



REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE  
Ministère du Développement  
Rural et de l'Environnement  
Société Nationale du Développement Rural (SONADER)

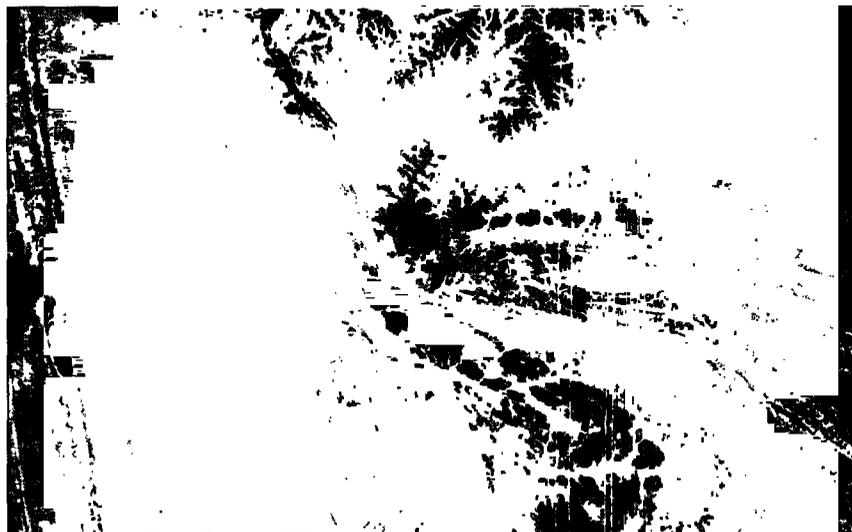
## EXPERTISE POUR L'AUSCULTATION DU BARRAGE

ET LE

SUIVI DE L'ENVASEMENT DE LA  
RETENUE DE FOUM GLEITA

# E1032

VOL. 3



### RAPPORT FINAL PROVISOIRE

*Avril 2004*

 **LAHMEYER  
INTERNATIONAL**

Bad Vilbel, Allemagne

Ingénieurs-Conseils

 **SCET - Rim**

Nouakchott, Mauritanie



**Client :**

**Société Nationale pour le Développement Rural (SONADER)**

B.P. 321

Nouakchott

Mauritanie

Téléphone : +222 (525) 18 00

+222 (525) 21 61

Télécopie : +222 (525) 32 86

**Financement :**

**Association Internationale du Développement (IDA)**

**Ingénieurs Conseils :**

**Lahmeyer International GmbH**

Friedberger Strasse 173

61118 Bad Vilbel

Allemagne

Téléphone : +49 (6101) 55-23 54

Télécopie : +49 (6101) 55-16 43

**SCET-Rim**

B.P. 40031

Socogim

TVZ, Villa No. 88

Nouakchott

Mauritanie

Téléphone : +222 (525) 01 93

Télécopie: +222 (525) 01 94

**Groupement d'experts :**

M. Lutz SCHEWE	Chef du projet, expert barrages	Lahmeyer International GmbH
Dr. Yannick SCHEID	Expert géotechnique	
M Jens RIEG	Expert hydromécanique	
M. Klaus SPONER	Expert topographie	
Dr. Terence MUIR	Expert hydrologie	
M. Mohamed Ould LEBATT	Géomètre	SCET-Rim
M. Abdellah Mokhtar SOW	Ingénieur général	

## SOMMAIRE

1	Généralités.....	5
2	Projet de Foug Gleita .....	8
2.1	Informations générales .....	8
2.2	Caractéristiques du barrage Foug Gleita.....	9
2.3	Bassin Versant.....	10
2.4	Conditions climatiques.....	11
2.4.1	Pluviométrie .....	12
2.4.2	Débits historiques du Gorgol .....	15
3	Résumé de la mission .....	18
3.1	Génie Civil .....	18
3.2	Equipement hydromécanique .....	18
3.3	Centrale hydroélectrique.....	19
3.4	Auscultation.....	19
3.5	Envasement de la Retenue.....	20
3.6	Coûts des mesures à prendre.....	20
4	Résumés des Missions précédentes .....	21
4.1	Mission de Décembre 1990 .....	21
4.2	Mission d'Août 1994 .....	21
4.3	Mission d'Août 2003 .....	22
5	Etat du barrage et des structures annexes .....	23
5.1	Génie civil.....	23
5.1.1	Observations pendant de l'Inspection.....	23
5.1.2	Analyse et estimation de la sécurité du barrage et structure annexes .....	30
5.1.3	Mesures à prendre .....	31
5.2	Equipement du Barrage et des structures Annexes .....	32
5.2.1	Equipement de la prise d'eau .....	32
5.2.2	Equipement de vidange de fond.....	33
5.2.3	Equipement du puits d'oscillation .....	34
5.2.4	Equipement du canal de restitution.....	36
5.2.5	Equipement du canal de dérivation.....	38
5.2.6	Groupe turbine hydroélectrique et générateur .....	39
5.2.7	Groupe diesel-électrogène .....	42
5.2.8	Généralités.....	43
6	Interprétation de l'auscultation du barrage.....	44
6.1	Etendue de la mission.....	44
6.2	Caractéristiques et état des appareils.....	44
6.3	Capacités techniques de l'agent SONADER.....	46
6.4	Levée automatique digitale .....	46
6.5	Niveau d'eau en amont, en aval et du canal de dérivation .....	48
6.5.1	Analyse .....	48
6.5.2	Mesures à prendre .....	48
6.6	Températures .....	49
6.6.1	Analyse .....	49
6.6.2	Mesures à prendre .....	49
6.7	Sous-pressions.....	49
6.7.1	Analyse .....	49
6.7.2	Mesures à prendre .....	50
6.8	Contraintes du barrage .....	50
6.8.1	Analyse .....	50
6.8.2	Mesures à prendre .....	51
6.9	Inclinométrie .....	51

6.9.1	Analyse .....	51
6.9.2	Mesures à prendre .....	51
6.10	Levée topographique .....	52
6.10.1	Analyse .....	52
6.10.2	Mesures à prendre .....	53
7	Analyse de l'envasement de la retenue .....	54
7.1	Transport de sédiments du bassin versant.....	54
7.2	Granulométrie des sédiments apportés .....	56
7.3	Estimation de l'apport en sédiment dans la retenue.....	57
7.3.1	Caractéristiques élévation-surface-volume .....	57
7.3.2	Estimation de la sédimentation de la retenue – Etude de base.....	58
7.3.3	Estimation de la sédimentation de la retenue – Etude de sensibilité.....	59
7.4	Conclusion et mesures à prendre .....	59
8	Levée bathymétrique de la retenue .....	61
8.1	Déroulement .....	61
8.2	Résultats.....	62
8.3	Levés bathymétriques futures .....	62
8.3.1	Définitions .....	62
8.3.2	Méthodologie.....	64
9	Gestion des eaux .....	66
9.1	Observations .....	66
9.2	Analyse et estimation de la sécurité du Canal d'Irrigation .....	66
9.3	Mesure à prendre .....	68
10	Références.....	69

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe A Fiche d'inspection génie civil
- Annexe B Plans
- Planimétrie de la Retenue
- BB.06.20 Turbine, Plan de Montage
- BB.20.S.101b Ouvrages de Dérivation, Dérivation Gorgol Noir, Vue en plan, coupes et détails
- BB.20.S.103 Ouvrages de Dérivation, Puits d'oscillation et branchements, Vue en plan et coupes
- BB.20.S.110a Ouvrages de Dérivation, Ouvrage de prise, Vue en plan, coupes et détails
- BB.20.S.113 Ouvrages de Dérivation, Puits d'oscillation et branchements, Vue en plan et coupes
- BB.30.U.102a Déblais de fondation, vue en plan coupe
- BB.30.U.108a Appareils de mesure et de contrôle
- BB.30.V.101a Barrage, Plan de section de bétonnage
- BB.30.V.110a Vidange de fond – Bloc 8 de +22,20 m à +36,00 m, plan de coffrage
- Annexe C Hydrologie de la région et sédimentation de la retenue
- C.1 Précipitations mensuelles des stations de la zone
- C.2 Précipitations mensuelles du bassin versant du Gorgol Noir
- C.3 Débits mensuels du Gorgol Noir à Foug Gleita
- C.4 Extrait de données bibliographiques des fleuves du monde et de leur apport en sédiment
- C.5 Distributions granulométriques de cinq échantillons de Foug Gleita (Août 2003)
- C.5.1 Distributions granulométriques de cinq échantillons prêts de la rive (Août 2003)
- C.5.2 Distributions granulométriques de cinq échantillons éloignés de la rive (Février 2004)
- C.6 Caractéristiques Elévation-Surface-Volume de la retenue de Foug Gleita
- C.7 Résultats des calculs du dépôt de sédiment dans le réservoir de Foug Gleita – Etude de base
- C.8 Résultats des calculs du dépôt de sédiment dans le réservoir de Foug Gleita – Etude de sensibilité

