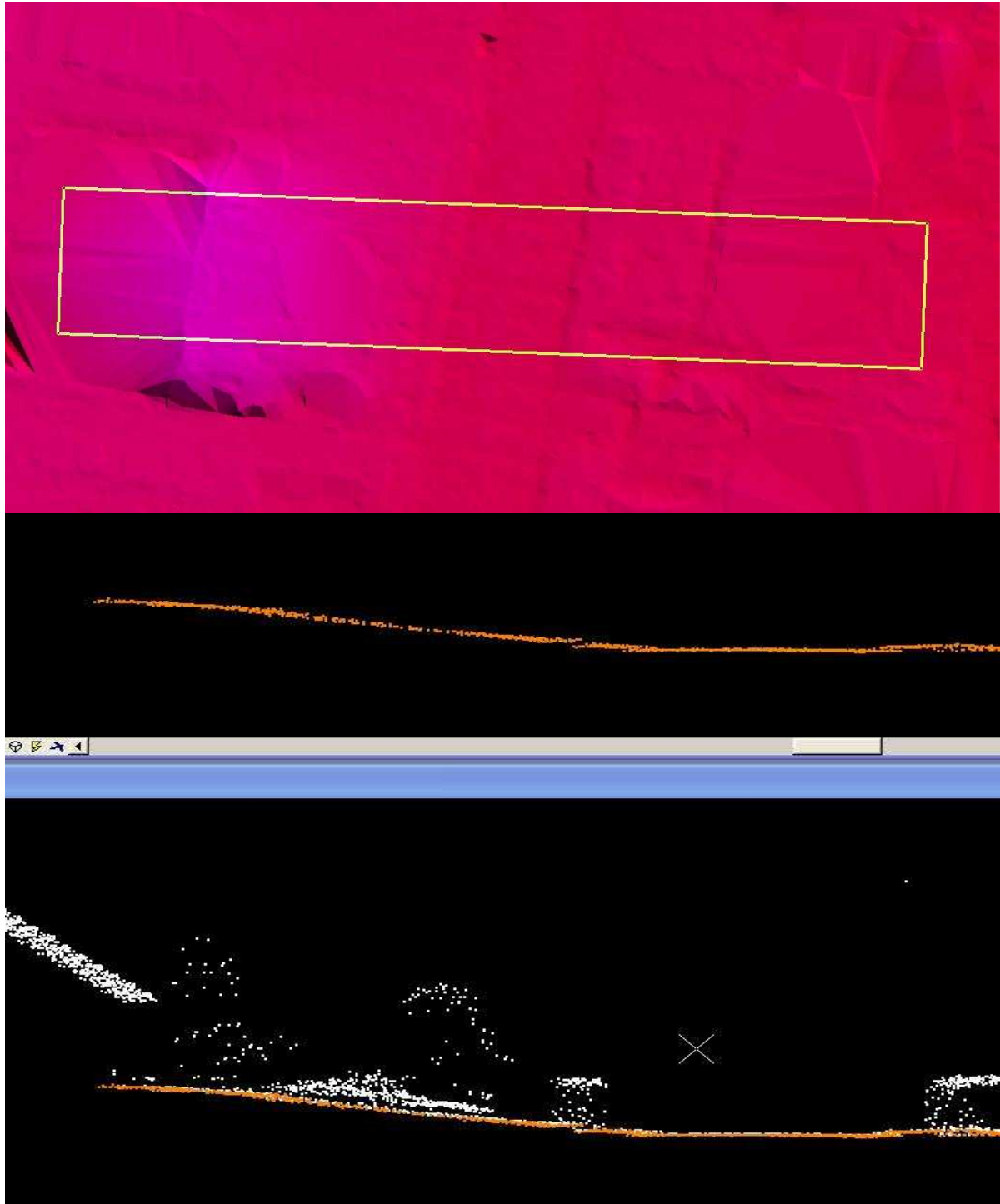
Les points bas ont été enlevés de la classe « sol ».

Elimination de la végétation/bruit du sol:



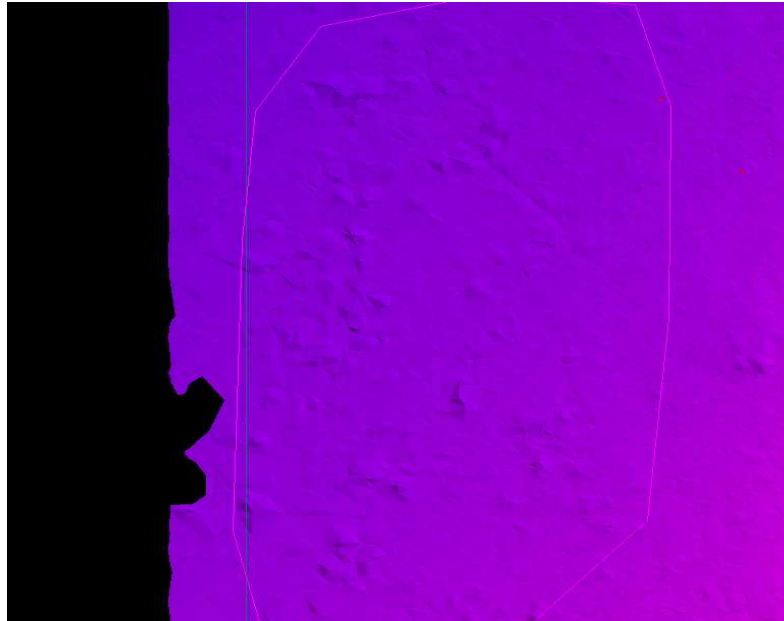
*Elimination de la basse végétation – Avant édition*

Parfois, la classification automatisée inclut les points de végétation, en raison de la structure du terrain. Ces points concernent généralement les broussailles, herbes denses...

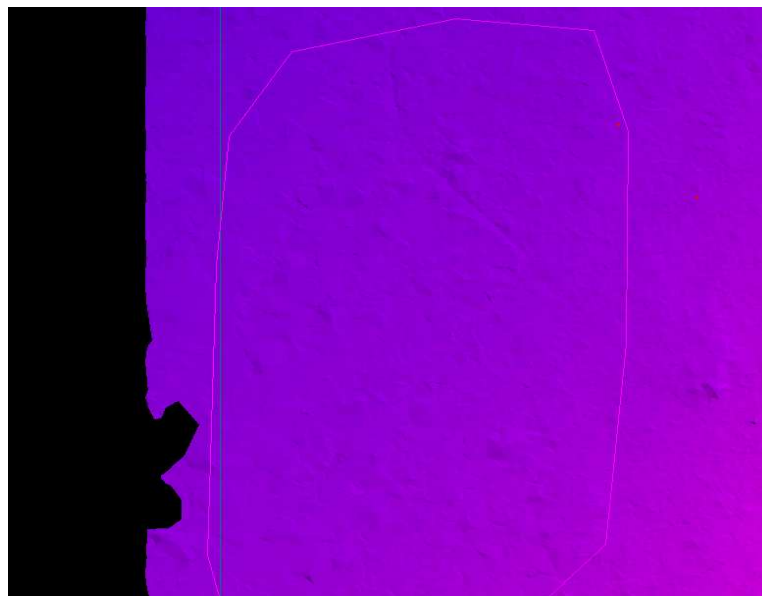


*Elimination de la basse végétation – Après édition*

Dans cet exemple, les points ont été édités manuellement.



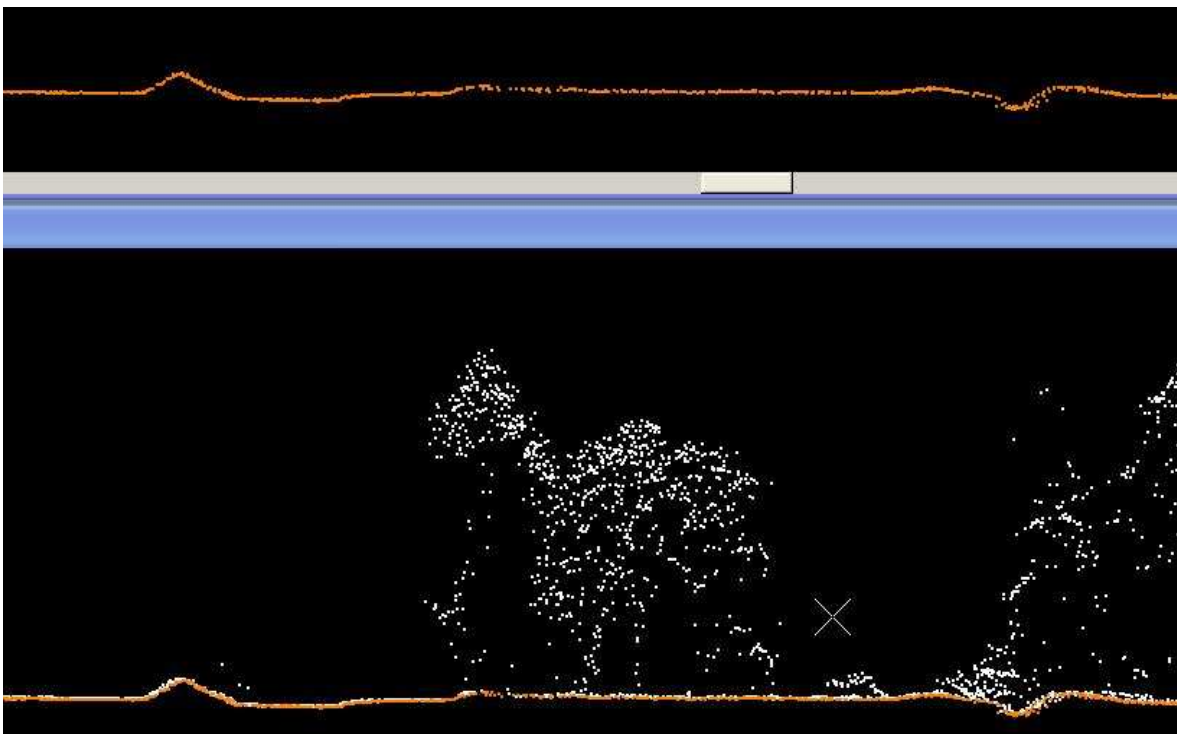
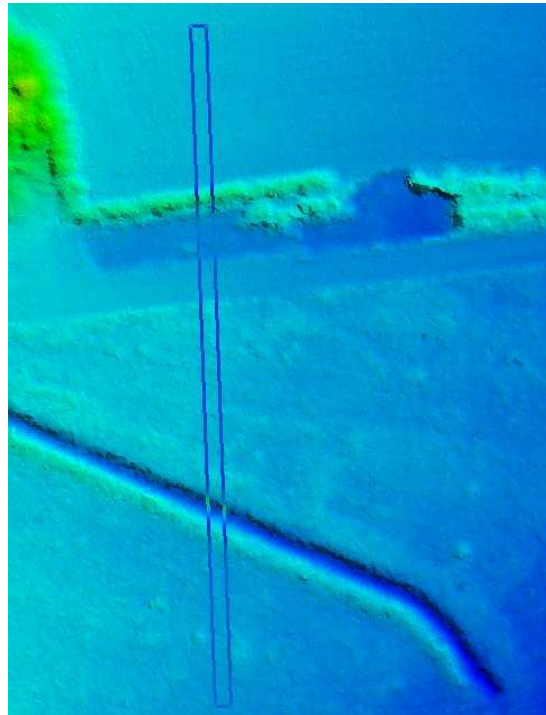
Elimination de la basse végétation – Avant édition



Elimination de la basse végétation – Après édition

Une autre façon d'enlever le bruit dû à la végétation est de passer un filtre sur une zone définie par le technicien. Ce filtre crée une surface suivant une tolérance de Z et déclassé les points sol qui ne correspondent pas à la surface.

Classification des talus/obstacles



Exemple de classification des talus





*Vision des talus avec des courbes*

Le contrôle sur la base des courbes de niveau permet de classifier les talus correctement. Cela permet une bonne vision des du sens d'écoulement des eaux et des talus.

## **C2.4. Création des produits**

<b>NOM PROJET Koukoutamba</b>	<b>Création des produits</b>	<b>N°TACHE : 0601</b>
<b>Grille Raster</b>		
Format de la grille	Arc Info Grid / Ascii xyz	
Pas de la grille (zone 1/20000)	5 m	
Pas de la grille (zone 1/5000)	2 m	
Pas de la grille (zone 1/500)	0.5 m	
Distance d'interpolation des trous	100 m : on ne veut pas de trous sur le MNT, les bâtiments et les rivières sont comblés.	
<b>Semis de Points Sol Allégés</b>		
Format des fichiers	Ascii xyz, séparateur espace	
Découpage	Par dalle kilométrique	
Tolérance de DZ	25 cm	
Pas minimum du semis	25 m	
<b>Courbes de Niveau</b>		
Semis de points de base	Semis allégé	
Equidistance des courbes normales	1 m	
Equidistance des courbes maîtresses	10 m	
Equidistance des courbes intercalaires	0.50m	
Format des courbes	DWG	
Découpage des courbes	Géographique, le moins de fichier possible	
<b>Semis de Points Sol</b>		
Format des fichiers	Ascii xyz, séparateur espace	
Découpage	Par dalle kilométrique	

## SOMMAIRE DU CHAPITRE C3

### GEOLOGIE

<b>C3.1</b>	<b>SONDAGES CAMPAGNE TRACTEBEL ENGINEERING 2011/2012</b>	<b>1</b>
<b>C3.1.1</b>	<b>Stratigraphies</b>	<b>1</b>
C3.1.1.1	Sondage S1 – 40m (Rive droite) – El. 547m	1
C3.1.1.2	Sondage S2 – 40,5m (Rive droite) – El. 524m	4
C3.1.1.3	Sondage S4 – 4,5m (Rive gauche) – El. 468m	7
C3.1.1.4	Sondage S5 – 30m (Rive gauche) – El. 496m	9
C3.1.1.5	Sondage S6 – 40m (Rive gauche) – El.521m	13
C3.1.1.6	Sondage S7 – 40m (Rive gauche) – El. 535m	16
C3.1.1.7	Sondage S8 – 25m (Rive droite – Zone de carrière de dolérites)	20
<b>C3.1.2</b>	<b>Stratigraphies puits zones d’emprunts</b>	<b>23</b>