## Annexe D Auscultation

### D.1 Niveau d'eau

### D.2 Températures

#### D.2.1 Températures en amont

#### D.2.2 Températures en aval

#### D.2.3 Températures du béton – Plots 2 et 3

#### D.2.4 Températures du béton – Plot 4 (niveau +25 m et +33 m SNN)

#### D.2.5 Températures du béton – Plot 4 (niveau +05 m et +15 m SNN)

#### D.2.6 Températures du béton – Plot 5

#### D.2.7 Températures du béton – Plot 6

#### D.2.8 Températures du béton – Plot 7

#### D.2.9 Températures du béton – Plot 8 (niveau +27 m SNN)

#### D.2.10 Températures du béton – Plot 8 (niveau +15 m et +05 m SNN)

#### D.2.11 Températures du béton – Plot 9

#### D.2.12 Températures du béton – Plot 10

### D.3 Sous-pressions

#### D.3.1 Location des piézomètres – Plots 2, 4, 6 et 10

#### D.3.2 Sous-pression – Plots 2, 4, 6 et 10

#### D.3.3 Sous-pression (Plot 4) – Régression quadratique

### D.4 Contraintes

#### D.4.1 Contraintes horizontales – Appui droit (niveau +20 m SNN)

#### D.4.2 Contraintes horizontales – Appui droit (niveau +10 m SNN)

#### D.4.3 Contraintes verticales – Plot 4 (niveau +15 m SNN)

#### D.4.4 Contraintes horizontales – Plot 6 (niveau +15 m SNN)

#### D.4.5 Contraintes verticales – Plot 6 (niveau +15 m et -04 m SNN)

#### D.4.6 Contraintes verticales – Plot 8 (niveau -01 m SNN)

#### D.4.7 Contraintes horizontales – Appui gauche (niveau +25 m SNN)

#### D.4.8 Contraintes horizontales – Appui gauche (niveau +15 m SNN)

## Annexe E Levée bathymétrique de la retenue

### E.1 Vue en plan des axes

### E.2 Profil longitudinal

### E.3 Profil transversal

## Annexe F Coûts des mesures à prendre

## 1 Généralités

Se basant sur l'offre du 11 septembre 2002, l'attribution de l'offre à l'ingénieur conseil fut annoncée par voie orale le 30 juillet 2003. Le contrat N° 08/2003/CMC/SONADER « Auscultation et Dévasement Barrage Foug Gleita » fut envoyé le 11 août 2003.

Les services des ingénieurs conseils sont les suivants :

- Auscultation et suivi des ouvrages et de l'équipement
  - Analyse des données d'observations disponibles de l'auscultation du barrage et d'une inspection complète du barrage et de ses ouvrages annexes.
  - Inspection et étude de l'état des lieux des différentes composantes de génie civil avec une analyse du comportement général des anomalies éventuelles et propositions des mesures correctives ainsi que des coûts pour garantir la stabilité des ouvrages.
  - Analyse des caractéristiques et du fonctionnement des appareils d'auscultation pour une appréciation de leur état et, le cas échéant, de leur besoin de réparation ou de remplacement suivi d'une proposition des types et des coûts ; proposition des modalités pratiques de mise en oeuvre des mesures de redressement de l'auscultation.
  - Inspection et étude des équipements hydromécaniques du barrage avec une analyse du comportement et de l'état des lieux concernant le bon fonctionnement et proposition de mesures correctives, des besoins de réparation ou de remplacement en tenant compte des coûts.
  - Examen des capacités opérationnelles de l'agent de la SONADER en charge du suivi du barrage.
  - Mise en place d'un programme de suivi des ouvrages et des équipements y compris d'une proposition pour les installations d'auscultations nécessaires, d'un ordinateur et des logiciels pour l'évaluation des données d'auscultation et l'alimentation en énergie électrique.
  - Propositions sur les modalités de gestion et les mesures de maintenance des ouvrages et des équipements. Définition et estimation des coûts du programme de supervision des ouvrages et des équipements du barrage.
- Etude et suivi de l'envasement de la retenue
  - Etude hydrologique du bassin versant.
  - Analyse du processus d'envasement de la retenue en relation avec les conditions naturelles du bassin versant.
  - Analyse du degré actuel d'envasement de la retenue déterminée par la bathymétrie en tenant compte du plan topographique initial de la cuvette.
  - Proposition de mesures de suivi de l'envasement futur.
  - Discussion et proposition des mesures de limitation de l'envasement.

L'objectif de l'expertise est de garantir le bon fonctionnement des ouvrages et des équipements du barrage et du périmètre irrigué.

Peu après l'attribution les activités des ingénieurs conseils ont débuté en août 2003 avec l'inspection de la retenue par l'hydrologue spécialiste en envasement. Le but de la visite était de juger de l'envasement de la retenue avant la saison pluvieuse, quand le niveau d'eau était au minimum et de collecter toutes les données hydrologiques nécessaires pour la détermination de l'envasement.

Les interventions de l'équipe d'experts en Mauritanie ont eu lieu entre le 27 janvier 2004 et le 12 février 2004. Les tâches suivantes ont été exécutées :

- Etudes des documents disponibles et analyse des données d'auscultation.
- Analyse de la situation actuelle.
- Investigation des conditions sur site (comportement et fonctionnement des ouvrages, les équipements et les appareils d'auscultation).
- Bathymétrie de la retenue.
- Rédaction du rapport initial.

Pour les investigations à Foug Gleita, une fiche d'inspection a été préparée (Annexe A). Elle indique toutes les informations importantes à prendre sur le terrain concernant l'état du barrage, de ses annexes, les parties hydromécaniques et la retenue. Un point fort était mis sur la situation de l'auscultation du barrage. La fiche est basée sur les demandes formulées par la Banque Mondiale et la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB-ICOLD, 1987, 1988a, 1988b, 1998). Ce document permet ainsi de déterminer la sécurité du barrage et les éventuelles mesures de réhabilitation à prendre. Les demandes au suivi du barrage et à l'auscultation peuvent en être définis.

La fiche d'inspection (Annexe A) est divisée en trois parties qui sont les :

- Informations générales
- Informations de base
- Informations acquises lors de l'inspection

Toutes les informations données dans la fiche d'inspection ont été acquises sur site, soit suite aux informations de l'agent de la SONADER, soit par inspection visuelle des experts. De plus, les données des rapports précédents disponibles ont été consultées comme cela est indiqué dans la fiche. Le sommaire de la fiche d'inspection utilisée sur site est présenté dans le Tableau 1.1.

**Tableau 1.1 : Sommaire de la fiche d'inspection**

Page :

<b>Informations générales :</b>	
IG.01. Sommaire	
IG.02. Location	
IG.03. Structures et installations	
IG.04. Investigateurs de mission d'inspection	
IG.05. Assistance SONADER	
<b>Informations de base</b>	<b>1</b>
IB.01. Description du barrage	1
IB.02. Documents disponibles	1
IB.03. Photos	2
<b>Informations acquises lors de l'inspection</b>	<b>3</b>
II.01. Crête du barrage	3
II.02. Fondation du barrage	3
II.03. Pied du barrage en aval	3
II.04. Béton du corps du barrage	4
II.05. Déversoir	4
II.06. Vidange de fond	5
II.07. Station hydroélectrique	5
II.08. Prise d'eau	6
II.09. Puits d'oscillation	7
II.10. Canal de dérivation	8
II.11. Canal de restitution	9
II.12. Turbine génératrice	10
II.13. Envasement de la retenue et en aval	11
II.14. Eau de la retenue	11
II.15. Canal d'irrigation	12
II.16. Instrumentation d'auscultation (barrage et fondations)	12
II.17. Etat et évaluation de l'auscultation	13
II.18. Maintenance	14
II.19. Réhabilitations effectuées	14

## 2 Projet de Foug Gleita

### 2.1 Informations générales

SOMMAIRE	
Nom du barrage :	Foug Gleita
Année de construction :	1981-1984
Année de mise en oeuvre :	1984
LOCALISATION	
Pays, Wilaya, Moughataa :	MR, Gorgol, M'Bout
Coordonnées :	N15°50' O11°40'      N17°40' O12°40'
Rivière :	Gorgol Noir
Accès :	par piste venant de Kaédi (distance 115 km, durée 2 h en période sèche)
STRUCTURES ET INSTALLATIONS	
Barrage :	barrage voûte, hauteur maximale: 45 m (de -6,97 m à +38,00 m) longueur en crête: 117 m largeur en crête: 3,05 m largeur maximale à la base: 13 m
Déversoir :	Type : seuil libre, capacité : 300,0 m <sup>3</sup> /s Niveau à la crête: 33,80 m SNN
Retenue:	minimale : 30,00 m SNN normale : 33,80 m SNN maximale : 36,90 m SNN (Retenue maximale : 500·10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Débits d'eau d'irrigation (nominal)	6,0 m <sup>3</sup> /s
Installation hydroélectrique :	Type: Francis horizontale, capacité: 18 PS
Vidange de fond :	1,70 m x 1,70 m avec 2 vannes glissantes
Prise d'eau :	diamètre 3,70 m avec 2 grilles et 1 vanne glissante
Puit d'oscillation :	1 vanne batardeau (fermeture canal d'irrigation ou de restitution)
Régulation de prise d'eau :	1 vanne secteur pour canal d'irrigation et 1 vanne secteur pour canal de restitution

## 2.2 Caractéristiques du barrage Foug Gleita

Le barrage-voûte de Foug Gleita est situé dans la partie méridionale de la Mauritanie, sur le confluent Gorgol Noir, en amont de sa confluence avec le Oued Gorgol Blanc et le fleuve Sénégal.

Les conditions géologiques ont été favorables. Les schistes quartzitiques ont un pendage de 50° à 60° vers l'aval. Ces roches sont saines, avec des intercalations occasionnelles de roche tendre. Les roches saines du fond de la vallée sont recouvertes de 25 m d'alluvions. Le barrage est fondé sur ces roches.

L'eau de la retenue est utilisée pour l'irrigation de terres agricoles dans le périmètre. La surface de la retenue s'étend sur 160 km<sup>2</sup> et a une capacité de 400 millions de m<sup>3</sup>. Avec une retenue normale de 400 millions de m<sup>3</sup>, soit 1,2 fois le débit annuel moyen de 340 millions de m<sup>3</sup>, à la côte 33,80 SNN et 1,1 milliards de m<sup>3</sup> à la côte 36,00 SNN, le barrage de Foug Gleita dont la première mise en eau est intervenue en 1983, permet d'irriguer actuellement un périmètre de 1.950 ha aménagé en deux phases :

- 550 ha réceptionnés et exploités depuis 1985;
- 1.400 ha réceptionnés et exploités depuis 1989.

Le barrage permet en outre de soutenir l'alimentation en eau du Gorgol en période d'étiage, pour l'exploitation de périmètres irrigués dans les zones de Lexeiba et de Kaédi.

Les ouvrages et équipements initiales se composent comme suit :

- Barrage voûte en béton (hauteur de 45 m, longueur en crête de 117 m, largeur en crête de 3,50 m et largeur à la base de 13 m), s'appuyant sur deux appuis rocheux (voir les plans annexes BB.30.U.101a et BB.30.U.102a en Annexe B).
- Déversoir central à la crête, capable d'évacuer une crue de 300 m<sup>3</sup>/s (voir le plan annexé BB.30.U.101a).
- Puits d'oscillation équipé d'un batardeau permettant la restitution ou la dérivation des eaux suivant sa position (voir le plan annexé BB.20.S.103).
- Prise d'eau à la fin de la galerie de dérivation, comportant en amont une grille de protection, une vanne wagon, une vanne glissière et une petite turbine hydroélectrique (voir les plans annexes BB.20.S.110 et BB.30.V.110)
- L'ouvrage de décharge distribue l'eau, soit dans le Gorgol Noir, soit dans le canal d'irrigation (voir le plan annexé BB.20.S.101b).

Le barrage était initialement équipé d'appareils d'auscultation, permettant d'apprécier le comportement du barrage et de déceler d'éventuelles anomalies qui pourraient causer sa dégradation.

Les appareils de mesure se composent comme suit (voir aussi le plan BB.30.U.108) :

- 40 thermomètres permettant de mesurer la température de l'air, de l'eau de la retenue et du béton.

- 16 capsules tensiométriques pour mesurer les contraintes dans le béton.
- 5 piézomètres pour la mesure des surpressions.
- 3 inclinomètres permettant d'apprécier la rotation du barrage.

### 2.3 Bassin Versant

Le Gorgol, est le dernier affluent sur la rive droite du fleuve Sénégal. Il a un bassin versant d'une superficie totale d'environ 21.000 km<sup>2</sup>, situé entièrement en Mauritanie. Sa confluence qui se fait à la hauteur de Kaédi avec le Sénégal, se trouve donc à la frontière sénégal-mauritanienne. Il est entouré par trois Wilayas qui sont : le Brakhna à l'ouest-nord-ouest, le Tagant au nord et l'Assaba à l'est (Figure 2.1).

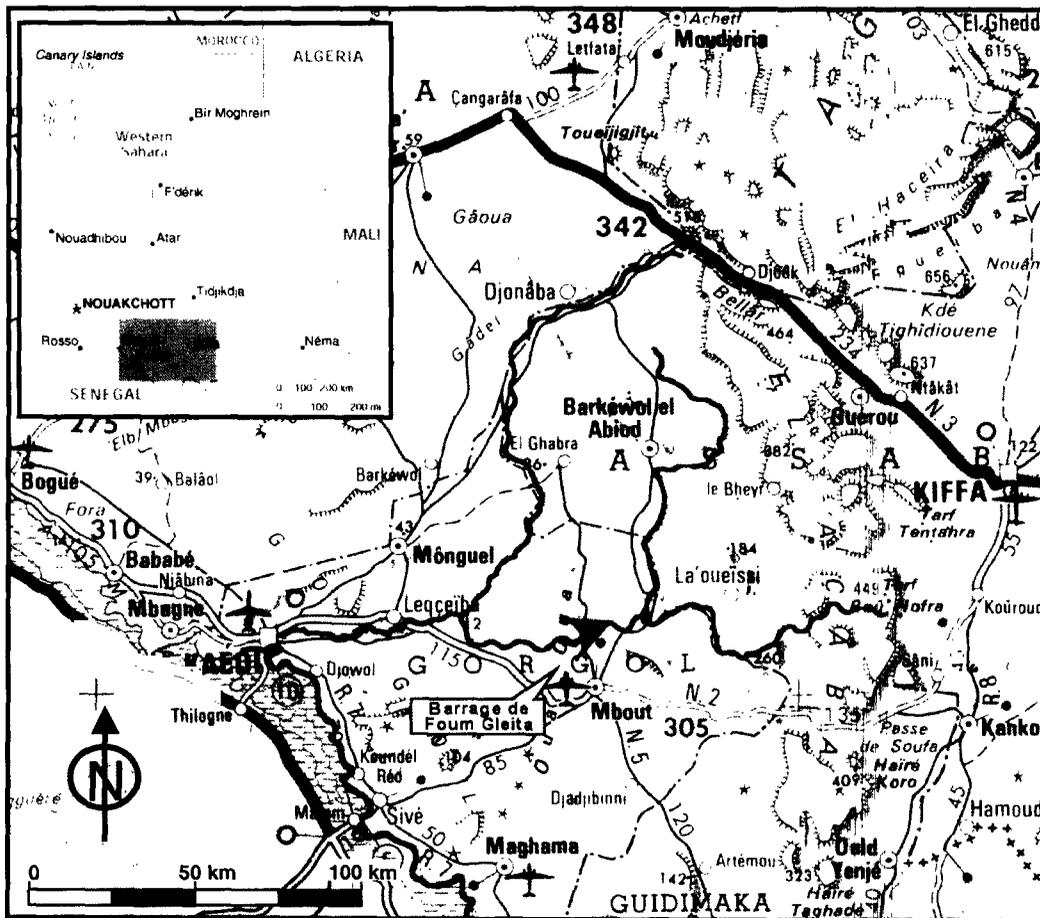


Figure 2.1 : Extrait de la carte géographique de la région du projet

Le bassin versant du Gorgol Noir à Foug Gleita est situé entre les latitudes 15°50'N et 17°05'N et les longitudes 11°40'W et 12°35'W (Figure 2.2).

Le bassin est limité à l'ouest par les montagnes du massif de Bellar (Asaba), où les élévations de fleuve sont d'environ 500 m SNN. L'altitude du lit du fleuve à l'emplacement du barrage de

Foug Gleita, où le fleuve coupe à travers les montagnes de Wa-Wa, est autour des 22 m SNN. Selon la monographie du plan Sénégal" (ORTSOM & Mission d'Aménagement du Fleuve Sénégal, 1967) la pente moyenne du fleuve principal est 0,37%. Le secteur du bassin de drainage est de 8.950 km<sup>2</sup> (Lahmeyer International GmbH et SCET-Rim, 2001).

Géologiquement, la plus grande partie du bassin versant est située dans la région dénommée la Ceinture des Mauritanides, une lieu fortement plié et métamorphisé de roches volcaniques des périodes Cambriennes et Cambriennes-Ordoviciennes.