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

## CHAPITRE C3 GEOLOGIE

### C3.1 SONDAGES CAMPAGNE TRACTEBEL ENGINEERING 2011/2012

#### C3.1.1 Stratigraphies

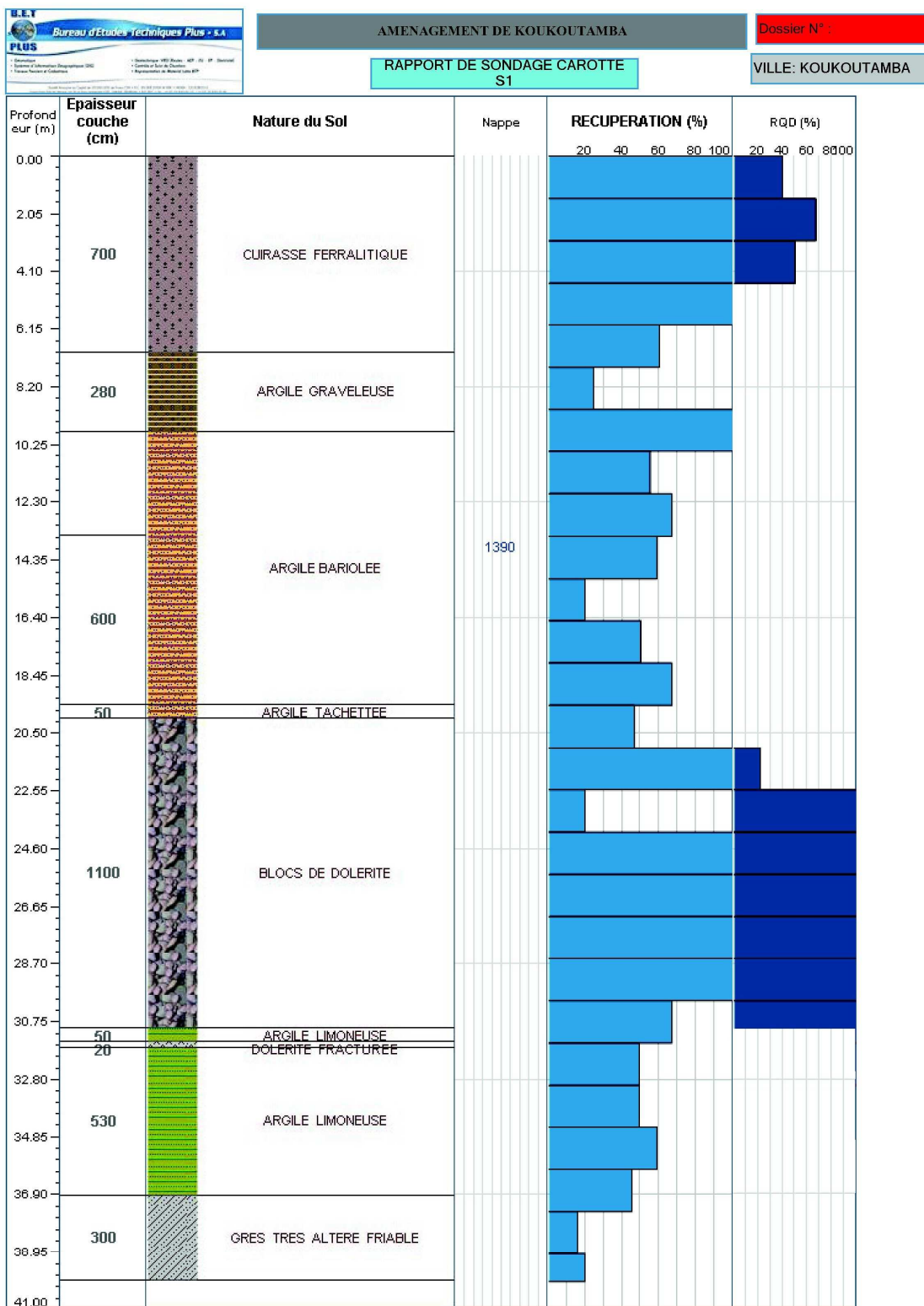
##### C3.1.1.1 Sondage S1 – 40m (Rive droite) – El. 547m

Date de démarrage : 5/2/2012 (suspendu le 7/2/2012, repris le 22/02/2012) ; le 7/2/2012, à 24m, suite au coincage du carottier, le sondage est suspendu ; il a été recommencé le 22/02/2012 et complété le 6 mars 2012.

- 0 – 7,00m : cuirasse latéritique ferrallitique très dure, vacuolaire par endroit ; ématitique et avec taches jaunâtres ;
- 7,00 – 9,80m : argile graveleuse latéritique rougeâtre marron (récupération environ 5%) ; argile tachetée rougeâtre marron avec nodules jaunâtres, plastique ;
- 9,80 – 19,50m : argile latéritique bariolée plastique ;
- 19,50 – 20m : argile sablonneuse tachetée (saprolite) ;
- 20 – 31,00m : dolérite saine très dure (résistance de la roche R5) ;
- 31,00 – 37,00 Argile limoneuse légèrement sableuse (saprolite) ;
- 37,00 – 40,00 grés très altérée verdâtre.

Projet HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



GEOVISION - APAGEO

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



Sondage S1 - caisse 1 - profondeur de 0 à 4m



Sondage S1 - caisse 2 - profondeur de 4 à 9,5m



Sondage S1 - caisse 3 - profondeur de 9,5 à 16.5m



Sondage S1 - caisse 4 - profondeur de 16.5 à 23m (photo prise lorsque le sondage était à 21m)



Sondage S1 - caisse 5 - profondeur de 23 à 27m



Sondage S1 - caisse 6 - profondeur de 27 à 31,50m

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

	
<p>Sondage S1 - caisse 7 - profondeur de 31,50 à 40,00m</p>	

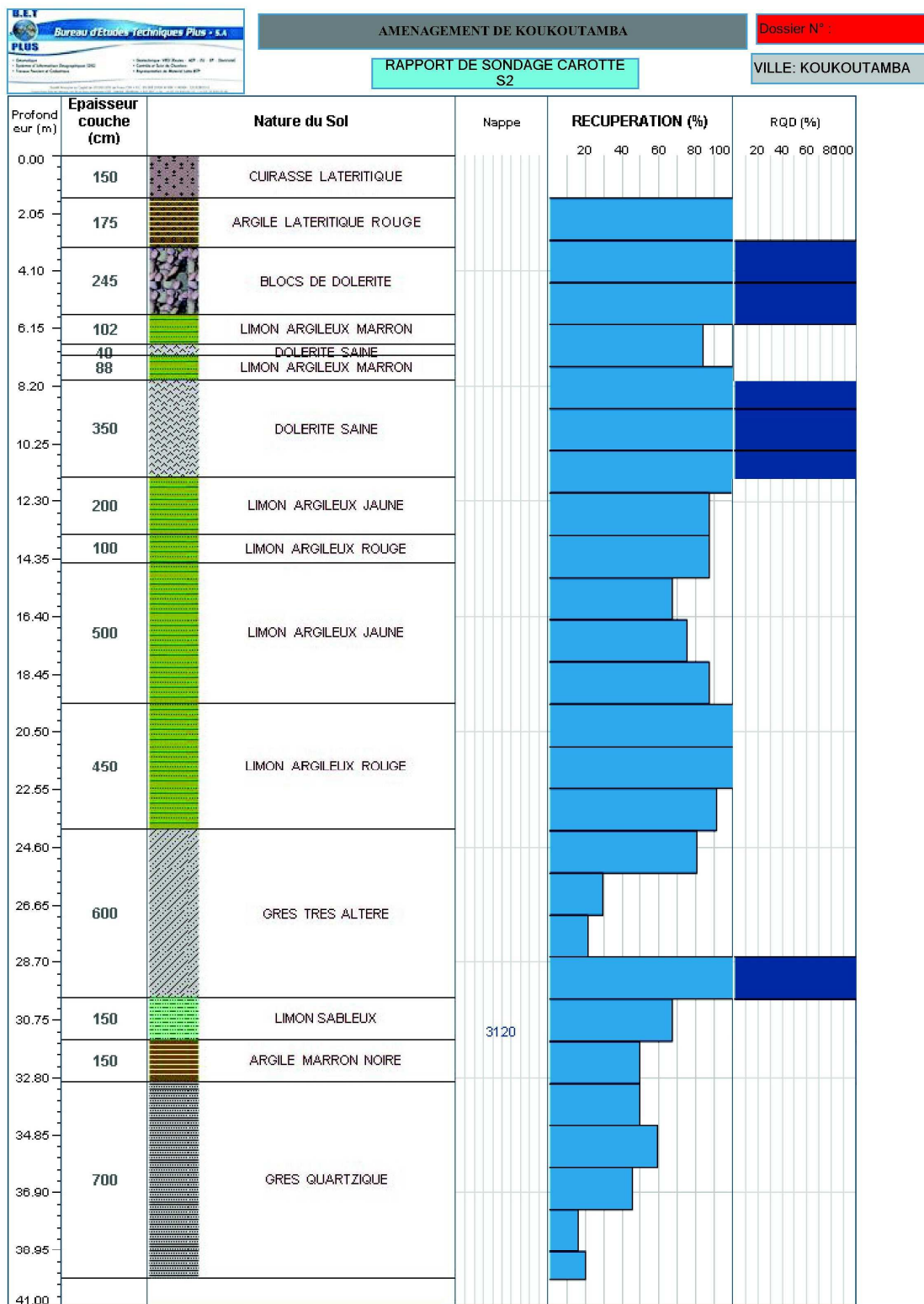
### C3.1.1.2 Sondage S2 – 40,5m (Rive droite) – El. 524m

Date de démarrage : 8/2/2012 ; date de fin : 14/2/2012 ; piézomètre installé.

- 0 – 1,50m : cuirasse latéritique;
- 1,50 – 3,25m : argile latéritique rouge ;
- 3,25-5,70m : dolérite saine ;
- 5,70-6,70m : limon argileux ;
- 6,70 – 7,10m : dolérite saine;
- 7,10 – 8,00m : limon argileux (saprolite) ;
- 8,00 – 11,50m : dolérite saine;
- 11,50 – 24,00m : limon argileux (saprolite) ;
- 24,00 – 30,00m : grès décomposé;
- 30,00 – 31,50m : limon sableux (saprolite) ;
- 31,50 – 34,00m : argile marron noire ;
- 34,00 – 40,50 : grès saine (vacuolaire ; présence de vides ; rognons de grès avec remplissage sableux ; la perforation est menée en perte d'eau)



## Projet HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3- Géologie

GEOVISION - APAGEO

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



Sondage S2 - caisse 1 - profondeur de 0 à 4m



Sondage S2 - caisse 2 - profondeur de 4 à 8,0m



Sondage S2 - caisse 3 - profondeur de 8,0 à 13,0m



Sondage S2 - caisse 4 - profondeur de 13,0 à 18,30m



Sondage S2 - caisse 5 - profondeur de 18,30 à 22,50m



Sondage S2 - caisse 6 - profondeur de 22,50 à 31,50m

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

Sondage S2 - caisse 7 - profondeur de 31,50 à 40,50m

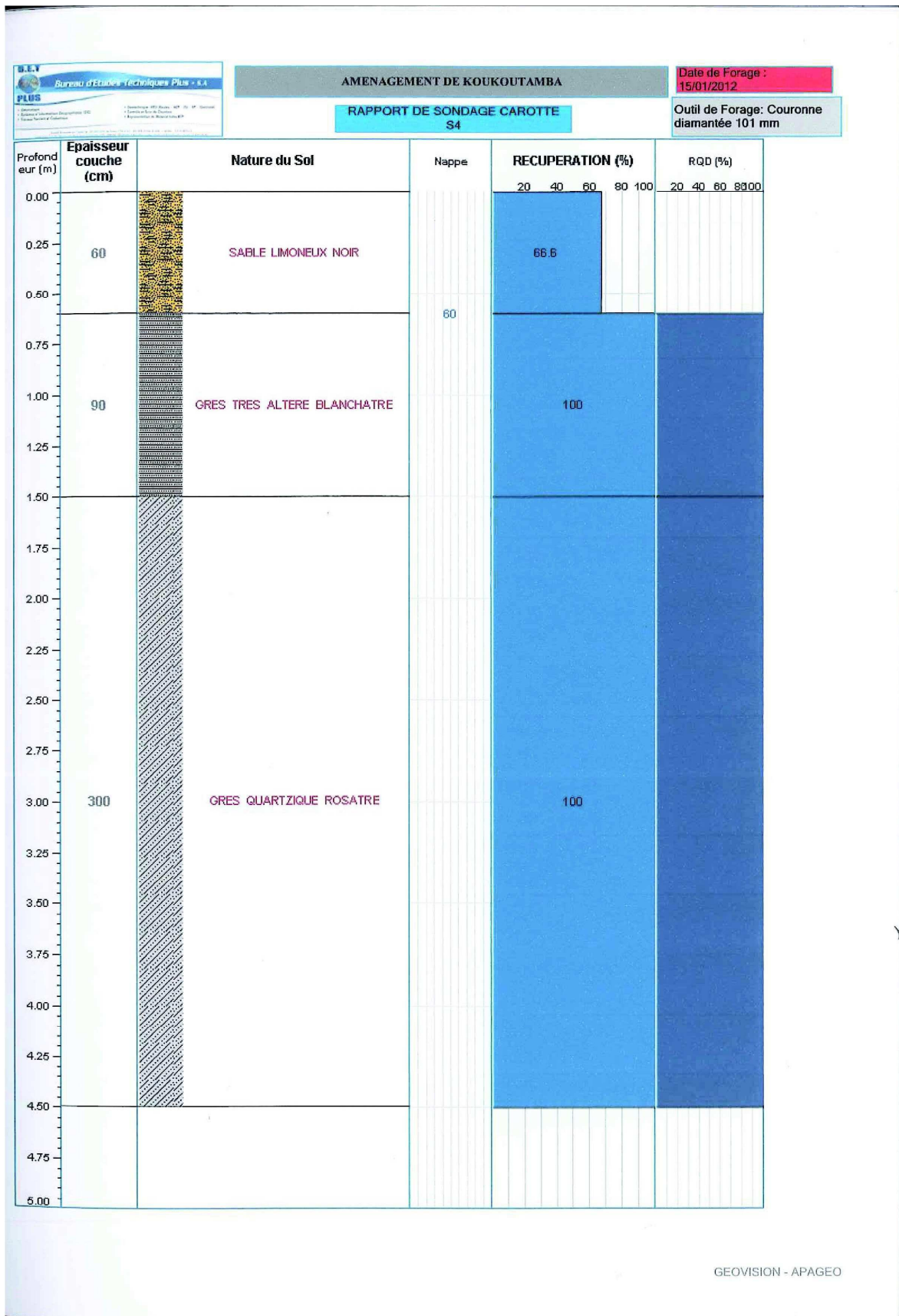
**C3.1.1.3 Sondage S4 – 4,5m (Rive gauche) – El. 468m**

Date de démarrage : 16/1/2012 (suspendu le 22/1/2012 à 4.5 m suite à la difficulté de carotter les grés)

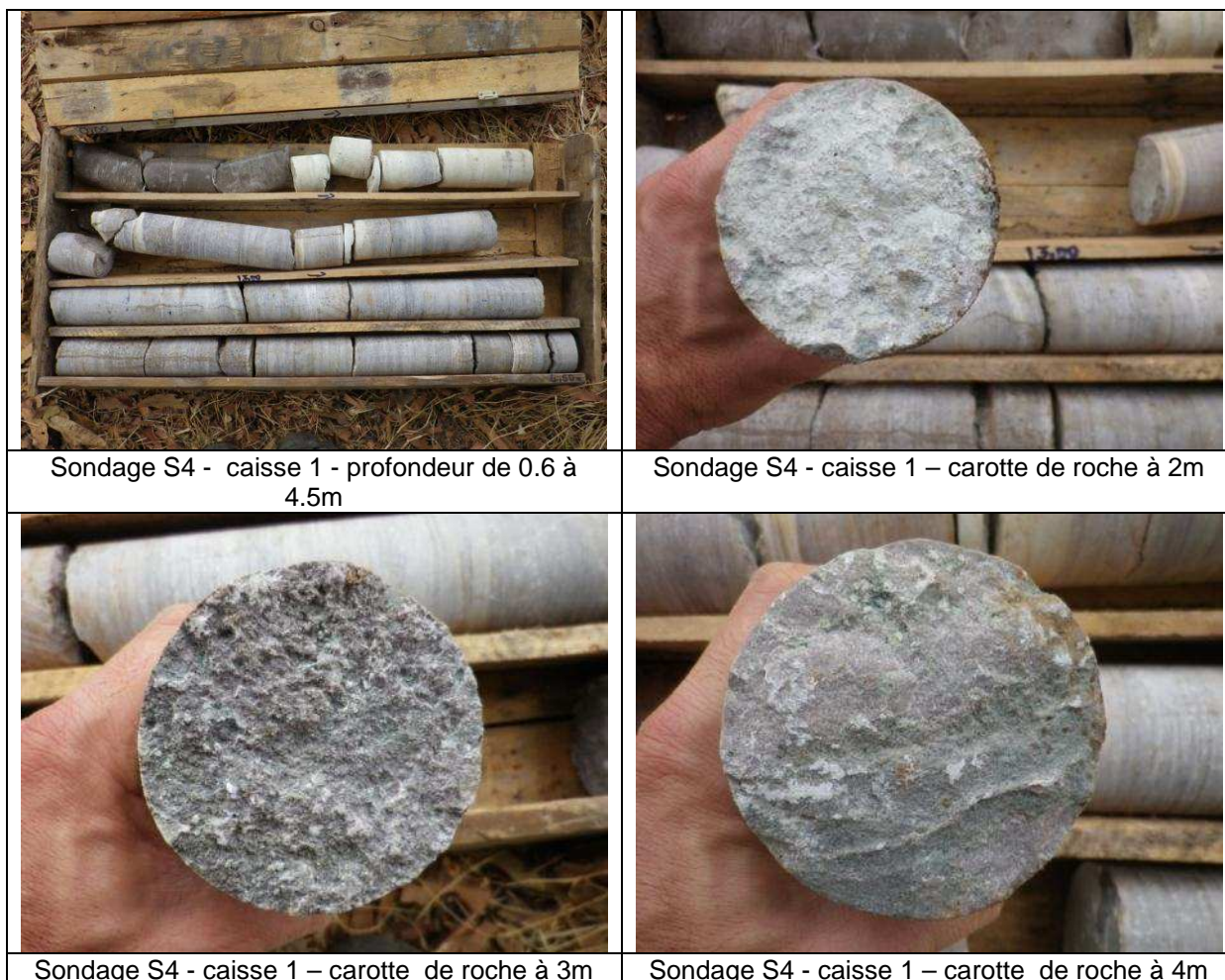
- 0 – 0,60m : sable limoneux noire ;
- 0,60 - 1,50m : grés très altéré;
- 1,50 – 4,50m : grés peu altéré et fracturé.



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3- Géologie



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



#### C3.1.1.4 Sondage S5 – 30m (Rive gauche) – El. 496m

Date de démarrage : 17/12/2011 (suspendu une première fois le 20/12/2011 suite à la perte du carottier; sondage repris le 08/03/2012 avec un nouveau sondage à côté de l'ancien, foré en destructif jusqu'à 28m, suspendu à 29m à cause de la difficulté de carotter les grès quartzeux).

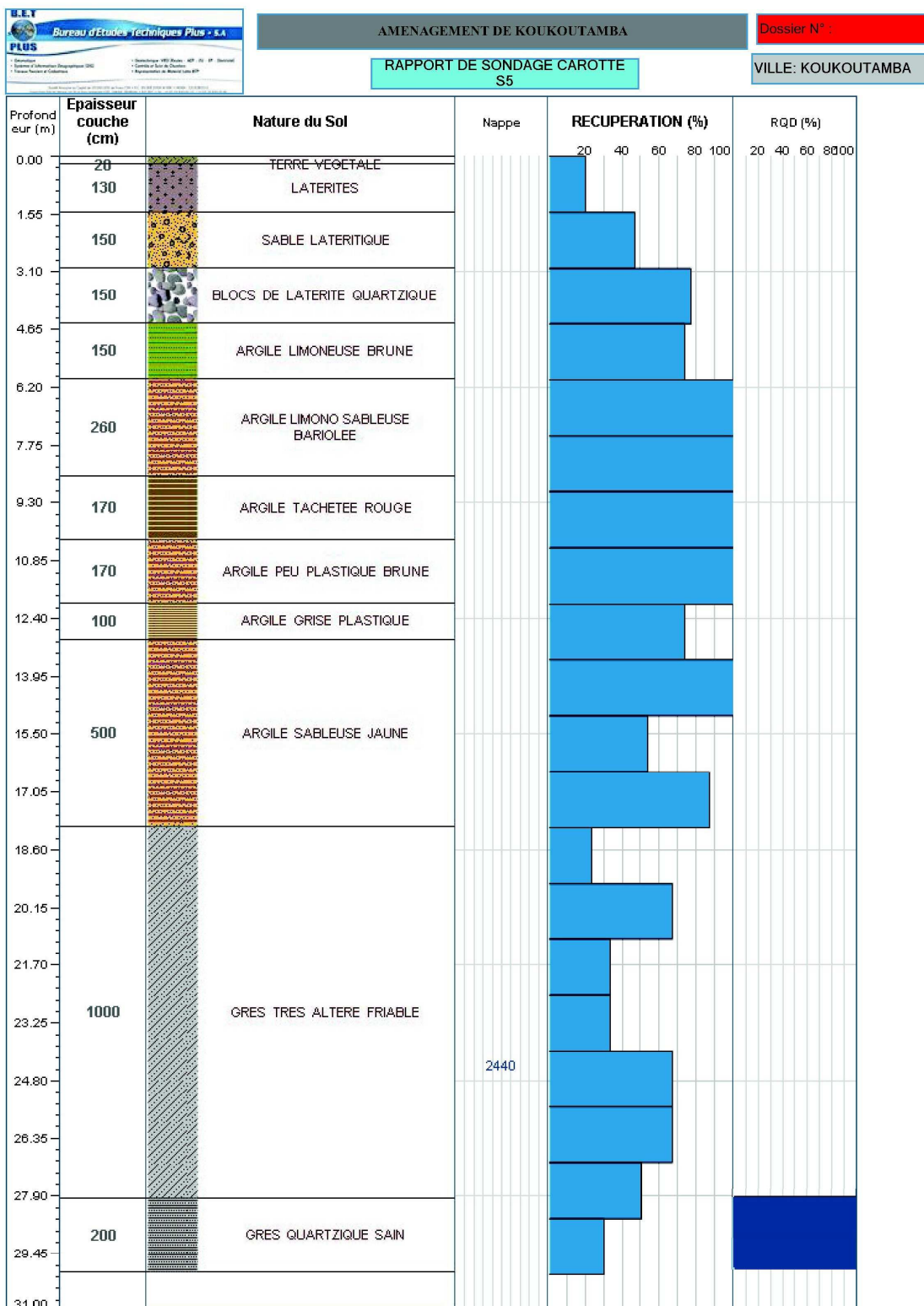
Le 20/12/2011, à 28m, suite à la perte du carottier au fond du forage, le sondage est suspendu une première fois ; un puits jusqu'à la profondeur de 19m a été creusé à côté du sondage pour essayer de récupérer l'outils coincés, mais sans succès ; le sondage a été perforé à nouveau à côté de l'ancienne position (en destructif jusqu'à 28 m et avec un nouveau type de couronne diamantée de 28 à 30m ; à 30m, dans les grès sain, l'avancement est devenu très difficile et le sondage a été suspendu). Piézomètre installé.

- 0 – 1,5m : fragments de cuirasse latéritique, rougeâtre marron;
- 1,5-3,00m : sable latéritique (diamètre des grains max. 1mm), peu des fins ;
- 3,00-4,50m : fragments de cuirasse latéritique, rougeâtre marron ;
- 4,50 – 6,00m : argile latéritique marron rougeâtre ;
- 6,00 – 8,60m : argile bariolée (beige marron) ;
- 8,60 – 10,30m : argile tachetée rougeâtre ;

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

- 10,30 – 12,00m : argile beige rougeâtre peu plastique avec traces de la structure de la roche primaire (saprolite) ;
- 12,00 – 13,00m : argile grise, plastique ;
- 13,00 – 18,00m : argile sablonneuse beige (saprolite) ; structure de la roche originale encore visible mais très altérée, décomposée (injectable) ;
- 18,00 – 28,00m : grès très altéré ; RQD=0-10%, (la carotte se casse avec les mains)
- 28,00 - 30,00 : grès sain

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



GEOVISION - APAGEO



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



Sondage S5 - caisse 1 - profondeur de 0 à 6,50m



Sondage S5 - caisse 2 - profondeur de 6,50 à 10,30m



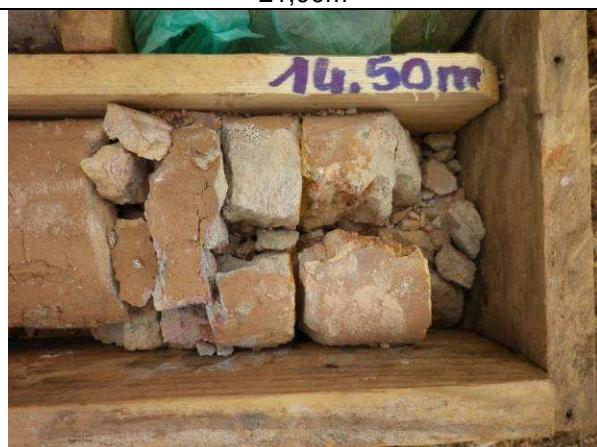
Sondage S5 - caisse 3 - profondeur de 10,30 à 14,50m



Sondage S5 - caisse 4 - profondeur de 14,50 à 21,00m



Sondage S5 - caisse 5 - profondeur de 21,00 à 27,00m



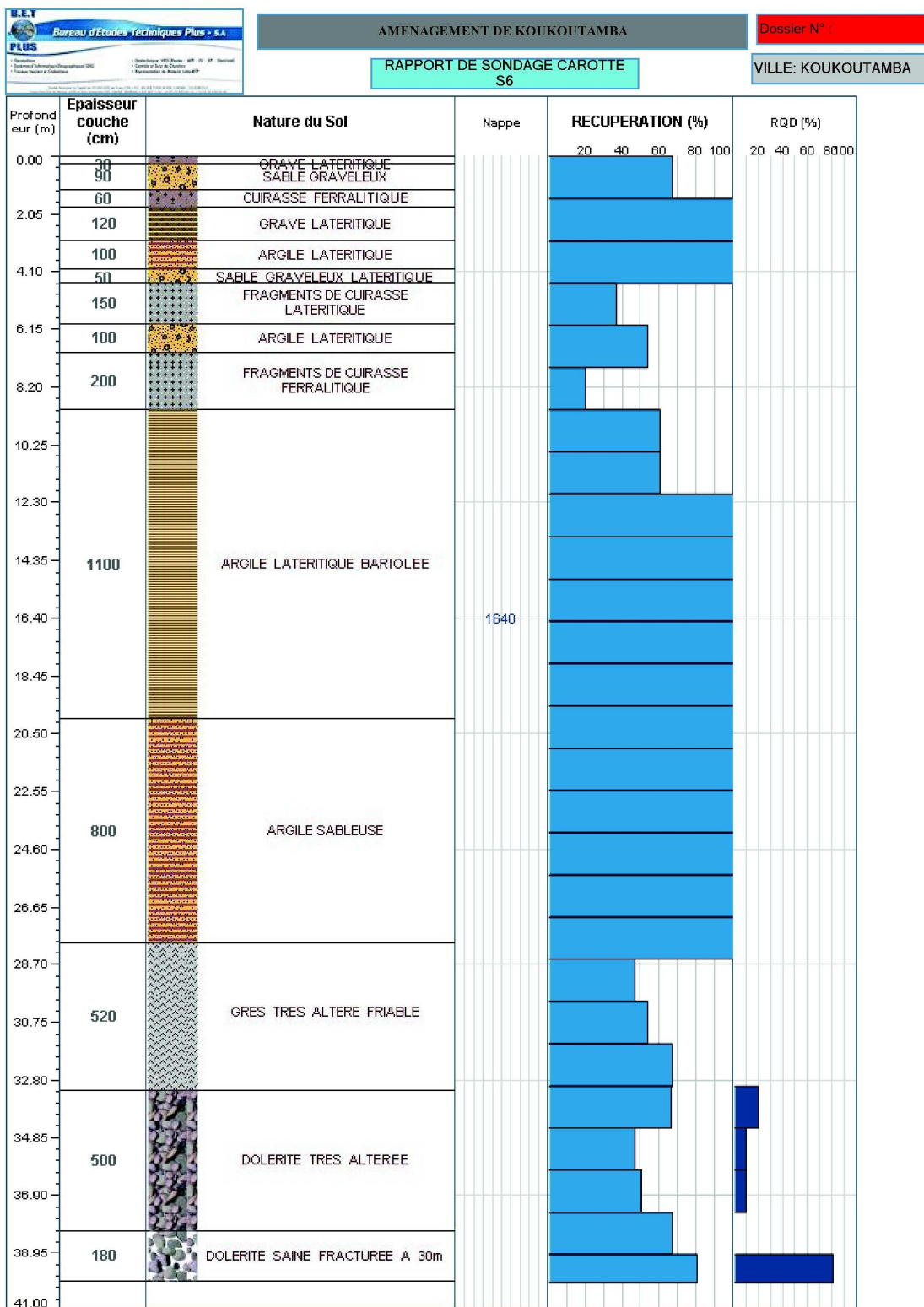
Sondage S5 - caisse 3 – détail des grés altérés à la profondeur de 14,50m

**C3.1.1.5 Sondage S6 – 40m (Rive gauche) – El.521m**

Date de démarrage : 1/1/2012 ; date de fin : 5/1/2012 ; le trou de sondage est obstrué à la profondeur de 16.5m.

- 0 – 0,30m : graveleux latéritique (fragments de cuirasse ferralitique);
- 0,30 – 1,20m : sable graveleuse latéritique ;
- 1,20-1,80m : cuirasse ferralitique (résistance de la roche R1) ;
- 1,80 – 3,00 m : graveleux latéritique (diamètre des grains max. 2cm) avec fragments de cuirasse latéritique ferralitique (diamètre des grains max. 5-6cm) ;
- 3,00 – 4,00m : argile latéritique ;
- 4,00 – 4,50m : sable + graveleux latéritique + fragments ématitiques ;
- 4,50 – 6,00m : fragments de cuirasse ferralitique (très peu des fins) ;
- 6,00 – 7,00m : argile latéritique + fragments de cuirasse ferralitique ;
- 7,00 – 9,00m : fragments de cuirasse ferralitique ;
- 9,00 – 20,00m : argile latéritique bariolée avec nodules ématitiques ;
- 20,00 – 28,00m : argile tachetée (saprolite, restes de la structure originale de la roche) + argile sablonneuse ;
- 28,00 – 33,20m : dolérite décomposée, altération de la roche W5, résistance de la roche R0 (morceaux de carotte de longueur maximale 10cm ; ils se brisent avec les mains) ;
- 33,20 – 38,20m : dolérite très altérée (résistance de la roche R2 → R3) ;
- 38,20 – 40m : dolérite saine, résistance de la roche R5, altération de la roche W1, (altération le long les joints, RQD=70%).