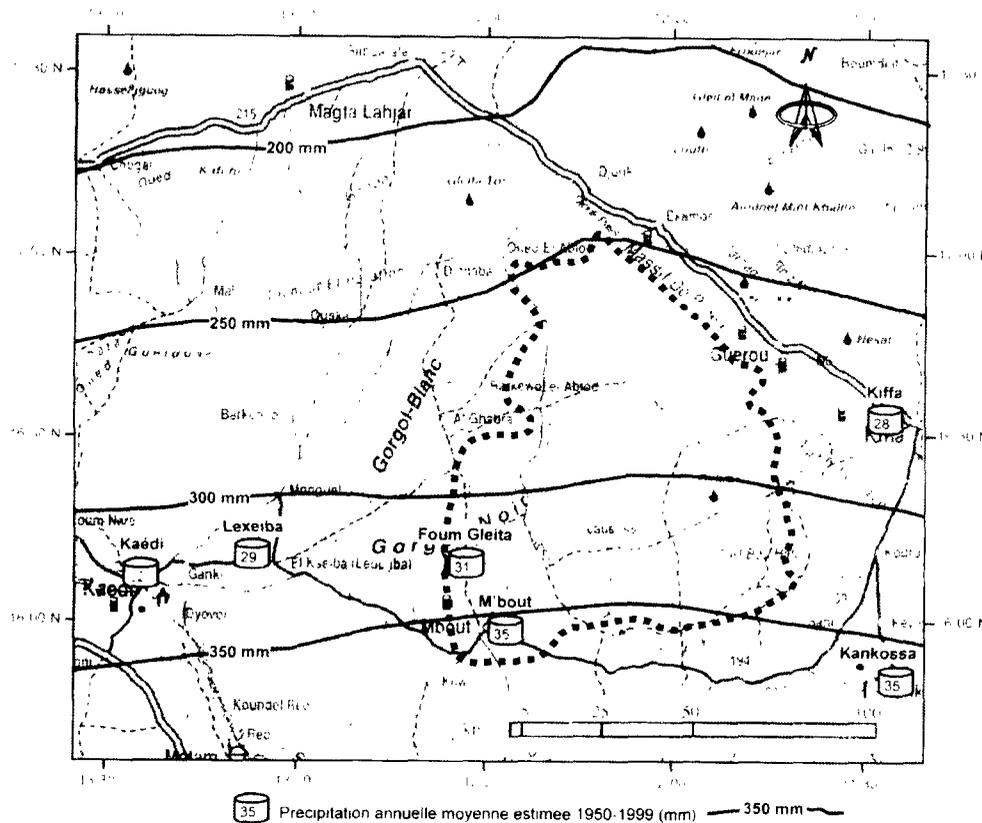


Figure 2.2 : Bassin versant de la retenue de Foug Gleita

Des dunes ont formé des sables quaternaires couvrant quelques parties du bassin de végétation limité avec des herbes et des buissons.

D'autres parties sont couvertes d'arbres et de buissons dispersés sur des sols argileux du bassin, habituellement épineux. Pendant la saison des pluies, nombreuses des petites herbes fournissent une couverture clairsemée sur les sols. Ce secteur fait partie de la zone géographique Sahélienne composée de steppes et de prairies de la savane.

## 2.4 Conditions climatiques

Le climat dans le bassin versant du Gorgol est lié à la position du front intertropical (FIT) qui sépare la mousson – masse d'air humide du sud-ouest – et l'harmattan – vent chaud et sec de l'est.

Au niveau du Gorgol, la saison des pluies (hivernage) s'étend de mai à novembre. La durée maximale de la saison des pluies serait d'environ 156 jours et la durée minimale de 85 jours.

La saison sèche est caractérisée par le manque de précipitations. Les masses d'air qui proviennent de l'est (harmattan), généralement de mars à mai, et du nord-est (alizé continental), sont extrêmement sèches.

Les températures minimales varient entre 16°C en décembre/janvier et 25°C en juin (Kaédi). Les maximales varient entre 31°C en décembre/janvier et 42°C en juin.

#### 2.4.1 Pluviométrie

Pour la zone de Foug Gleita, il n'existe qu'une série d'années relativement courte, de 1972 à 1975, qui ne permet pas de déductions quant au comportement des précipitations à long terme dans cette région. En tout cas, il est évident que la pluviométrie dans le bassin versant de Foug Gleita est significativement inférieure à celle de M'bout en raison de l'influence des Monts Wa-Wa.

Des observations pluviométriques à long terme dans la zone du projet ont été réalisées aux postes suivants : Kaédi, M'bout, Kankossa, Selibaby, Matam, Kiffa, Butlimit, Mudjeria et Lexeiba. A partir de cette base d'observations, des données pluviométriques mensuelles de la banque de données de la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural (DEAR) à Nouakchott sont :

- Kaédi : 1950 – 1999
- M'bout 1950 – 1999
- Kiffa : 1950 – 1999
- Kankossa : 1950 – 1998
- Lexeiba : 1979 – 1999
- Foug Gleita : 1972 – 1975

Les données compilées de ces six stations sont présentées en Annexe C.1. Un certain nombre d'observations mensuelles des stations Kaédi (1966, 1980 et 1983), Kankossa (1999) et Lexeiba (1982, 1983, 1988, 1989 et 1992) étaient absentes. Des évaluations de ces valeurs absentes ont été obtenues en utilisant la méthode 'multi-site multiple regression' (US Army Corps of Engineers, 1971) et sont incluses dans le Tableau en Annexe C.1.

Des valeurs de la précipitation annuelle moyenne au cours des 50 années de la période de 1950 à 1999 à Kaédi (320 millimètres), à M'bout (355 millimètres), à Kankossa (357 millimètres) et à Kiffa (287 millimètres), sont montrées sur la Figure 2.2.

La précipitation annuelle moyenne des stations de Kaédi, de M'bout et de Kankossa au cours de la période de 1950 à 1999 s'étend de 1,30 à 1,33 fois à celle au cours de la période de 1975 à 1999 à Lexeiba. La précipitation annuelle moyenne à Lexeiba au cours de la période de 50 ans a donc été estimée à  $1,32 \times 223 \text{ mm} = 294 \text{ mm}$ .

De même, la précipitation annuelle moyenne des stations de Kaédi, de M'bout et de Kankossa au cours de la période 1950-1999 s'étend de 1,11 à 1,17 fois à celle au cours de la période de 1972 à 1975 à la période d'observation au barrage de Foug Gleita. La précipitation annuelle moyenne à l'emplacement à Foug Gleita au cours de la période de 50 ans a donc été estimée à  $1,14 \times 277 \text{ mm} = 315 \text{ mm}$ .

L'évaluation de la précipitation moyenne annuelle de 50 ans au dessus du bassin versant de Foug Gleita calculée par méthode des polygones de THIESSEN sur base des quatre stations M'bout, Foug Gleita, Kankossa et Kiffa rapporte une valeur de 323 mm.

Cependant, comme peut être vu en Figure 2.2, les stations météorologiques ne sont pas distribuées uniformément autour du bassin versant. Les cartes d'isohyète de la Mauritanie montrent généralement que les isohyètes sont alignés est-ouest en déclination vers le nord, reflétant le mouvement de la zone intertropicale de convergence (ZCIT) et l'impact des vents de mousson du sud transportant l'humidité. Les isohyètes à 100 intervalles de millimètre représentés sur la Figure 2.2, prise de la carte produite par ROSELT/OSS (2004), manifestent un tel modèle et indiquent une précipitation annuelle moyenne du bassin versant du Gorgol Noir de 305 mm.

Une série de précipitations mensuelles au cours des 50 ans de la période de 1950 à 1999 pour le bassin versant du Gorgol Noir a été donc produite en combinant les enregistrements de M'bout, de Kankossa et de Kiffa, avec des poids de 0,67, de 0,11 et de 0,22, correspondant aux surfaces du polygone de Thiessen de ces stations, et graduant la série résultante pour donner une valeur annuelle moyenne de 305 mm. Cette série présentée en Annexe C.2.

Les caractéristiques des précipitations historiques mensuelles du bassin versant du Gorgol Noir sont présentées sur la Figure 2.3a.

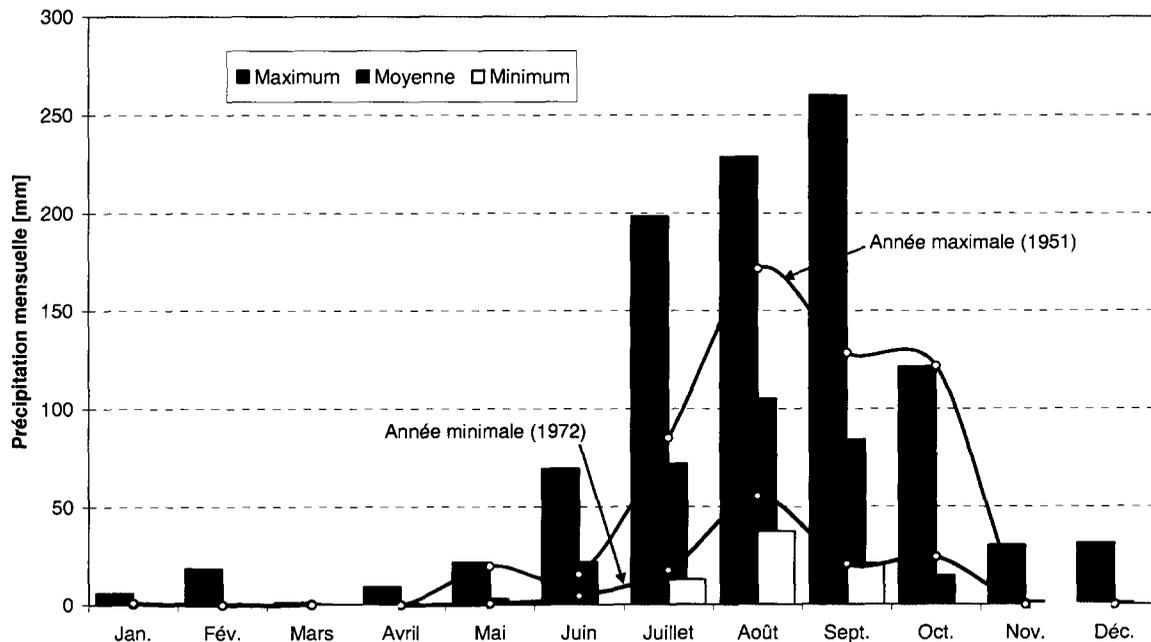
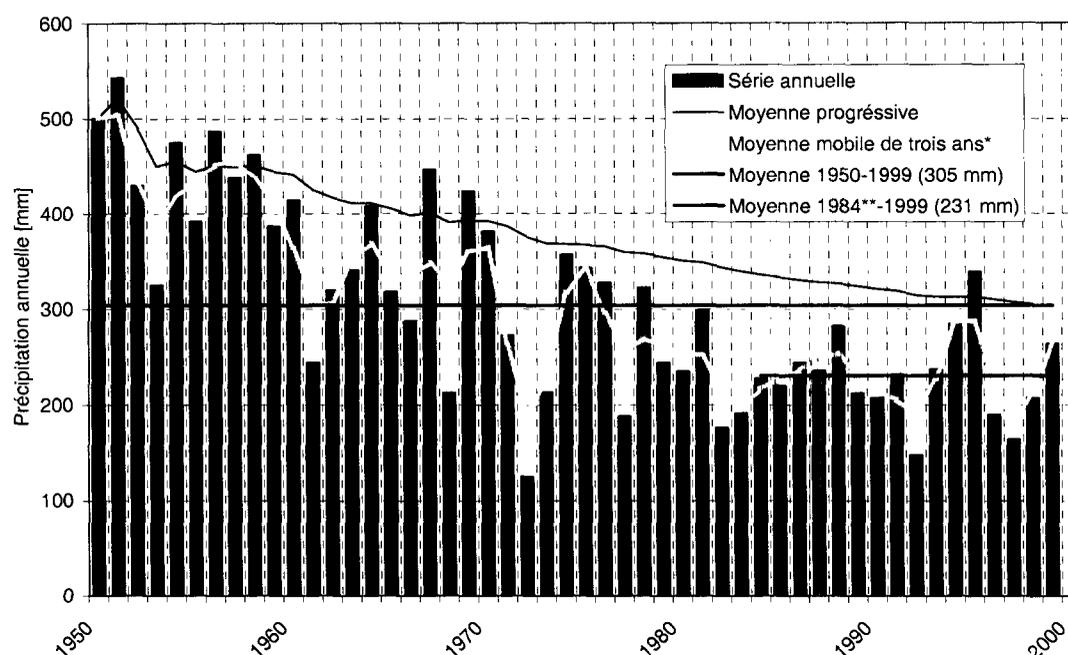


Figure 2.3a : Précipitations historiques mensuelles du bassin versant du Gorgol Noir



\* La moyenne mobile de trois ans, avec l'année en cours qui pèse 50% et l'année précédente et suivante qui pèse 25% chacune.

\*\* Le barrage de Foug Gleita a été commissionné en 1984.

**Figure 2.3b :** Précipitations historiques annuelles du bassin versant du Gorgol Noir

La série annuelle de la Figure 2.3.b montre clairement que la précipitation annuelle moyenne au cours de la période depuis 1984, quand le barrage de Foug Gleita a été commissionné, a été considérablement inférieure à la période précédente. Le Tableau 2.1 récapitule les caractéristiques de la série mensuelle de précipitation du bassin sur de la période de 50 ans et de la période de 16 ans depuis 1984.

**Tableau 2.1 :** Caractéristiques de la série mensuelle de précipitation du bassin

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
<i>Période : 1950 – 1999 (50 ans)</i>													
Moy.	0	1	0	1	3	22	72	105	84	15	2	1	305
%	0,1	0,2	0,0	0,2	1,0	7,0	23,9	34,9	27,0	4,9	0,5	0,3	100
Max.	6	18	1	9	22	70	199	229	260	122	30	31	543
Min.	0	0	0	0	0	0	13	38	21	0	0	0	125
C.V.*	3,67	4,21	4,08	2,77	1,75	0,73	0,55	0,43	0,61	1,47	3,70	4,40	0,34
<i>Période : 1984 – 1999 (16 ans)</i>													
Moy.	0	0	0	0	2	16	55	82	66	7	0	2	231
%	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	6,7	24,1	35,9	28,0	3,1	0,1	0,9	100
Max.	1	0	1	1	22	41	98	144	139	30	4	31	339
Min.	0	0	0	0	0	0	13	38	23	0	0	0	148
C.V.*	4,00	0,00	2,75	1,95	2,35	0,75	0,42	0,33	0,49	1,32	3,52	3,84	0,20

\* C.V. = coefficient de variation

## 2.4.2 Débits historiques du Gorgol

Une station hydrométrique a été établie par la Mission d'Aménagement du Sénégal sur le fleuve de Gorgol Noir à Foug Gleita en 1958. Des décharges moyennes de débits mensuelle au cours de la période 1958 à 1965, montrant des valeurs absentes dans les saisons des pluies de 1962 et de 1963, ont été présentées dans le rapport de SCET International et SEDES (1971). D'autres débits de décharge à l'emplacement du barrage pendant les années 1972-1975 et 1977-1978 ont été présentés par ORSTOM (1976 et 1979). Les enregistrements de débits mensuels à l'emplacement du barrage sont présentés en Annexe C.3.

La station hydrométrique a été abandonnée (sans remplacement à tout autre endroit) quand la construction du barrage a été lancée. Cependant, dans une étude récente Lahmeyer International et SCET-Rim (2001) ont reconstitué des apports mensuels au cours de la période de 1989 à 1999 au réservoir de Foug Gleita en considérant des enregistrements des niveaux d'eau du réservoir, des décharges vers l'aval (y compris par la centrale hydroélectrique), des approvisionnements pour l'irrigation, débits par déversoir et les pertes nettes d'évaporation estimées de la surface de réservoir. Les apports mensuels moyens au réservoir résultant d'établissement de bilan des termes ci-dessus sont inclus en Annexe C.3.

Les enregistrements des débits mensuels de la période historique complète de 1950 à 1999 a été reconstitué par Lahmeyer International et SCET-Rim (2001) en employant la méthode de régression à emplacement et intervalle multiple avec les séries mensuelles de précipitations pour Kaédi, M'bout, Kankossa et Kiffa. La série complète est montrée en Annexe C.3.

Les principales caractéristiques de la série de débits mensuels historiques du réservoir sont indiquées sur la Figure 2.4a.

La série annuelle de débits représentée sur la Figure 2.4b montre un débit moyen inférieur depuis la commission du barrage en 1984. Cependant, la différence entre les deux périodes 1950-1999 et 1984-1999 est minimale et peut refléter des inexactitudes dans les données de base utilisées dans les bilans du débit dans le réservoir.