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



GEOVISION - APAGEO



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



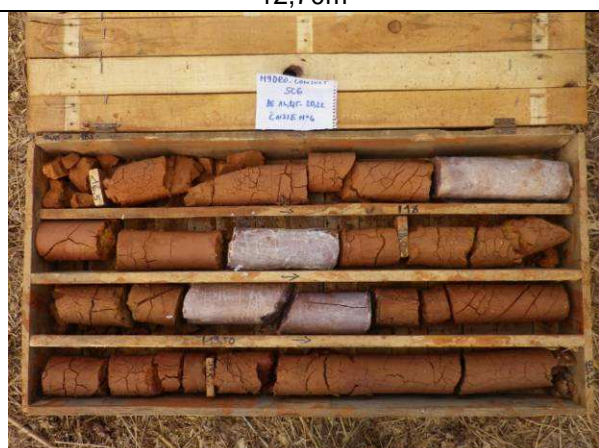
Sondage S6 - caisse 1 - profondeur de 0 à 4,50m



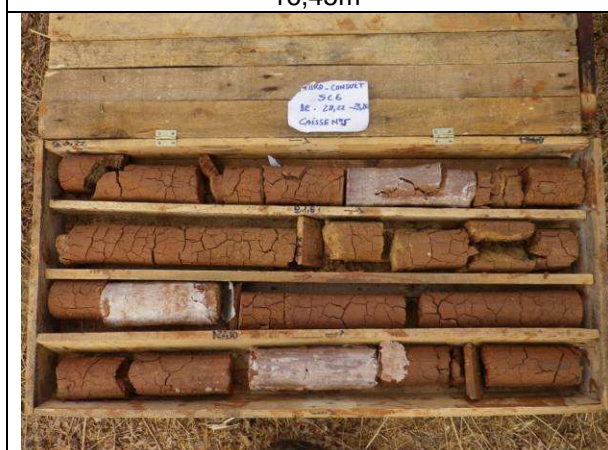
Sondage S6 - caisse 2 - profondeur de 4,50 à 12,70m



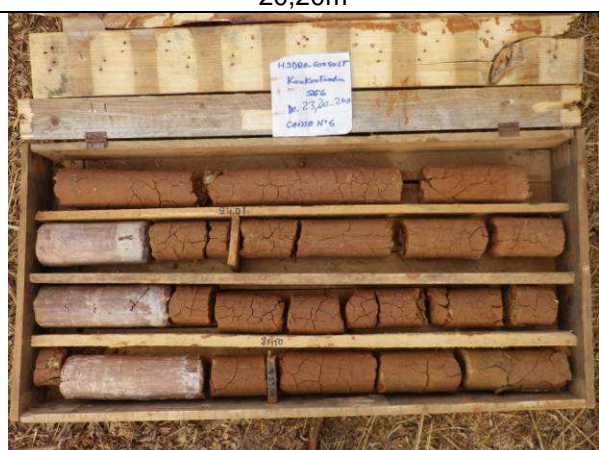
Sondage S6 - caisse 3 - profondeur de 12,70 à 16,45m



Sondage S6 - caisse 4 - profondeur de 16,45 à 20,20m




Sondage S6 - caisse 5 - profondeur de 20,20 à 23,20m



Sondage S6 - caisse 6 - profondeur de 23,20 à 26,00m



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

	
<p>Sondage S6 - caisse 7 - profondeur de 26,00 à 28,50m</p>	<p>Sondage S6 - caisse 8 - profondeur de 28,50 à 36,00m</p>
	
<p>Sondage S6 - caisse 9 - profondeur de 36,00 à 40,00m</p>	

### C3.1.1.6 Sondage S7 – 40m (Rive gauche) – El. 535m

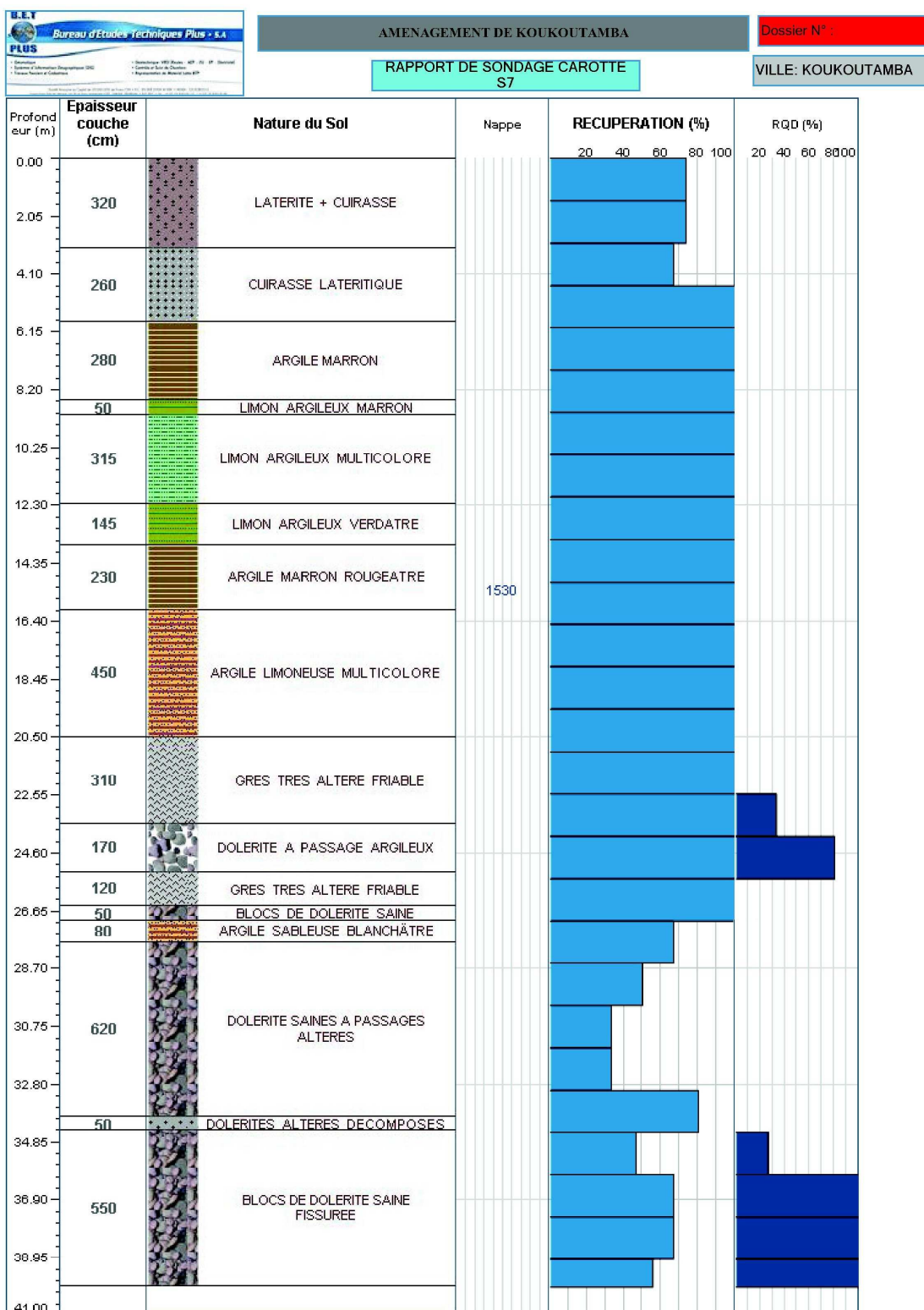
Date de démarrage : 7/1/2012 ; date de fin : 14/1/2012 ; le trou de sondage est obstrué à la profondeur de 8m

- 0 – 3,20m : fragments de cuirasse latéritique (ferrallitique) + graveleux latéritique (diamètre des grains max. 2cm);
- 3,20 – 5,80m : cuirasse latéritique
- 5,80 – 8,60m : argile beige grisâtre avec prévalence de feldspaths altérés (kaolin) ; quelque trace de la structure primaire de la roche ;
- 8,60 – 9,10m : limon argileux marron ;
- 9,10 – 12,25m : limon argileux bariolée ;
- 12,25 – 13,70m : limon argileux verdâtre - jaunâtre ;
- 13,70 – 16,00m : argile marron rougeâtre avec nodules millimétriques ématitiques avec des horizons plus limoneux ;
- 16,00 – 20,50m : argile limoneuse bariolée (saprolite) ;

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

- 20,50 – 23,60m : argile blanchâtre/jaunâtre (saprolite, structure de la roche primaire encore visible par endroit) ; feldspaths altérés, roche primaire dolérite ;
- 23,60 – 25,30m : dolérite saine (bloc) ; RQD=100% ; résistance de la roche R5 ;
- 25,30 – 26,50m : argile blanchâtre jaunâtre (saprolite) ;
- 26,50 – 27,00m : dolérite saine, résistance de la roche R5 ;
- 27,00 – 27,80m : argile sablonneuse /graveleuse blanchâtre/jaunâtre (saprolite) ;
- 27,80 – 34,00m : dolérite saine et niveaux de dolérite décomposée (roche friable, la carotte se casse avec les mains; résistance de la roche <5MPa) ;
- 34,00 – 34,50m : argile marron plastique avec des fragments de diamètre <1cm ;
- 34,50 - 40,00m : dolérite saine très dure, RQD=100% ; résistance de la roche R5.

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



GEOVISION - APAGEO



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



Sondage S7 - caisse 1 - profondeur de 0 à 5,00 m



Sondage S7 - caisse 2 - profondeur de 5,00 à 9,00 m



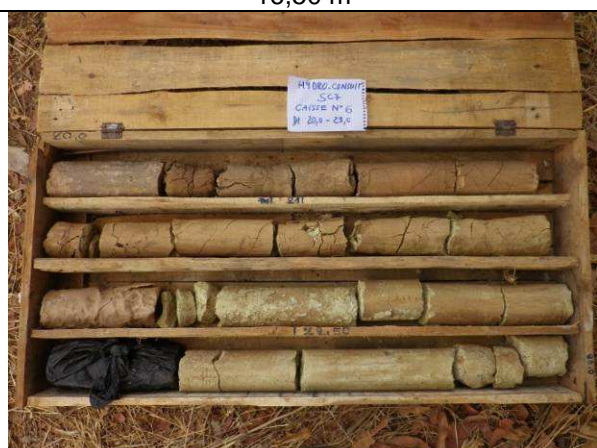
Sondage S7 - caisse 3 - profondeur de 9 à 13,00m



Sondage S7 - caisse 4 - profondeur de 13 à 16,50 m




Sondage S7 - caisse 5 - profondeur de 16,50 à 20,00 m



Sondage S7 - caisse 6 - profondeur de 20 à 23,00 m

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

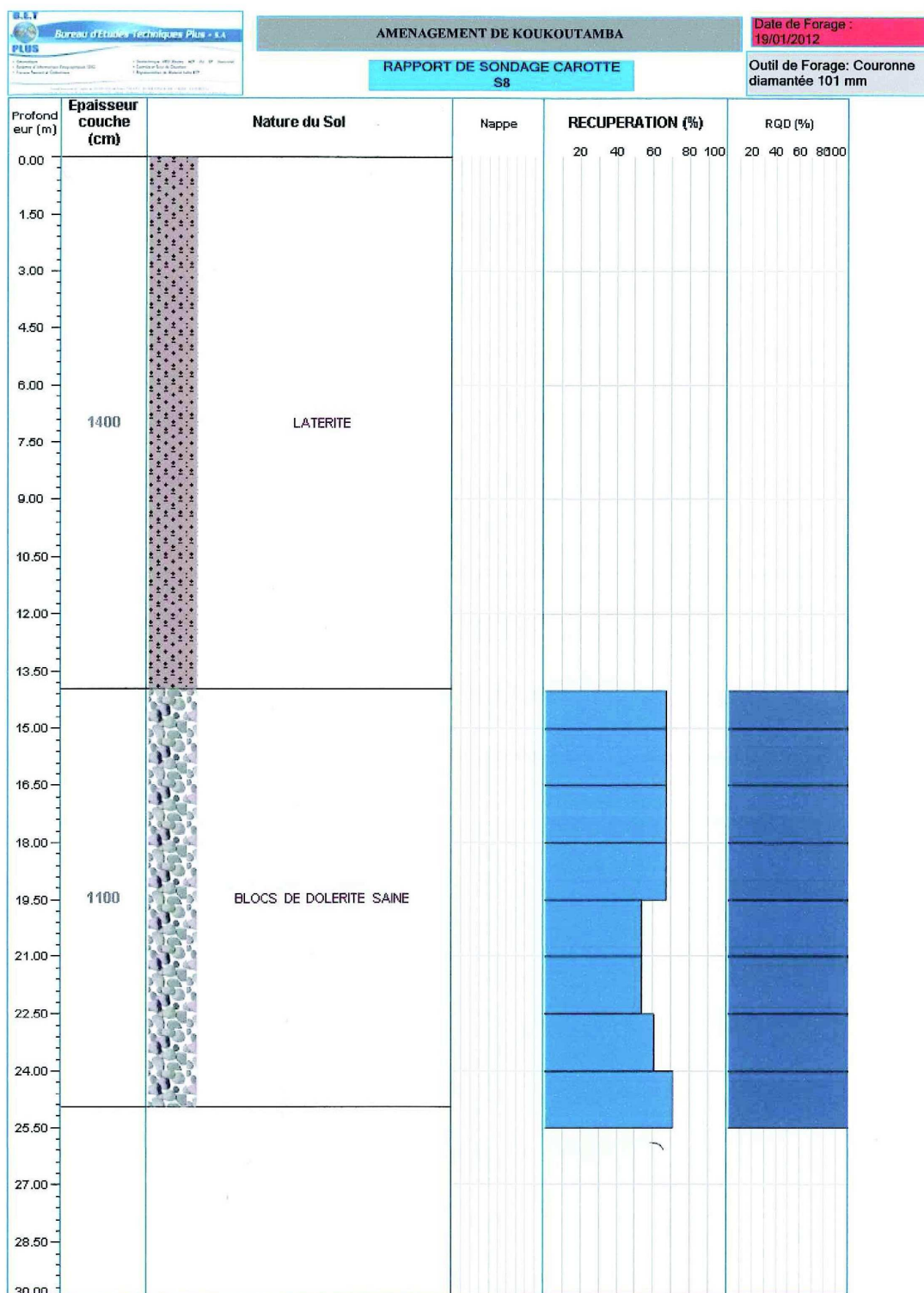
	
<p>Sondage S7 - caisse 7 - profondeur de 23 à 26,5 m</p>	<p>Sondage S7 - caisse 8 - profondeur de 26,5 à 34m</p>
	
<p>Sondage S7 - caisse 9 - profondeur de 34 à 40 m</p>	

**C3.1.1.7 Sondage S8 – 25m (Rive droite – Zone de carrière de dolérites)**

0 – 14,00m : latérites ;  
14,00 – 25,00 : dolérite.



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



GEOVISION - APAGEO



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3- Géologie

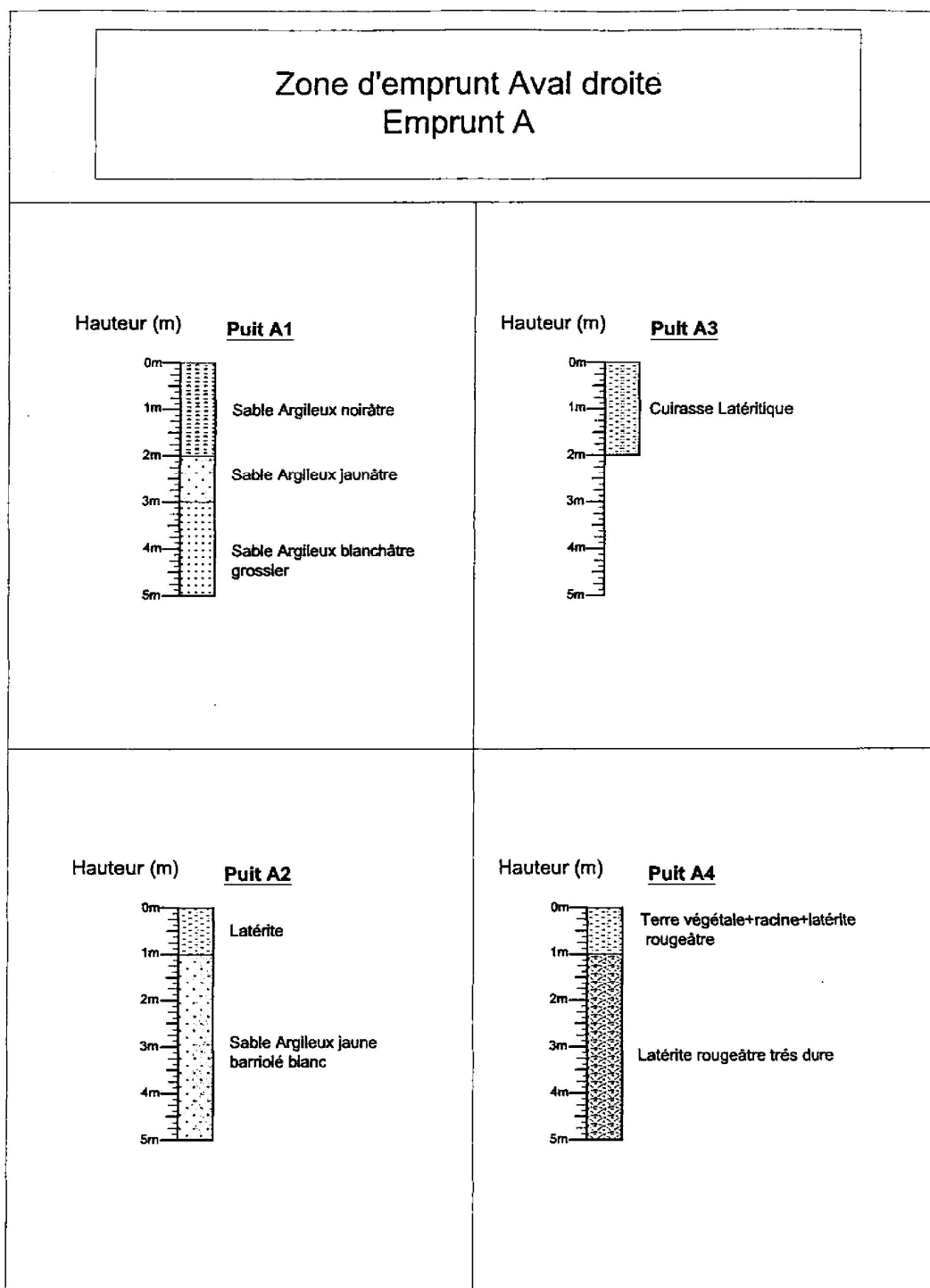
Sondage S8 - caisse 1 - profondeur de 14,00 à 19,50m