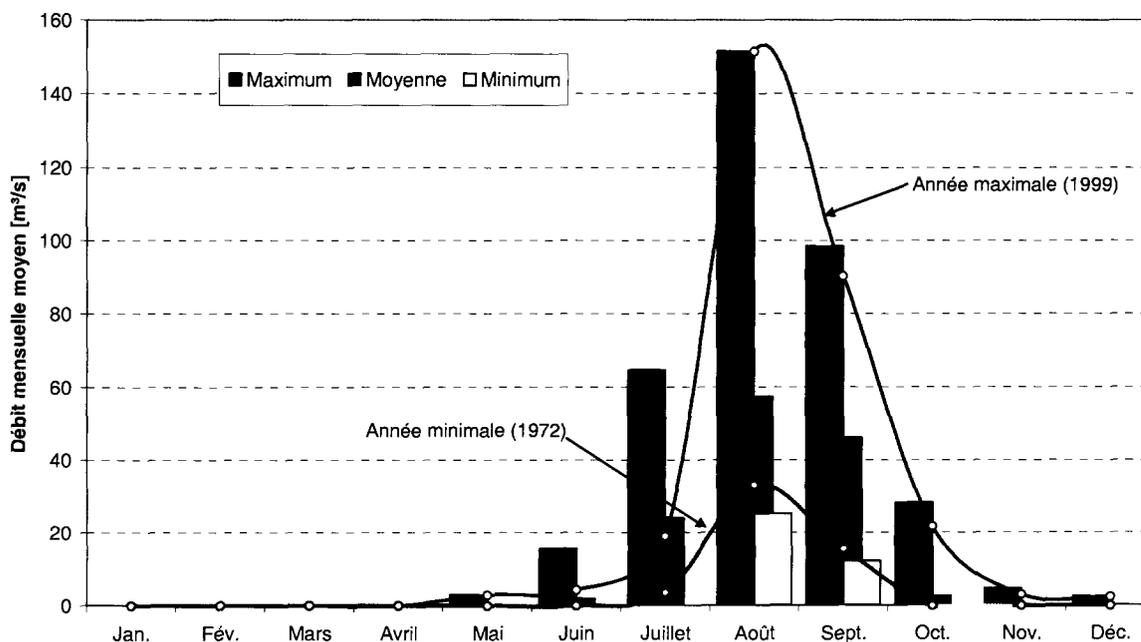
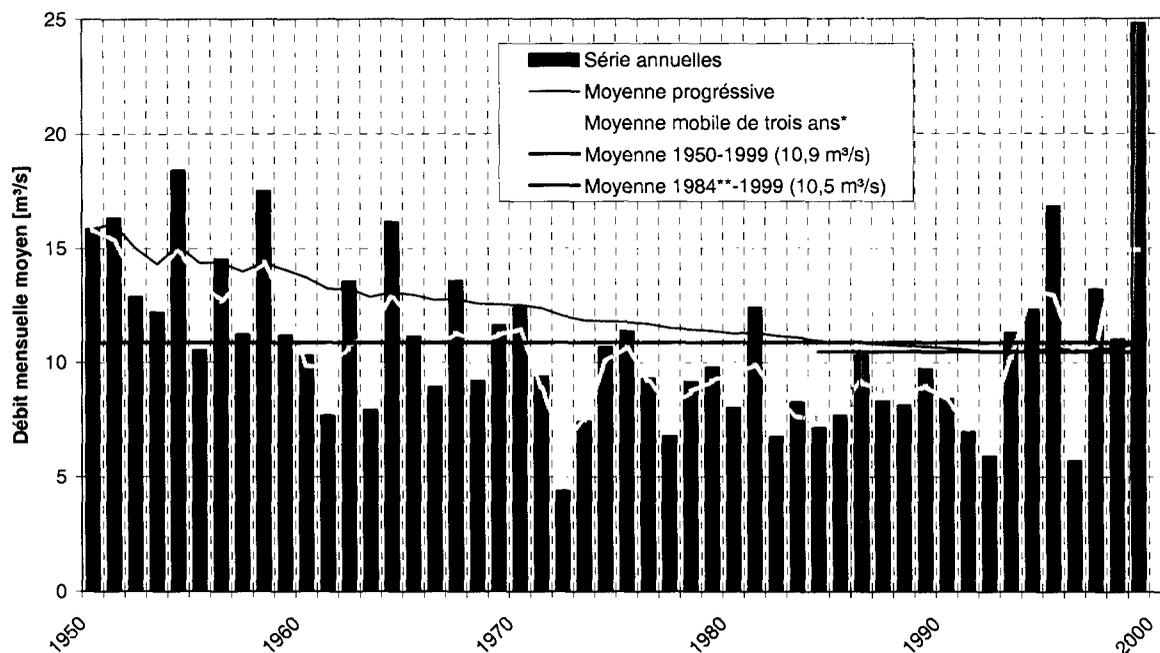


Figure 2.4a : Débits historiques mensuelles du réservoir de Foug Gleita



\* La moyenne mobile de trois ans, avec l'année en cours qui pèse 50% et l'année précédente et suivante qui pèse 25% chacune.

\*\* Le barrage de Foug Gleita a été commissionné en 1984.

**Figure 2.4b** : Débits historiques mensuelles du réservoir de Foug Gleita

Le Tableau 2.2 récapitule les caractéristiques de la série mensuelle de débits dans le réservoir sur les périodes historiques de 1950-1999 et de 1984-1999.

**Tableau 2.2 : Caractéristiques de la série mensuelle de débit dans le réservoir**

		Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
<i>Période : 1950 – 1999 (50 ans)</i>														
Moy.	m <sup>3</sup> /s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,81	24,13	57,27	46,05	2,50	0,20	0,05	10,88
	MCM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	4,7	64,6	153,4	119,4	6,7	0,5	0,1	343,4
	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	7,2	17,1	13,3	0,7	0,1	0,0	38,4
	l/s.km <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,7	6,4	5,1	0,3	0,0	0,0	1,2
%	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	18,8	44,7	34,8	1,9	0,2	0,0	100
Max.	m <sup>3</sup> /s	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	15,54	64,70	151,46	98,42	28,20	4,55	2,42	24,80
Min.	m <sup>3</sup> /s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,19	12,14	0,00	0,00	0,00	4,38
C.V.*	-	0,00	0,00	0,00	0,00	4,24	1,75	0,64	0,58	0,46	2,30	4,15	7,07	0,35
<i>Période : 1984 – 1999 (16 ans)</i>														
Moy.	m <sup>3</sup> /s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	1,91	20,34	58,07	40,17	3,21	0,63	0,15	10,47
	MCM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	4,9	54,5	155,5	104,1	8,6	1,6	0,4	330,4
	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	6,1	17,4	11,6	1,0	0,2	0,0	36,9
	l/s.km <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,3	6,5	4,5	0,4	0,1	0,0	1,2
%	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,5	16,5	47,1	31,5	2,6	0,5	0,1	100
Max.	m <sup>3</sup> /s	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	15,54	58,21	151,46	90,16	21,76	4,55	2,42	24,80
Min.	m <sup>3</sup> /s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,99	12,14	0,00	0,00	0,00	5,68
C.V.*	-	0,00	0,00	0,00	0,00	2,74	2,05	0,71	0,68	0,55	2,20	2,24	4,00	0,46

C.V. = coefficient de variation

### 3 Résumé de la mission

#### 3.1 Génie Civil

Début février 2004, le niveau d'eau amont était à la côte 33,80 m SNN (le niveau de la retenue normale) et le niveau d'eau en aval était à la côte 22,49 m SNN, donc 0,49 m au dessus du niveau normal. Le niveau d'eau aval est élevé en raison de sédiments dans le lit du Gorgol Noir. La demande de déblayer le banc de sable empêchant les débits d'eau en aval, vivement recommandée en 1994, est renouvelée.

Tous les ouvrages de génie civil, tels que le barrage en voûte avec le déversoir et la vidange de fond, les ouvrages de dérivation avec le puits d'oscillation et les ouvrages de prise se présentent généralement dans un état satisfaisant.

Les fuites minimales et les taches humides constatées pendant la retenue normale sur le parement aval du barrage sont sans signification et acceptables.

La fissure visible à la crête du Plot 11 entre le barrage et l'appui doit être suivie (voir Chapitre 3.4 et 6.8).

Aucune mesure de réhabilitation des structures génie civil n'est à prendre.

Toutes les lectures des instruments pour contrôler le comportement du barrage, réalisées dans la période de janvier 1986 jusqu'en 2004, indiquent un comportement normal avec des fluctuations saisonnières dépendant de la variation de l'eau dans la retenue et de la température de l'air.

Avec exception des sous-pressions en dessous du Plot 4 du barrage qui montrent une croissance constante depuis la mise en œuvre. Mais, elles sont loin d'atteindre un niveau critique.

Seulement un traitement des fissures superficielles sur la crête du barrage avec des résines d'époxy est recommandé.

Le canal d'irrigation aval du barrage se trouve dans un très mauvais état à cause de manque de maintenance entre autres. L'état du canal indique une érosion importante des digues latérales, un glissement du terrain et une destruction par des paysans pirates. Le débit d'eau désigne de 6,0 m<sup>3</sup>/s (juin-août) et 3,0 m<sup>3</sup>/s (novembre-février) est fortement diminué à cause de l'envasement et des végétations dans le canal.