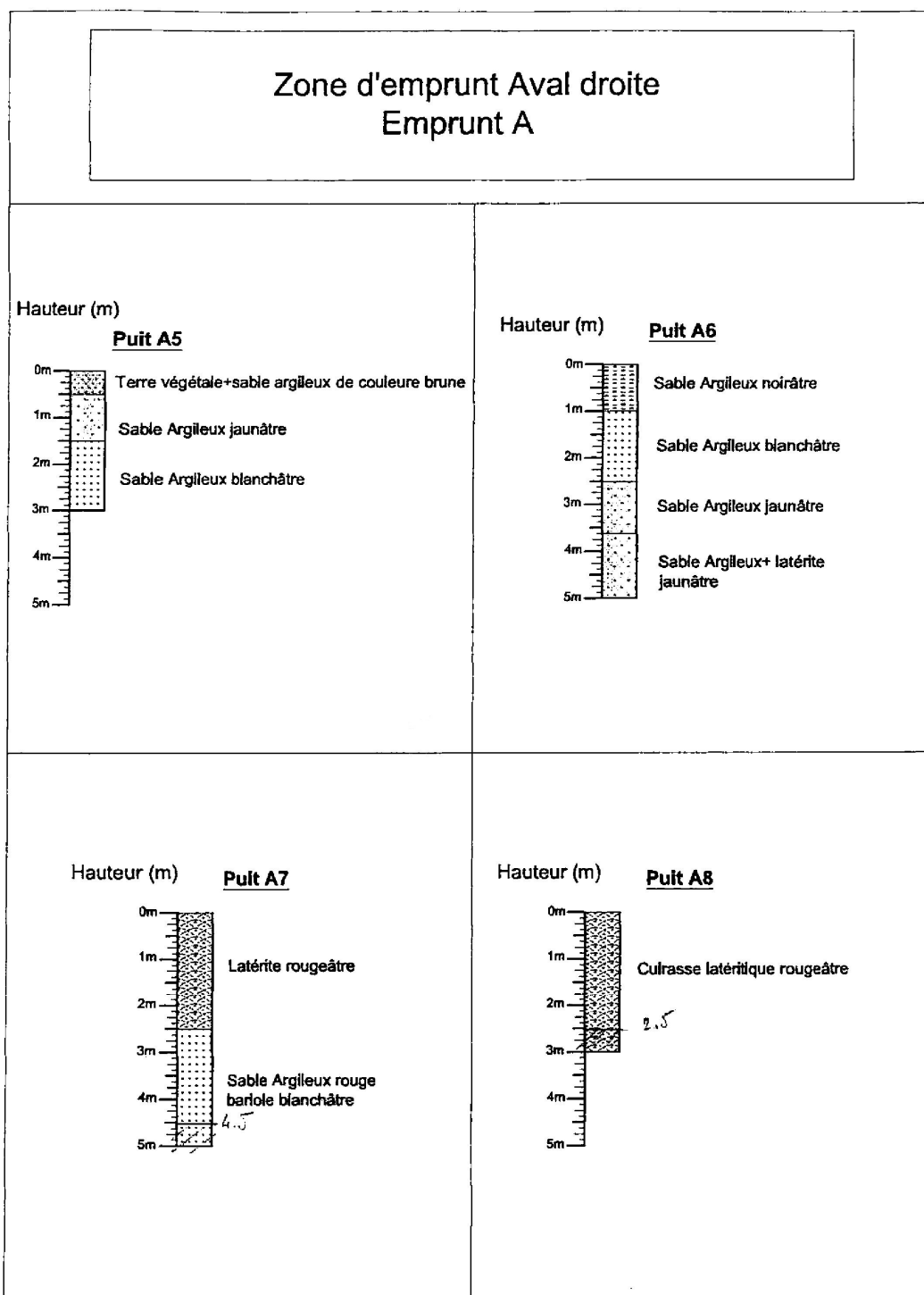
Sondage S8 - caisse 2 - profondeur de 19,50 à 25,00m

### **C3.1.2 Stratigraphies puits zones d'emprunts**

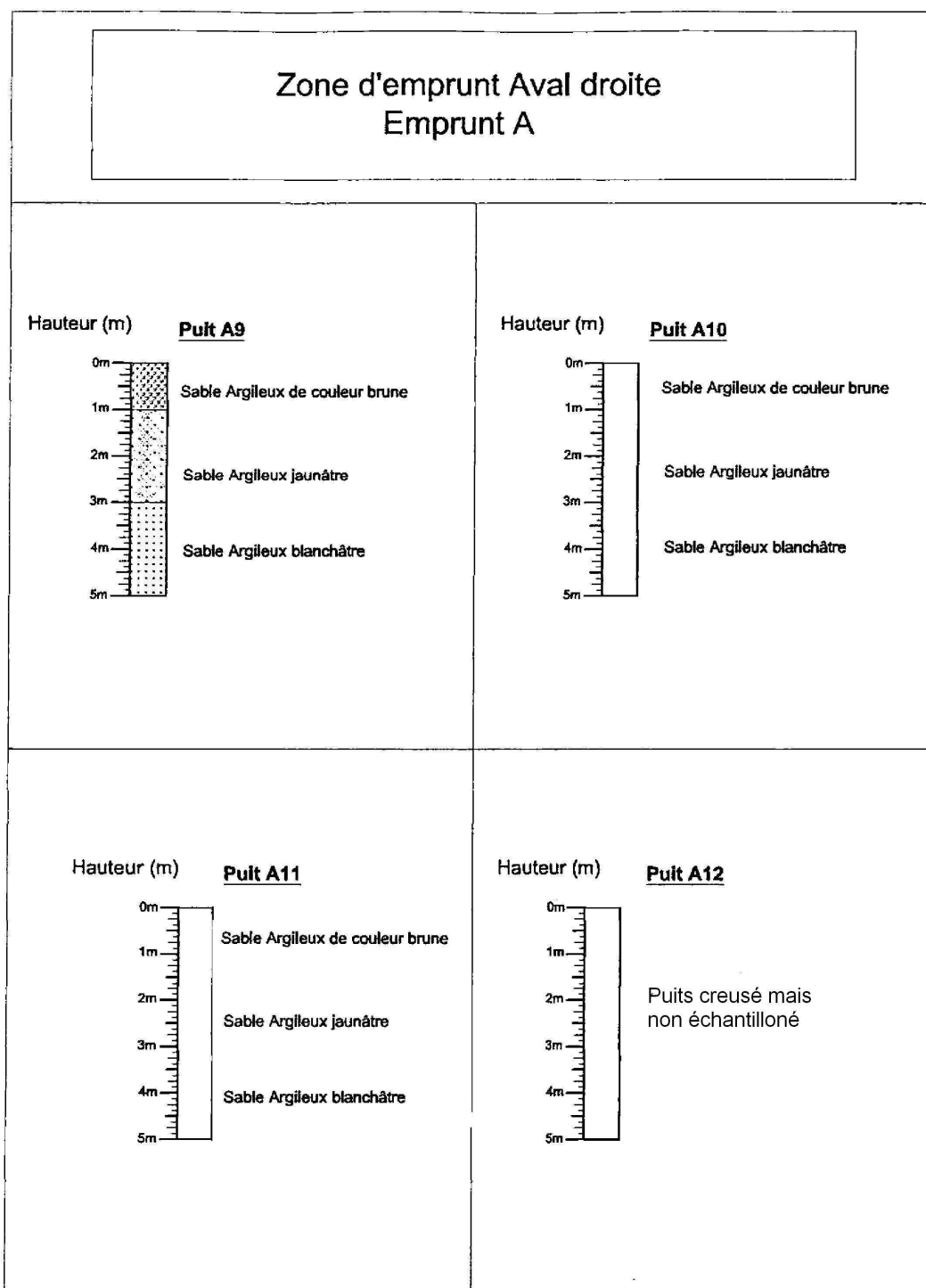
Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



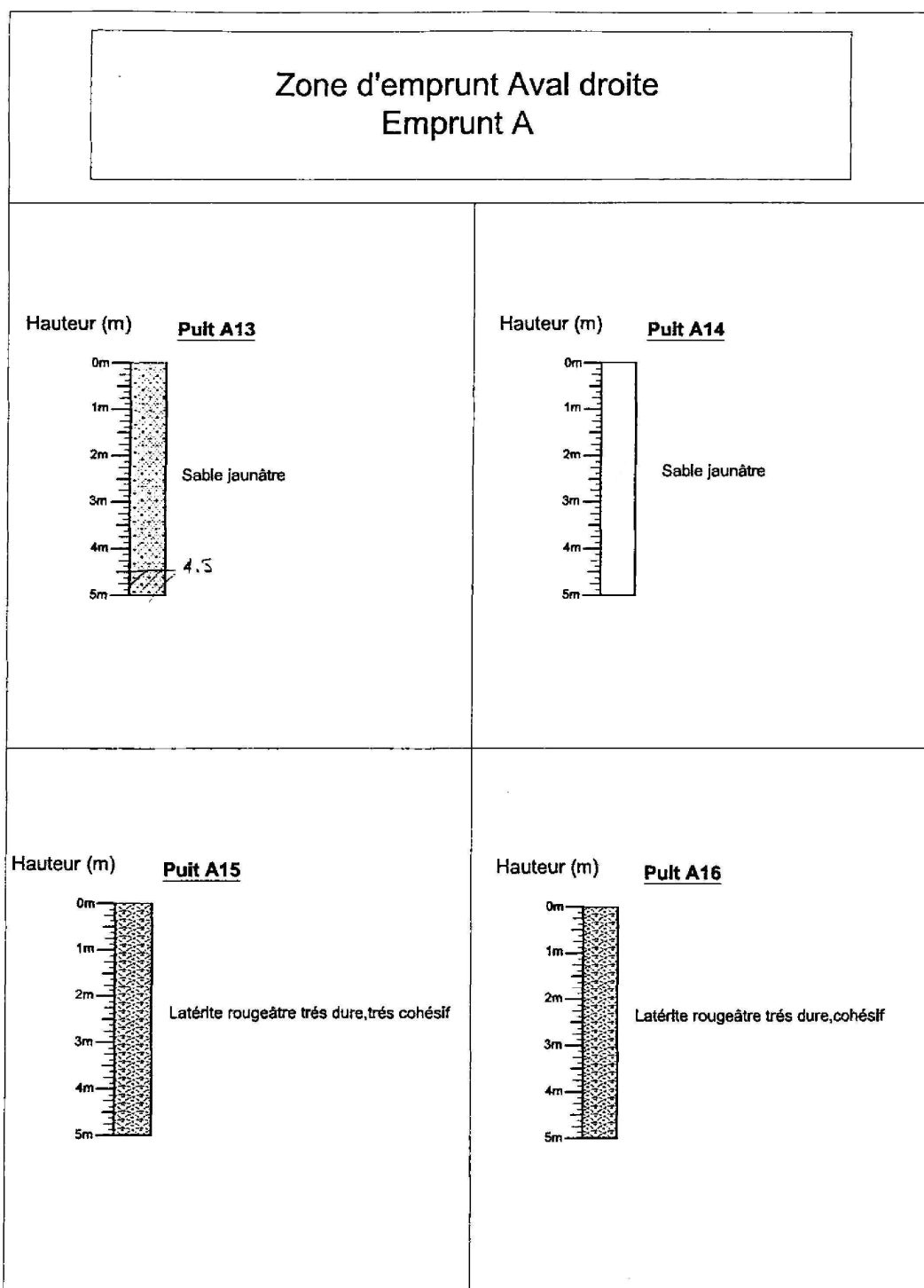
Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

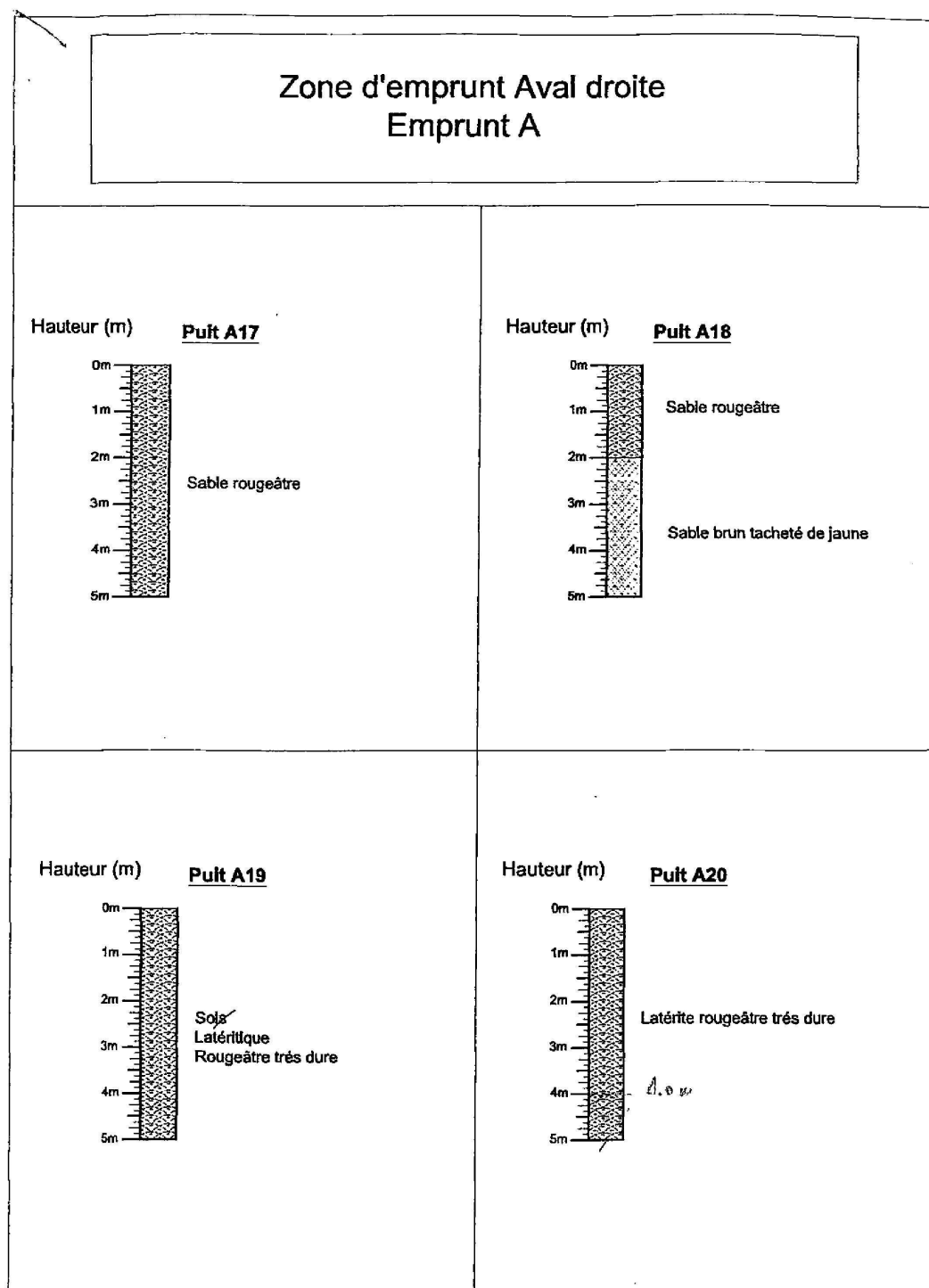


Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie





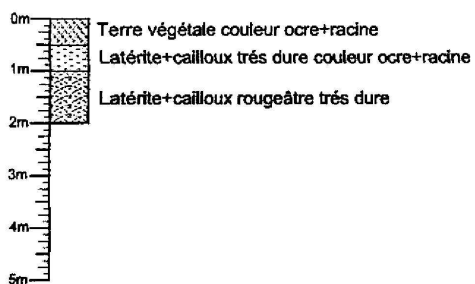
Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



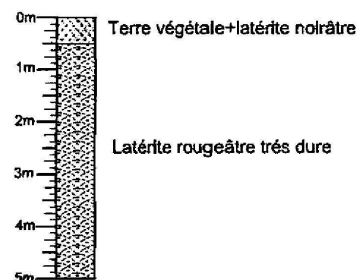
Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

Zone d'emprunt Amont Rive droite  
Emprunt B

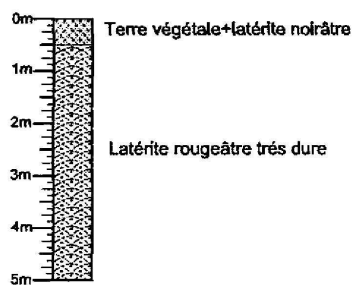
Hauteur (m)

**Puit B1**

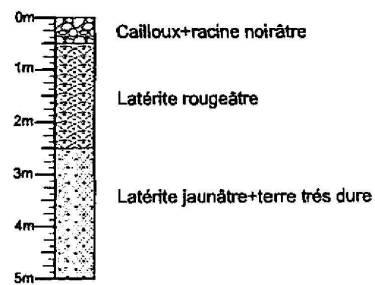
Hauteur (m)

**Puit B2**

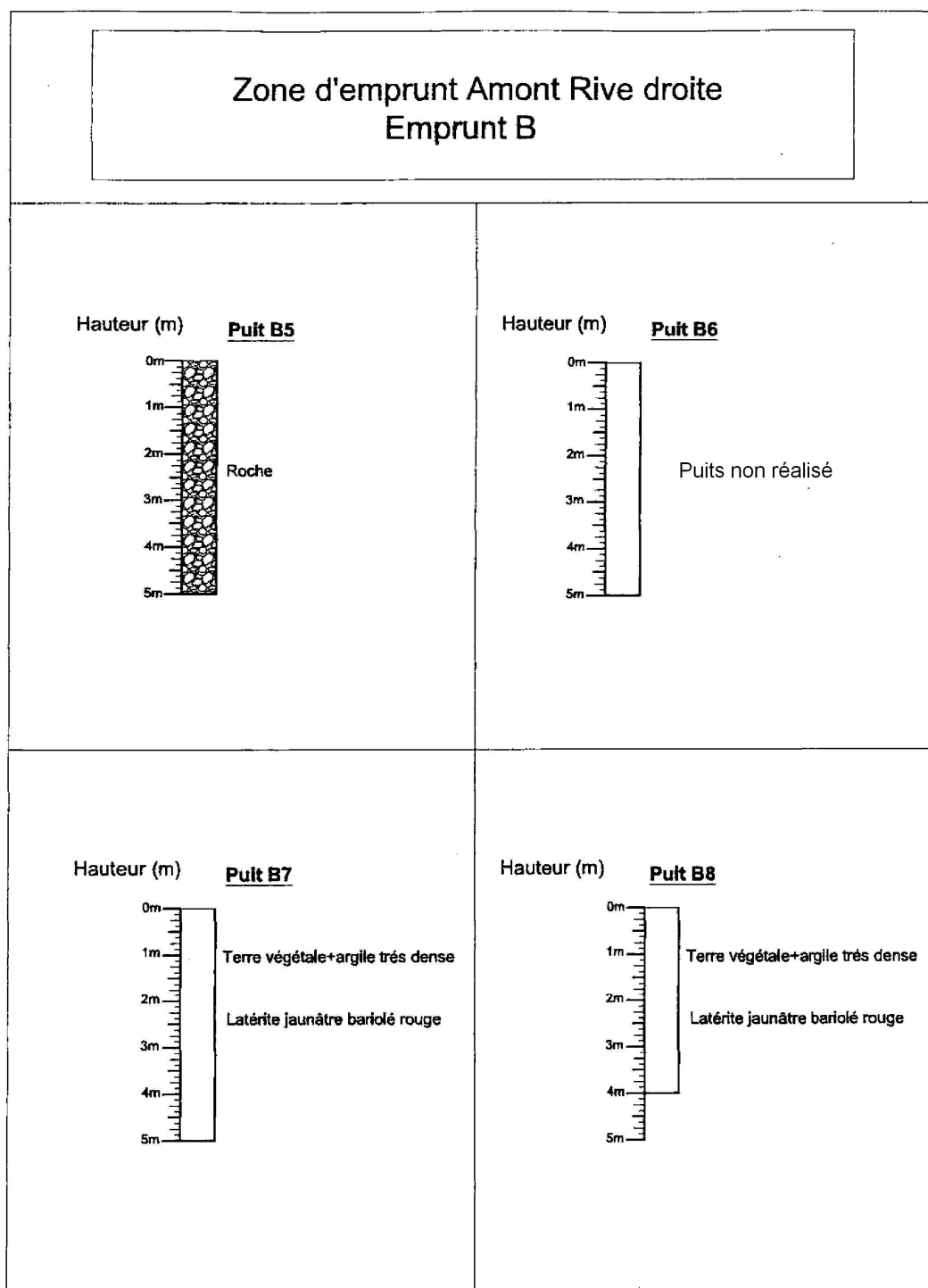
Hauteur (m)

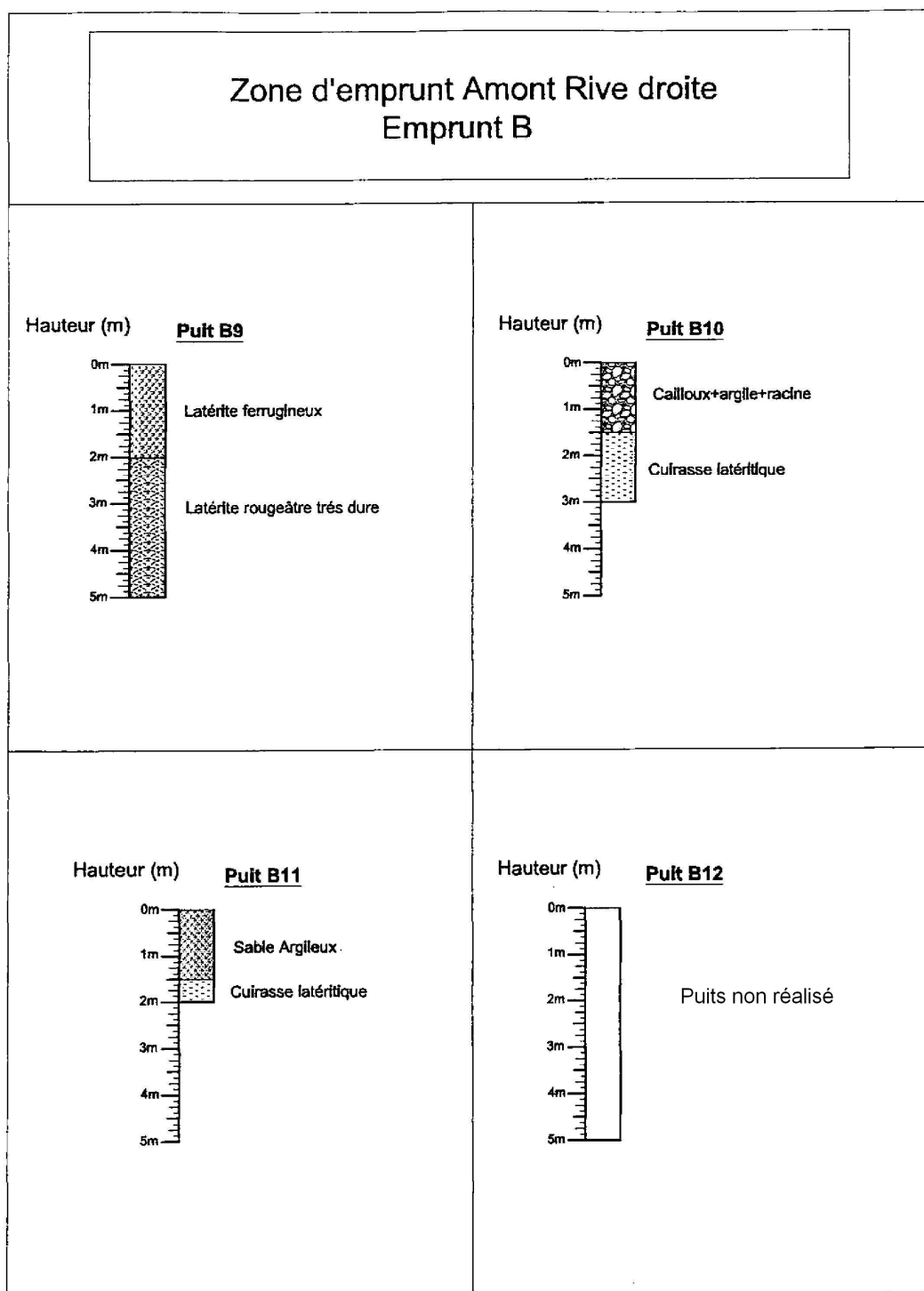
**Puit B3**

Hauteur (m)

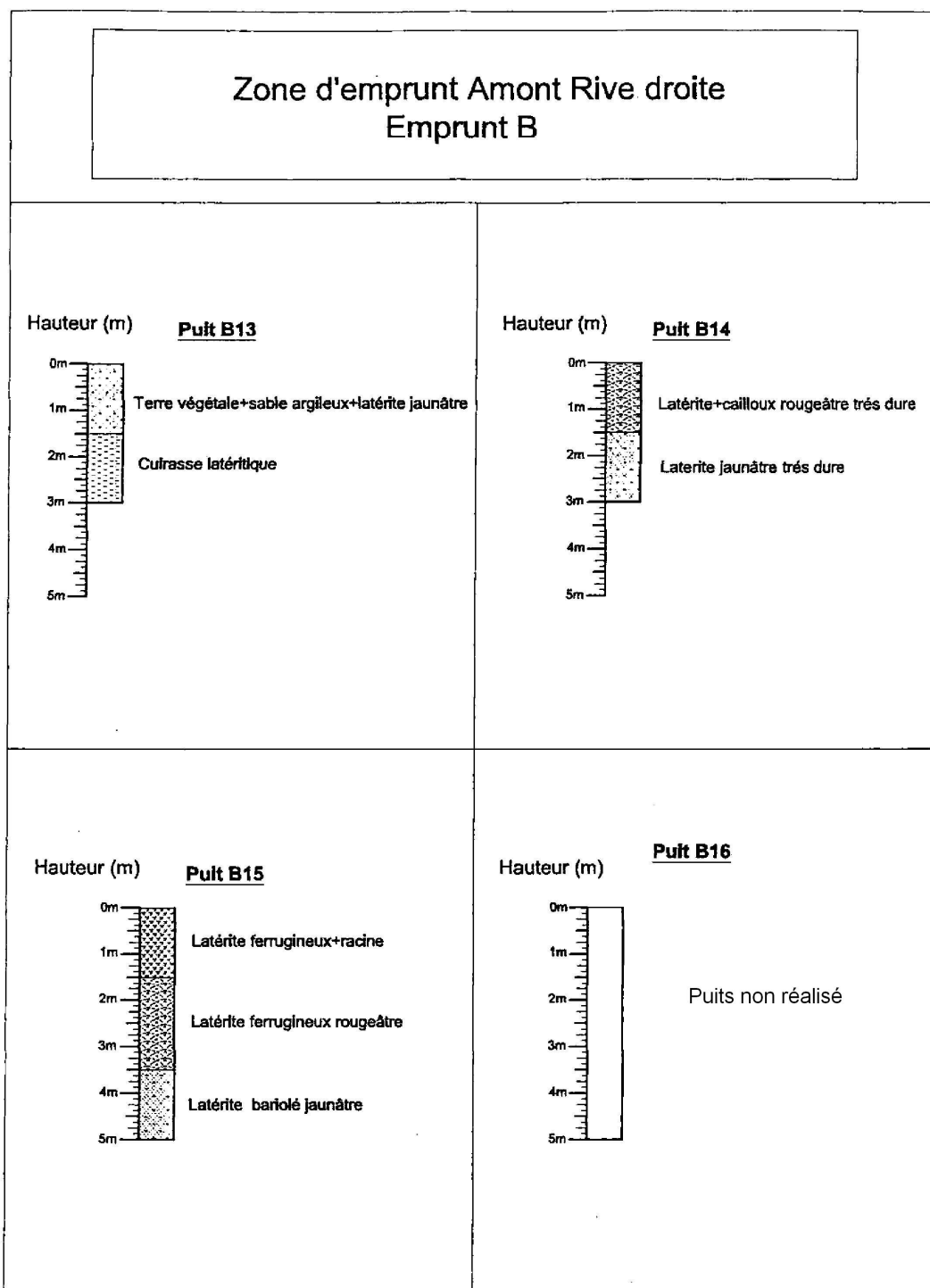
**Puit B4**

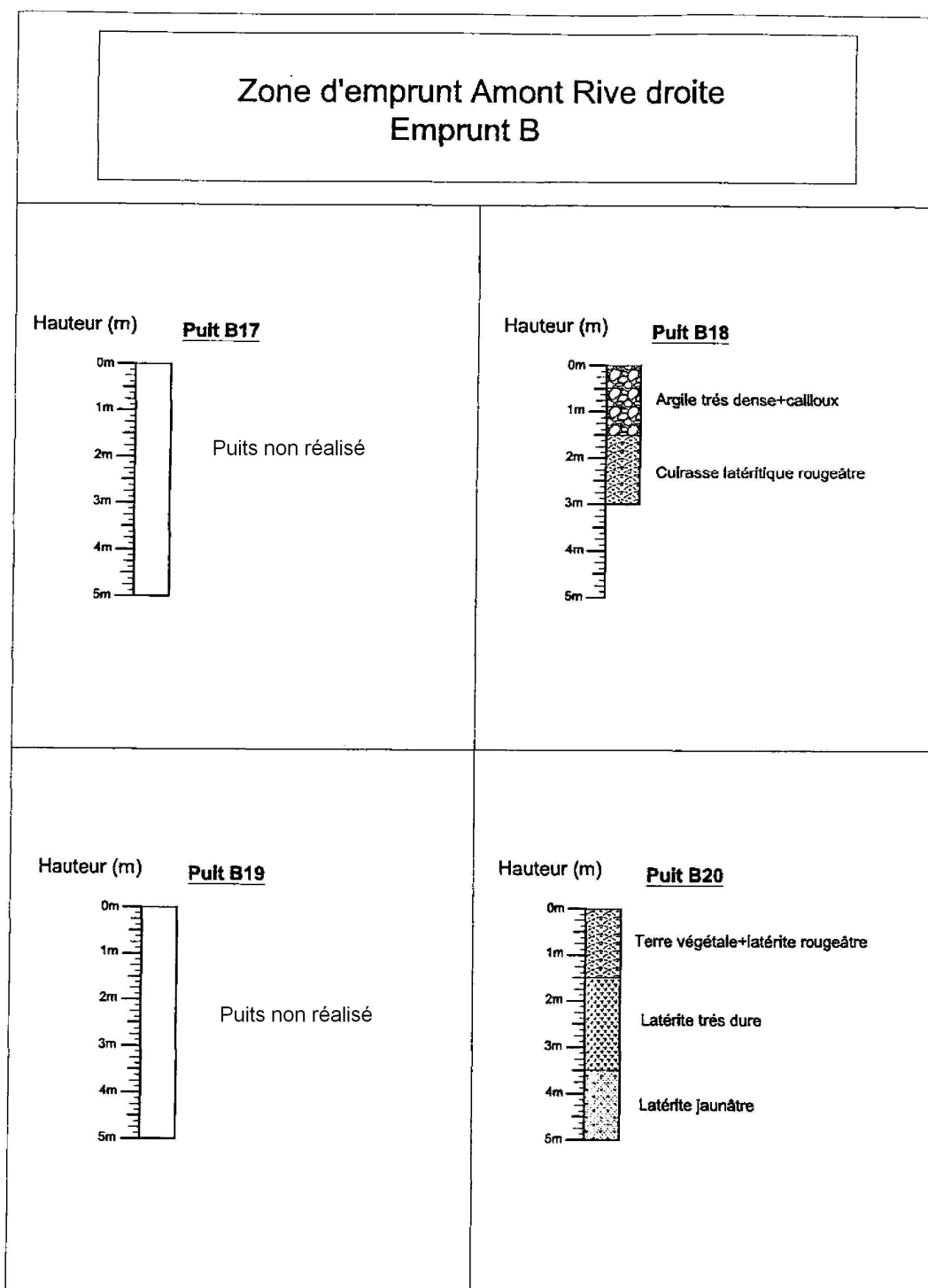
Avant-Projet Détaillé  
Chapitre C3– Géologie