Pour garantir une opération satisfaisante du canal d'irrigation et la mise en dispositions d'eaux suffisantes pour l'irrigation, la réhabilitation du canal est impérative.

#### 3.2 Equipement hydromécanique

Les inspections visuelles et les contrôles de fonctionnement ont montré que :

- les équipements du barrage avec des vannes glissières de la vidange de fond sont actuellement dans un bon état de service. Mais, une fuite peut être constatée sur la vanne en état fermé ;

- à la prise d'eau, tous les câbles pour lever la grille sont cassés. Une levée de la grille pour effectuer des travaux de maintenance n'est pas possible ;
- la vanne secteur du puits d'oscillation est dans un état de service partiellement mauvais et montre en position fermée une fuite importante probablement due à un manque d'étanchéité entre le seuil et la vanne ;
- les quatre montants de la grue à colonne du puits d'oscillation doivent être remplacés par des montants plus long pour pouvoir permettre un déplacement et un soulèvement complet de la vanne batardeau ;
- les équipements du canal de dérivation sont dans un état satisfaisant à bon : la vanne de la vidange de fond n'a jamais été utilisée et aucune fuite n'a été décelée; les deux vannes de régulation n'indiquent aucun problème ;
- la vanne secteur du canal de restitution est dans un mauvais état. La vanne montre une fuite importante en position fermée. Le réglage automatique de la hauteur de l'eau est hors de fonction. La vanne secteur ne peut pas être tenue ouverte à cause des fuites d'huile du servomoteur et du groupe hydraulique.

Un des objectifs principaux pour le bon fonctionnement du barrage de Foum Gleita avec les structures annexes est un remplacement des équipements détériorés comme les câbles de la grille de la prise d'eau et des joints latéraux des vannes et des batardeaux, le nettoyage et le graissage des parties mobiles des vannes et la préservation de ces équipements dans un bon état de maintenance.

### 3.3 Centrale hydroélectrique

La centrale hydroélectrique, qui est installée directement en aval du barrage à gauche du déversoir est dans un état satisfaisant. Mais, la turbine ne peut être utilisée seulement pour une courte durée (2 à 3 heures) à cause des températures ambiantes très élevées. L'installation d'un système de climatisation peut permettre d'utiliser la turbine plus fréquemment dans le futur.

### 3.4 Auscultation

Beaucoup d'appareils sont tombés en panne. Aujourd'hui, 29 instruments d'auscultation sont défectueux (1 piézomètre, les 3 inclinomètres, 5 tensiomètres et 20 thermomètres). La raison des pannes peut être due à une déconnexion des câbles sur les distributeurs placés sur le corps du barrage en aval.

Les capacités techniques de l'agent SONADER, M. HABIBOULLAH en charge du suivi du barrage sont exemplaires. Les ingénieurs conseils recommandent de réserver un ordinateur à M. HABIBOULLAH au siège de la SONADER à Nouakchott, mais pas au barrage.

S'il n'est pas possible d'avoir une personne en permanence sur le site, il serait nécessaire d'assurer une levée mensuelle.

Pour une gestion optimale de la retenue, il est absolument nécessaire de compléter les échelles de crue. La révélation du niveau d'eau dans le canal de dérivation d'eau permettra de documenter la gestion des eaux pour l'irrigation du périmètre aménagée.

L'évaluation des données des piézomètres démontre que la roche de fondation est saine et solide.

Afin de mieux analyser les contraintes mesurées, il serait recommandé de mesurer les déformations du barrage. Un point fort est à mettre sur l'appui gauche au niveau de la crête qui se trouve rapproché du niveau +25 m SNN où des tensions ont été observés. Le théodolite de mesure est en panne et n'a pas été ajusté depuis une longue période. Le théodolite est à remplacer par un nouvel appareil, si une réparation ne s'avère pas réalisable. De préférence un tachymètre est à acquérir.

Il est conseillé d'entreprendre cette levée topographique dans le délai le plus court. Les points d'emplacement de l'appareil sont à réhabiliter et leurs coordonnées à redéfinir. Les ingénieurs conseillent de charger une entreprise de topographie à conduire ces levées périodiques.

### **3.5 Envasement de la Retenue**

Sur la base des débits moyens annuels du Gorgol Noir et le transport moyen annuel des sédiments, l'envasement annuel de la retenue est de l'ordre de  $0,269 \cdot 10^6$  t.

Depuis la période opérationnelle de 20 ans, l'envasement était de  $4,4 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, dont  $1,6 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> se sont déposés dans la réserve utile. Ceci correspond à une perte de 0,4 % de réserve utile.

Pour une période opérationnelle de 50 ans l'envasement sera d'environ  $10,5 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, dont  $4 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> se déposeront dans la réserve utile. Ceci correspond à une perte de 1 % de réserve utile.

Il peut en être conclu que la perte de réserve utile n'est pas un problème. L'approvisionnement futur est garanti et aucune mesure n'est à prendre.

### **3.6 Coûts des mesures à prendre**

Les coûts des mesures à prendre sont présentés en Annexe F.

## **4 Résumés des Missions précédentes**

### **4.1 Mission de Décembre 1990**

Une mission a été conduite en 1990 par les Messieurs LUFT et HEYER de Lahmeyer International GmbH (Luft & Heyer, 1994). Il s'agissait de la deuxième mission dans le cadre d'un contrat d'assistance technique pour l'aménagement hydro-agricole du Gorgol Noir, Barrage de Fom Gleita entre la SONADER et Lahmeyer International GmbH.

Lors de la mission effectuée, selon les experts, les ouvrages génie civil se trouvaient dans un état satisfaisant.

La potence tournante installée sur le puit d'oscillation pour la manipulation du batardeau était hors service.

La construction d'une maison pour la SONADER a été recommandée, après que les deux maisons présentes ont été reprises par l'armée.

Les experts ont recommandé l'achat d'outils de base pour des petits travaux d'entretien et de réparation.

Le niveau d'eau en aval était élevé dû à un banc de sable qui se situe à 800 m du barrage. Les experts ont indiqué la nécessité d'excavation dans le lit.

La surface du béton de la première travée du déversoir montrait quelques insuffisances. Il a été conseillé de suivre avec attention cette affaire.

La lecture des instruments d'auscultation indiquait un comportement normal du barrage. Il en a été déduit que le barrage suivait les prévisions prises.

### **4.2 Mission d'Août 1994**

Une mission a été conduite en 1994 par les Messieurs KOHLI et DE LA FUENTE de Lahmeyer International GmbH (Kohli & de la Fuente, 1994). Il s'agissait de la troisième et dernière mission dans le cadre d'un contrat d'assistance technique pour l'aménagement hydro-agricole du Gorgol Noir, Barrage de Fom Gleita entre la SONADER et Lahmeyer International GmbH.

Lors de la mission effectuée selon les experts, les ouvrages génie civil se trouvaient dans un état satisfaisant. Des fuites minimales et acceptables sur le parement aval pendant l'hivernage ont été rapportées aux experts.

Pendant la visite le niveau d'eau de la retenue était de +31,87 m SNN en amont et de +24,63 m SNN en aval. Le niveau d'eau élevé en aval est dû à un banc de sable qui se situe à 500 m du barrage. Les deux experts ont indiqué la nécessité absolue de déblayer ce banc.

La galerie en rive droite présentait des taches humides sur les flancs et sur la voûte. Des traces d'oxyde de fer sur les parties en contact avec le béton indiquaient des écoulements d'eau pendant l'hivernage. Il s'agissait de fuites négligeables.

Les drains de rive droite étaient secs. En rive gauche, de légères fuites émanant du forage DG7 provoquaient des quantités d'afflux négligeables.

La lecture des instruments d'auscultation indiquait un comportement normal du barrage. Une interprétation de l'auscultation était présentée indiquant que les lectures des instruments à partir de 1994 n'étaient plus plausibles sans préciser de quelles lectures il s'agissait. Les auteurs constatent que 20 sur 64 instruments ne fonctionnaient plus. L'état de fonctionnement était le suivant :

- Thermomètres (28 sur 40 en état de fonction)
- Capsules tensiométriques (12 sur 16 en état de fonction)
- Piézomètres (4 sur 5 en état de fonction)
- Inclinomètres (0 sur 3 en état de fonction)
- Mires de levées topographiques (5 sur 9 mires visibles)

Les piézomètres auscultés indiquaient que la pression en amont était totalement ramenée à la pression en aval. Aucune information n'était donnée sur la rotation du pied du barrage voûte puisque les inclinomètres n'étaient plus en état de fonction. Un déplacement radial acceptable de 10 mm au centre du barrage a été retenu. La répartition des contraintes et leurs valeurs de 26 bars correspondaient à peu près aux valeurs calculées.

Concernant la gestion des eaux, les auteurs indiquaient l'utilité d'installation d'un débitmètre.