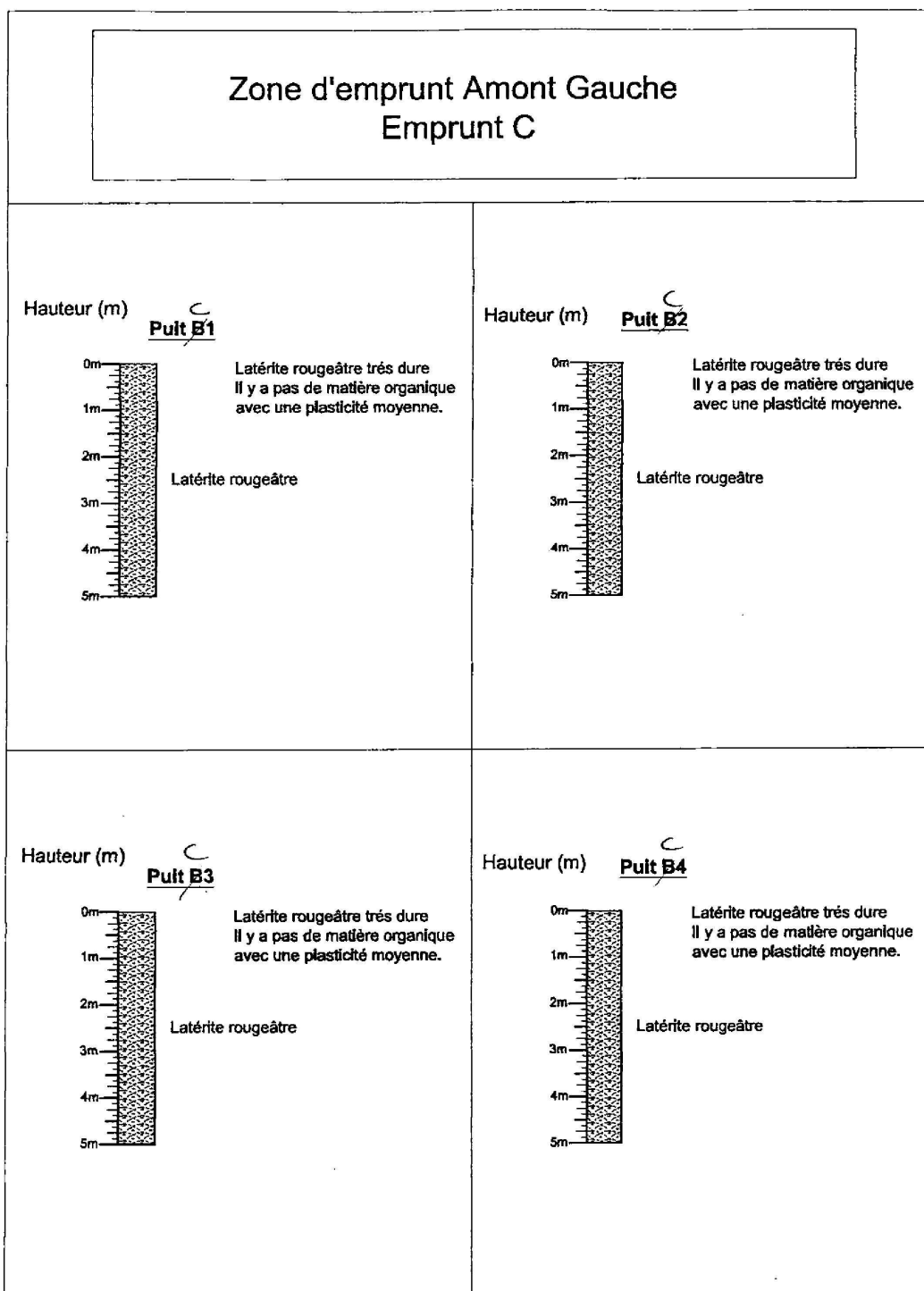
Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



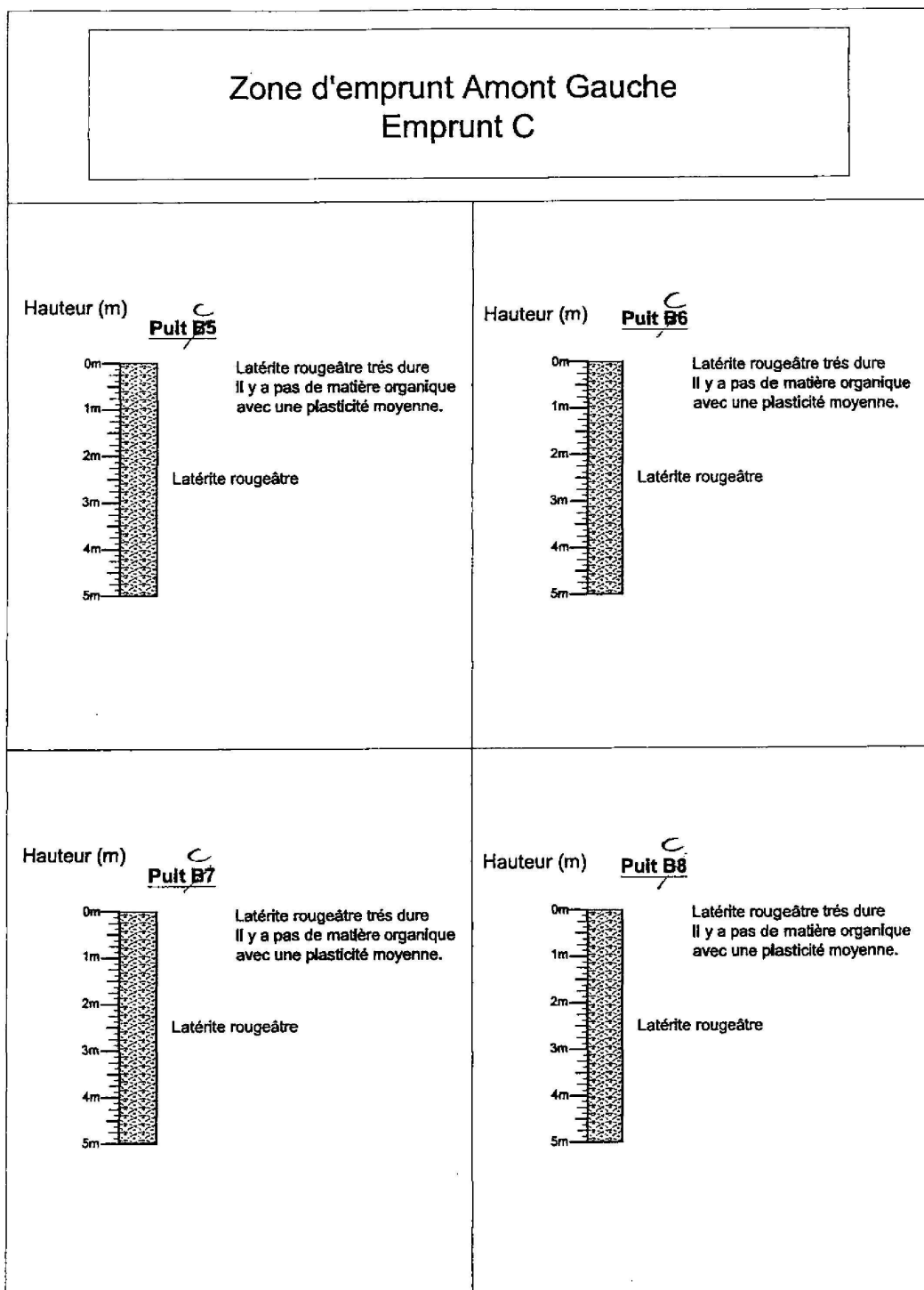




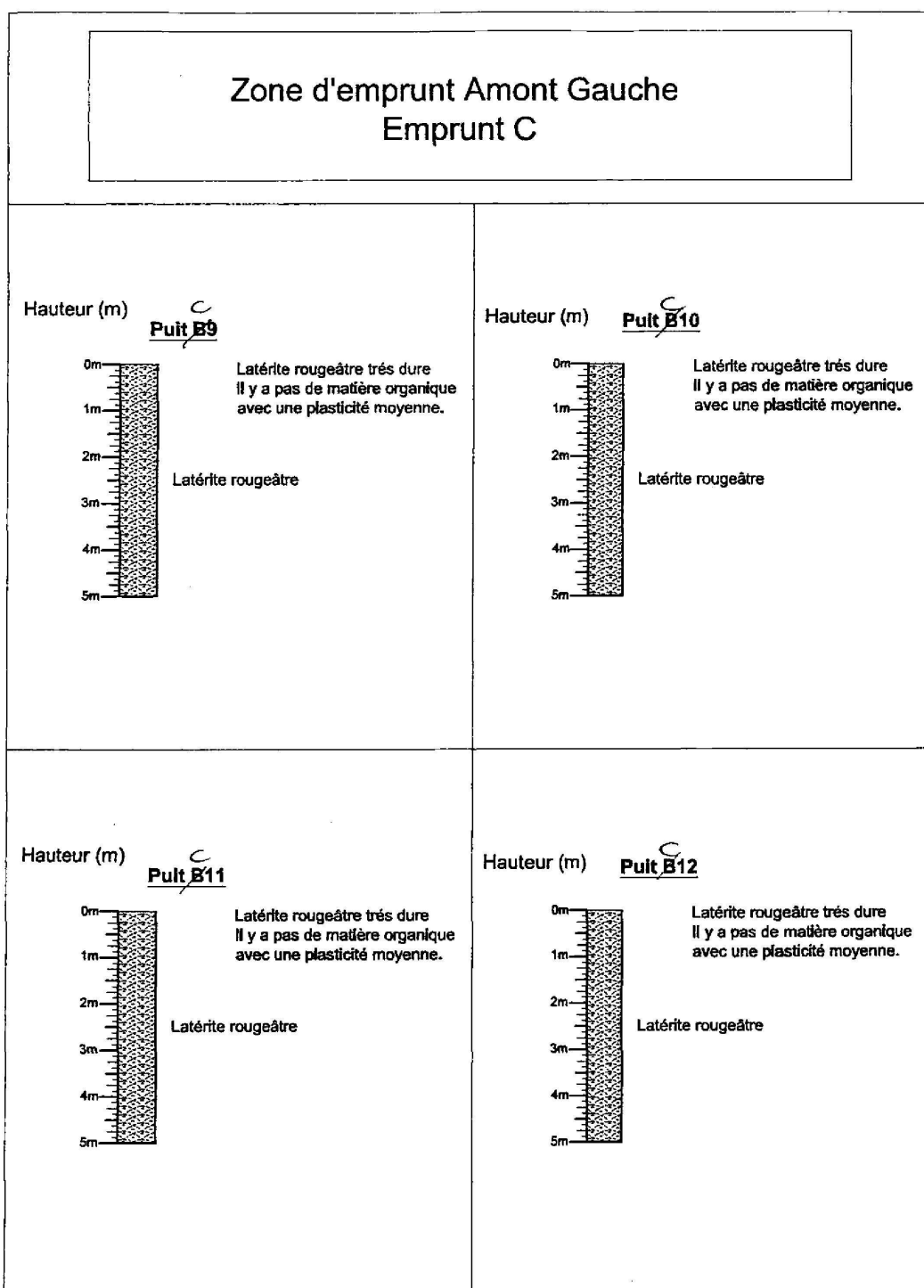
Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



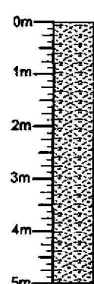
Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie



Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

Zone d'emprunt Amont Gauche  
Emprunt C

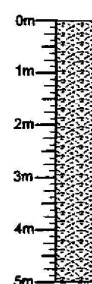
Hauteur (m)

**Puit B13**

Latérite rougeâtre très dure  
Il y a pas de matière organique  
avec une plasticité moyenne.

Latérite rougeâtre

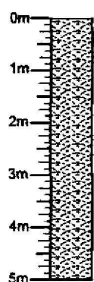
Hauteur (m)

**Puit B14**

Latérite rougeâtre très dure  
Il y a pas de matière organique  
avec une plasticité moyenne.

Latérite rougeâtre

Hauteur (m)

**Puit B15**

Latérite rougeâtre très dure  
Il y a pas de matière organique  
avec une plasticité moyenne.

Latérite rougeâtre

Hauteur (m)

**Puit B16**

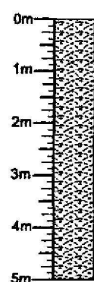
Latérite rougeâtre très dure  
Il y a pas de matière organique  
avec une plasticité moyenne.

Latérite rougeâtre

Avant-Projet Détaillée  
Chapitre C3– Géologie

Zone d'emprunt Amont Gauche  
Emprunt C

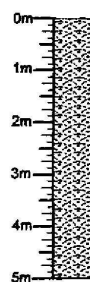
Hauteur (m) **Puit B17**



Latérite rougeâtre très dure  
Il y a pas de matière organique  
avec une plasticité moyenne.

Latérite rougeâtre

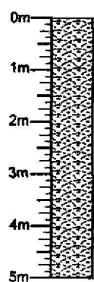
Hauteur (m) **Puit B18**



Latérite rougeâtre très dure  
Il y a pas de matière organique  
avec une plasticité moyenne.

Latérite rougeâtre

Hauteur (m) **Puit B19**



Latérite rougeâtre très dure  
Il y a pas de matière organique  
avec une plasticité moyenne.

Latérite rougeâtre

Hauteur (m) **Puit B20**



Latérite rougeâtre très dure  
Il y a pas de matière organique  
avec une plasticité moyenne.

Latérite rougeâtre

## SOMMAIRE DU CHAPITRE C4

### GEOTECHNIQUE

<b>C4.1</b>	<b>ESSAIS AU LABORATOIRE CAMPAGNE TRACTEBEL ENGINEERING 2011/2012</b>	<b>2</b>
	<b>C4.1.1 Résultats essais laboratoire – Sondages zone aménagement Koukoutamba</b>	<b>2</b>
	<b>C4.1.2 Résultats essais laboratoire – Puits zones d’emprunt Koukoutamba</b>	<b>4</b>
	<b>C4.1.3 Résultats essais laboratoire – Puits route d’accès Kenié Oula - Koukoutamba</b>	<b>8</b>

## **CHAPITRE C4 GEOTECHNIQUE**

### **C4.1 ESSAIS AU LABORATOIRE CAMPAGNE TRACTEBEL ENGINEERING 2011/2012**

#### **C4.1.1 Résultats essais laboratoire – Sondages zone aménagement Koukoutamba**







### **C4.1.2 Résultats essais laboratoire – Puits zones d’emprunt Koukoutamba**



Projet HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA

Avant-Projet Détaillé  
Chapitre C4 – Géotechnique

Sondage/Puits	Profondeur de prélèvement	Lieu de prélèvement	Description géotechnique	Teneur en eau		Masse volumique		Limites d'Atterberg - Coupelle WI et Wp				Granulométrie par tamisage			Sédimentométrie	Essai au bleu de Méthylène	Pinhole test	Angle de frottement interne $\phi$ (°)	Cohésion c (kPa)	Proctor normal - Densité sèche maximale	Proctor normal - Teneur en eau optimale %
				w %	ph (g/cm <sup>3</sup> )	ph (kN/m <sup>3</sup> )	Wp %	Wi %	Ip	IC	Gravier %	Sable %	Limons %	Argile %							
A01	3	4 z.e. A	4 Gravier sableux	1,25	2,9	28,45							58	22	0						
A01	2	3 z.e. A	3 Sable	2,92	2,73	26,78							92	18	0						
A01	1	2 z.e. A	2 Sable	4,03	2,4	23,54							97	3							
A01	0	1 z.e. A	1 Sable		2,56	25,11							96	4							
A01	3	4 z.e. A	Sable limoneux										73	10	0						
A02	1	2 z.e. A	1 Gravier limoneux	5,14	2,57	25,21							48	38	0						
A02	2	3 z.e. A	2 Gravier limoneux	12,1	3,18	31,20							46	36	0		34,7	189,18	2,01		12
A03	1	2 z.e. A	1 Sable argileux	2,19	2,6	25,51							76	47	27						
A04	2	3 z.e. A	1 Argile limoneuse	11,8	2,34	22,96	20,42	37,47	17,05				75	62	32		26,5	130,59	1,81		16,6
A04	3	4 z.e. A	2 Argile sableuse	14,2	2,3	22,56							95	79	43						
A05	1	2 z.e. A	1 Sable limoneux	8,45	1,59	15,60							100	50	12						
A06	1	2 z.e. A	1 Limon sableux	5,18	2,72	26,68	17,15	19,74	2,6				98	63	26		24,2	183,5	1,9		14
A06	3	4 z.e. A	2 Limon argileux	13,9	3,13	30,71	13,68	24,05	10,37				85	62	30						
A07	1	2 z.e. A	1 Gravier limoneux	6,68	2,77	27,17							38	25	0						
A07	3	4 z.e. A	2 Gravier sableux	10,4			22,15	25,43	3,28				45	26	9						
A08	1	2 z.e. A	1 Gravier limoneux	7,45	2,51	24,62							44	26	0						
A09	3	4 z.e. A	2 Sable limoneux		2,25	22,07							100	56	19						
A09	1	2 z.e. A	1 Sable limoneux		2,39	23,45	19,02	21,23	2,21				100	48	15		24,8	126,37	1,85		13,5
A10	2	3 z.e. A	1 Sable argileux		2,04	20,01	17,5	45,85	28,34				96	58	31						
A11	1	2 z.e. A	1 Argile limoneuse		2,39	23,45	15,9	33,69	17,79				83	73	38						
A11	2	3 z.e. A	2 Gravier limoneux		2,44	23,94							50	37	0						
A11	3	4 z.e. A	3 Gravier limoneux		2,83	27,76							56	32	0						
A13	3	4 z.e. A	3 Sable limoneux et argileux		1,65	16,19	20,26	25,87	5,61				100	48	20						
A13	0	1 z.e. A	1 Sable limoneux		2,23	21,88	19,98	32,3	12,33				100	54	12						
A13	2	3 z.e. A	2 Sable limoneux		2,79	27,37							100	40	18						
A14	2	3 z.e. A	1 Sable limoneux		2,28	22,37							100	46	16						
A14	3	4 z.e. A	2 Sable peu limoneux		2,38	23,35							100	30	13						
A15	3	4 z.e. A	2 Argile limoneuse		2,35	23,05	13,7	29,53	15,82				93	70	36						
A15	1	2 z.e. A	1 Argile limoneuse		2,58	25,31	14,55	30,47	15,92				99	77	40		22,9	166,2	1,75		17,63
A16	2	3 z.e. A	2 Limon graveleux		2,65	26,00							60	47	0						
A16	1	2 z.e. A	1 Gravier limoneux		2,89	28,35							51	28	0						
A17	3	4 z.e. A	1 Sable limoneux		2,31	22,66							100	30	0						
A18	3	4 z.e. A			1,8	17,66															
A18	1	2 z.e. A			2,27	22,27															
A18	2	3 z.e. A	2 Limon argileux				17,8	38,42	20,61				96	74	35		33,6	126,37	1,7		19,8
A19	1	2 z.e. A	1 Limon sableux		2,77	27,17	16,03	24,61	8,59				88	57	26						
A20	1	2 z.e. A	1 Limon sableux		2,43	23,84							98	67	20		34,8	166,91	1,9		16,18
A20	3	4 z.e. A	2 Limon sableux		2,51	24,62	17,02	22,08	5,06				98	75	22						



Projet HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA

Avant-Projet Détaillé  
Chapitre C4 – Géotechnique

Sondage/Puits	Profondeur de prélèvement	Lieu de prélèvement	Description géotechnique	Teneur en eau		Masse volumique		Limites d'Atterberg - Coupelle WI et Wp				Granulométrie par tamisage			Sédiments < 0,002 mm	Essai au bleu de Méthylène VBS	Pinhole test	Angle de frottement interne $\phi$ (°)	Cohésion c (kPa)	Proctor normal - densité sèche maximale	Proctor normal - Teneur en eau optimale %
				w %	ph (g/cm <sup>3</sup> )	ph (kN/m <sup>3</sup> )	Wp %	WI %	Ip	IC	Gravier %	Sable %	Limons %	Argile %							
B01	1	2 z.e. B	1 Gravier limoneux	12,4	3,04	29,82	27,53	51,31	23,78				50	14	0						
B01	2	3 z.e. B	2 Gravier sableux		3,21	31,49							56	16	0						
B01	3	4 z.e. B	3 Gravier sableux		3,18	31,20	25,59	37,07	11,48				61	10	0						
B02	1	2 z.e. B	1 Gravier sableux	10,9	2,82	27,66	28,9	54,02	25,12				36	20	12	25,6	156,1	2,1	10,3		
B02	3	4 z.e. B	3 Gravier sableux	12,3	2,6	25,51							50	23	9						
B02	2	3 z.e. B	2 Gravier limoneux	13,1	2,51	24,62							58	16	0						
B02	4	5 z.e. B	4 Gravier limoneux	21,1									56	32	0						
B03	1	2 z.e. B	1 Gravier sableux	12	2,56	25,11							37	20	14	25,9	294,42	2,08	9		
B03	2	3 z.e. B	2 Gravier sableux	20,5	2,6	25,51	27,49	52,42	24,93				49	26	16						
B03	3	4 z.e. B	3 Gravier sableux	20,5	2,56	25,11	26,34	51,49	25,14				59	30	15						
B03	4	5 z.e. B	4 Limon sableux	21,1	2,28	22,37							73	41	0						
B04	3	4 z.e. B	2 Gravier sableux	12,6	2,73	26,78							30	10	0						
B04	1	2 z.e. B	1 Gravier limoneux	13,7	2,56	25,11	26,92	52,17	25,25				27	20	10	25,5	291,03	2,03	9,7		
B07	2	3 z.e. B	1 Gravier sableux	9,93	2,66	26,09							32	17	0	24,6	310,11	2,1	9,5		
B07	3	4 z.e. B	2 Gravier sableux	15,4	2,53	24,82	25,21	47,93	22,72				58	32	16	25	319,02	2,1	9,8		
B07	4	5 z.e. B	3 Gravier sableux	15,8	2,38	23,35							67	40	0						
B08	0	1 z.e. B	1 Gravier sableux	4,6	3,13	30,71							42	38	0						
B08	2	3 z.e. B	2 Gravier sableux	8,41	2,76	27,08	23,25	45	21,76												
B08	4	5 z.e. B	3 Gravier sableux	12,2	2,69	26,39							40	13	0						
B09	1	2 z.e. B	1 Gravier sableux	8,14	3,03	29,72	38,08	45,3	7,22				35	17	10						
B09	2	3 z.e. B	2 Gravier sableux	10,2	2,83	27,76							46	16	0						
B09	3	4 z.e. B	3 Gravier sableux	12,2	2,8	27,47	24,72	40,58	15,87				33	11	4						
B10	1	2 z.e. B	1 Gravier sableux		2,69	26,39							34	19	0	25,9	294,42	2,11	10		
B11	2	3 z.e. B	1 Gravier sableux	12,2	2,78	27,27							25	8	0						
B13	0	1 z.e. B	1 Gravier limoneux	4,91	3,1	30,41							33	24	0						
B13	2	3 z.e. B	2 Gravier sableux	9,25	2,72	26,68							56	28	0						
B14	1	2 z.e. B	1 Gravier limoneux	9,17	2,47	24,23							34	20	0						
B14	2	3 z.e. B	2 Gravier argileux	10,9	2,52	24,72	24,75	49,19	24,44				48	33	20	25,7	225,49	2,1	10,1		
B14	3	4 z.e. B	3 Gravier sableux	13,9	2,55	25,02							33	11	0						
B15	1	2 z.e. B	1 Gravier sableux	6,47	2,72	26,68							30	16	8	25	293,76	2,09	10		
B15	3	4 z.e. B	2 Gravier sableux	10,2	2,69	26,39							26	11	0						
B18	1	2 z.e. B	2 Gravier limoneux	4,57	3	29,43							34	21	0						
B18	0	1 z.e. B	1 Gravier limoneux	5,46	3,11	30,51							37	30	0						
B20	3	4 z.e. B	2 Gravier sableux	7,62	2,85	27,96							32	13	0						
B20	1	2 z.e. B	1 Gravier sableux	12,6	2,68	26,29	51	28,15	22,85				32	18	10						





Projet HYDROELECTRIQUE DE KOUKOUTAMBA

Avant-Projet Détaillé  
Chapitre C4 – Géotechnique

Sondage/Puits	Profondeur de prélèvement	Lieu de prélèvement	Designation de l'échantillon	Description géotechnique	Masse volumique		pH (KN/m <sup>3</sup> ) humide et sèche	Limites d'Atterberg - Coppelie WI et Wp				Granulométrie par tamisage			Sédiments < 0,002 mm	Essai au bleu de Méthylène VBS	Pinhole test	Angle de frottement interne φ (°)	Cohésion c (kPa)	Proctor normal - sèche	Proctor normal - Tenue en eau optimale
					ph (g/cm <sup>3</sup> )	w %		Wp %	Wl %	Ip	IC	Gravier %	Sable %	Limons %							
C01	1	2 z.e. C	1	Gravier argileux	2,47	24,23						56	47	33	0						
C01	2	3 z.e. C	2	Argile limoneuse	2,09	20,50		67,82	28,23			80	67	44	0						
C01	4	5 z.e. C	3	Limons sableux	1,81	17,76						98	73	14	0					2,07	14,3
C02	1	2 z.e. C	1	Gravier argileux	2,57	25,21						54	44	25	0					2,06	12
C02	2	3 z.e. C	2	Argile limoneuse	2,24	21,97						83	77	46	0					2,07	12
C02	4	5 z.e. C	3	Limons argileux	1,84	18,05		74,33	27,74			99	96	38	0					1,9	13,4
C03	1	2 z.e. C	1	Gravier argileux	2,5	24,53		33,82	24,4			60	40	21	0					1,97	13
C03	2	3 z.e. C	2	Argile limoneuse	2,26	22,17		57	33,06	23,95		70	54	30	0					1,9	16,2
C03	4	5 z.e. C	3	Limons argileux	1,97	19,33						97	95	45	0					1,96	16,7
C04	1	2 z.e. C	1	Gravier sableux	2,4	23,54						58	48	34	0					1,87	17
C04	3	4 z.e. C	2	Gravier argileux	2,52	24,72		27,2	56,41	29,21		62	42	23	0					1,89	18,9
C05	1	2 z.e. C	1	Gravier argileux	2,54	24,92		30,2	55,37	25,17		43	35	18	0						
C05	3	4 z.e. C	2	Gravier argileux	2,53	24,82						55	48	34	0						
C06	1	2 z.e. C	1	Gravier limoneux	2,28	22,37						57	40	0	0						
C06	3	4 z.e. C	2	Gravier argileux	2,17	21,29		34	56,77	22,76		65	48	24	0						
C06	4	5 z.e. C	3	Gravier limoneux	2,32	22,76						60	35	0	0						
C07	0	1 z.e. C	1	Gravier limoneux	2,51	24,62		32,7	55,29	22,59		60	47	21	0						
C07	2	3 z.e. C	2	Gravier limoneux	2,56	25,11						55	40	20	0	0,14	ND1			1,58	24,9
C08	1	2 z.e. C	1	Gravier argileux	2,76	27,08		27,14	51,21	24,08		48	38	24	0						
C08	3	4 z.e. C	2	Gravier limoneux	2,36	23,15						60	37	0	0						
C09	1	2 z.e. C	1	Gravier limoneux	2,38	23,35						54	40	0	0						
C09	4	5 z.e. C	2	Gravier argileux	2,44	23,94						53	40	28	6						
C10	0	1 z.e. C	1	Gravier limoneux	2,71	26,59						35	25	0	0						
C10	2	3 z.e. C	2	Gravier argileux	2,49	24,43		32,75	56,81	24,07		64	48	30	0						
C11	1	2 z.e. C	1	Gravier limoneux	2,41	23,64		26,23	47,61	21,37		51	38	18	0						
C11	2	3 z.e. C	2	Gravier argileux	2,58	25,31		32,18	53,49	21,31		50	45	31	0						
C11	3	4 z.e. C	3	Gravier argileux	2,11	20,70						60	45	29	0						
C11	4	5 z.e. C	4	Argile limoneuse	2,31	22,66						76	63	35	0						
C12	1	2 z.e. C	1	Gravier argileux	2,82	27,66		24,76	45,91	21,15		40	30	15	0						
C13	1	2 z.e. C	1	Gravier limoneux	2,52	24,72						55	40	0	0						
C14	0	1 z.e. C	1	Gravier limoneux	2,59	25,41						72	37	0	0						
C14	3	4 z.e. C	2	Argile limoneuse	2,02	19,82		37,4	59,43	22,03		90	85	46	0						
C15	0	1 z.e. C	1	Gravier sableux	2,61	25,60		29,77	54,84	25,07		40	29	11	0						
C15	3	4 z.e. C	2	Gravier limoneux	2,48	24,33		25,79	57,17	31,38		45	26	0	0						
C16	0	1 z.e. C	1	Gravier argileux	2,61	25,60						50	40	25	0						
C16	3	4 z.e. C	2	Gravier argileux	2,41	23,64						57	43	29	0						
C17	2	3 z.e. C	1	Argile limoneuse	2,3	22,56		31,43	53,27	21,84		74	59	32	0						
C17	3	4 z.e. C	2	Argile limoneuse	2,24	21,97		34,47	59,09	24,62		74	59	34	0						
C17	4	5 z.e. C	3	Argile limoneuse	2,11	20,70						86	72	36	0						
C18	3	4 z.e. C	1	Limons argileux	1,73	16,97						99	96	32	0						
C19	0	1 z.e. C	1	Gravier argileux	2,58	25,31						45	38	24	0						
C19	1	2 z.e. C	2	Argile graveleuse	2,3	22,56		41,43	61,77	20,24		65	53	36	0						
C19	4	5 z.e. C	3	Argile limoneuse	1,93	18,93						90	80	42	0						
C20	1	2 z.e. C	1	Gravier limoneux	2,6	25,51						43	33	0	0						
C20	3	4 z.e. C	2	Gravier limoneux	2,6	25,51						47	30	0	0						



### **C4.1.3 Résultats essais laboratoire – Puits route d'accès Kenié Oula - Koukoutamba**





## **GEOLOGIE – GEOTECHNIQUE**

### **Route d'accès (essais labo 2012)**

#### **Site du barrage**

Campagne Energoprojekt (1976)

Essais labo

Géophysique

Sondages

Campagne Tractebel Engineering (2012)

Essais labo

Géophysique

Sondages

Rapport final

#### **Zones d'emprunt**

Essais d'alcali réactivité

Granulométrie

## **HYDROLOGIE ET PRODUCTIBLE**

### **Analyse de l'eau**

Matières en suspension

Agressivité

### **Hydrologie**

### **Productible**

## **TOPOGRAPHIE**

### **Bornes topographiques**

### **Plans topographiques**