#### **4.3 Mission d'Août 2003**

Après la notification de l'ordre de service du contrat présent en août 2003, une mission initiale a été effectuée par le Dr. MAJOR, hydrologue de chez Lahmeyer International GmbH (Major 2003).

Des échantillons ont été relevés lors de la visite.

Pendant la visite le niveau d'eau de la retenue en amont était de +33,75 m à la suite d'importantes précipitations.

Le Dr. MAJOR a fortement conseillé d'entreprendre les missions suivantes après la saison pluvieuse.

## 5 Etat du barrage et des structures annexes

### 5.1 Génie civil

#### 5.1.1 Observations pendant de l'Inspection

Pendant la visite d'inspection du 02 au 05 février 2004 la retenue avait un niveau d'eau de 33,80 m SNN en moyenne, ce qui correspond à la retenue normale. Pour cause de vent de sable, l'eau était agitée. Des vagues d'une hauteur de 1,50 m ont pu être observées. Ceci a mené au déversement temporaire par le déversoir de crue.

Le niveau d'eau en aval était de 22,49 m SNN. Ce qui est de 0,49 m au dessus du niveau recommandé de 22,00 m SNN (Annexe D.1). Le niveau d'eau en aval élevé est dû à des sédimentations dans le lit du Gorgol Noir à 500 m en dessous du barrage à l'affluent du Oued Dalot du côté gauche avec le Gorgol Noir. A cause d'une variation saisonnière entre sédimentation et érosion à ce niveau des changements du niveau d'eau d'aval peuvent être observés sans déversement de crue par déversoir.

#### Barrage en voûte

Du côté amont, seulement 4 m de hauteur du barrage peuvent être inspectés (Figure 5.1). La section amont du béton ne montre pas de détériorations.

La qualité des parties visibles du béton en aval est de très bonne qualité. Des réactions agrégats-alcaliques ne peuvent pas être observées. Les joints verticaux qui ont été imperméabilisés avec des water stops ne montrent pas de signes d'écoulement ou d'ouvertures (Figure 5.2).

Les joints horizontaux sont en majorité imperméables. Trois endroits montrent des insuffisances. Le joint horizontal du Plot 1 montre des écoulements minimaux au niveau de +28 m SNN (Figure 5.3). Le joint horizontal du Plot 9 au niveau +34 m SNN est humide (Figure 5.4). Sur le Plot 11 le joint horizontal au niveau de +28 m SNN montre des taches humides. Mais, des gouttes d'eau s'écoulent du drainage au dessus de ce joint (Figure 5.6).

Seulement quelques endroits isolés du corps aval du barrage montrent des fissures horizontales et verticales irrégulières d'une longueur de quelques mètres (Figure 5.7). Comme ces fissures d'une largeur de 1 à 2 mm sont superficielles, un risque de stabilité pour le barrage peut être exclu. Des écoulements d'eau ne sont pas présents sur ces fissures.

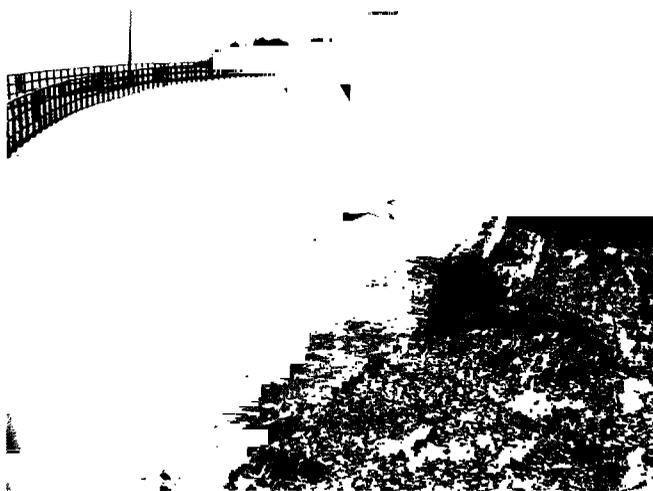
Le béton superficiel de la crête montre des fissures irrégulières sur toute sa longueur mais d'une largeur très limitée (Figure 5.8). Les couvercles des chemins de câbles sont très endommagés. Les joints entre les plots montrent des fissures de moins de 3 mm (Figure 5.9).

Le seuil de déversoir ne présente pas de fissures, de signes d'érosions ou d'autres détériorations. Le bon déversement hydraulique est assuré (Figure 5.10).

Au niveau de la crête du côté de l'appui gauche, une fissure de quelques millimètres de largeur (< 5 mm) peut être observée (Figure 5.11). Cette fissure est du côté amont de la crête, mais ne se prolonge pas jusqu'à l'aval du barrage.



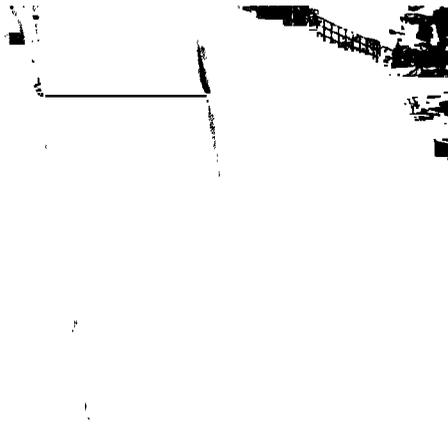
**Figure 5.1** Barrage en voûte, vu amont à retenue normale



**Figure 5.2** Barrage en voûte, vu aval



**Figure 5.3** Joint horizontal, Plot 1, niveau 28 m SNN, avec fuite d'eau



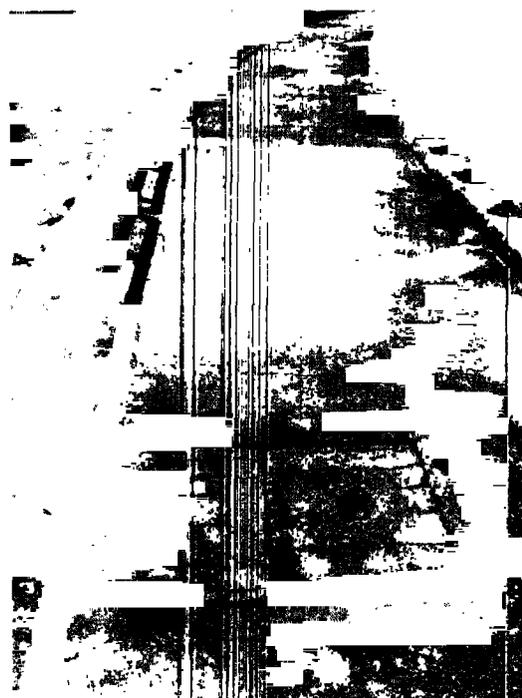
**Figure 5.4** Joint horizontal, Plot 9, niveau 34 m SNN, avec fuite d'eau



**Figure 5.5** Joint horizontal, Plot 11, niveau 28 m SNN, avec fuite d'eau



**Figure 5.6** Joint horizontal, Plot 11, niveau 28 m SNN, avec fuite d'eau



**Figure 5.8** Fissures sur la crête

**Figure 5.7** Fissures irrégulières, Plot 9



**Figure 5.9** Fissure perpendiculaire à l'axe sur la crête



**Figure 5.10** Déversoir



**Figure 5.11** Fissure sur l'appui gauche du barrage

Ni en amont ni en aval des fissures n'ont pu être observées sous la crête. En aval, entre la roche de fondation et le barrage des écoulements n'ont pu être observés ce qui indiquerait des fissures ou le décollement du barrage de la fondation.

Des écoulements par les appuis à gauche ou à droite n'ont pas pu être observés. La roche de fondation est suffisamment imperméable.

Pour cause du niveau d'eau aval élevé des écoulements de fond ne peuvent pas être observés.

Des atteintes à la stabilité des appuis ne pouvaient pas être observées.

### Prise d'eau

Le béton de la prise d'eau est en bon état et ne montre aucun signe de détérioration (Figure 5.12). Les grilles ne peuvent pas être manipulées à cause de câbles cassés.

La galerie entre la prise d'eau et le puits d'oscillation qui traverse l'appui gauche ne pouvait pas être inspectée. Mais grâce aux schistes quartziques stables de l'appui des bonnes conditions peuvent être considérées.



Figure 5.12 Prise d'eau

### Puits d'oscillation, canal de dérivation et canal de restitution

Le béton du puits d'oscillation (Figure 5.13) et des deux canaux (Figure 5.14) est en très bon état et ne montre pas de détérioration.



**Figure 5.13** Puits d'oscillation



**Figure 5.14** Canal de Restitution

### Station météorologique

La station météorologique (Figure 5.15) se situe en aval du barrage sur la rive gauche. La station n'est plus en état de fonction et ceci depuis quelques années. Elle se trouve dans un état absolument insuffisant.

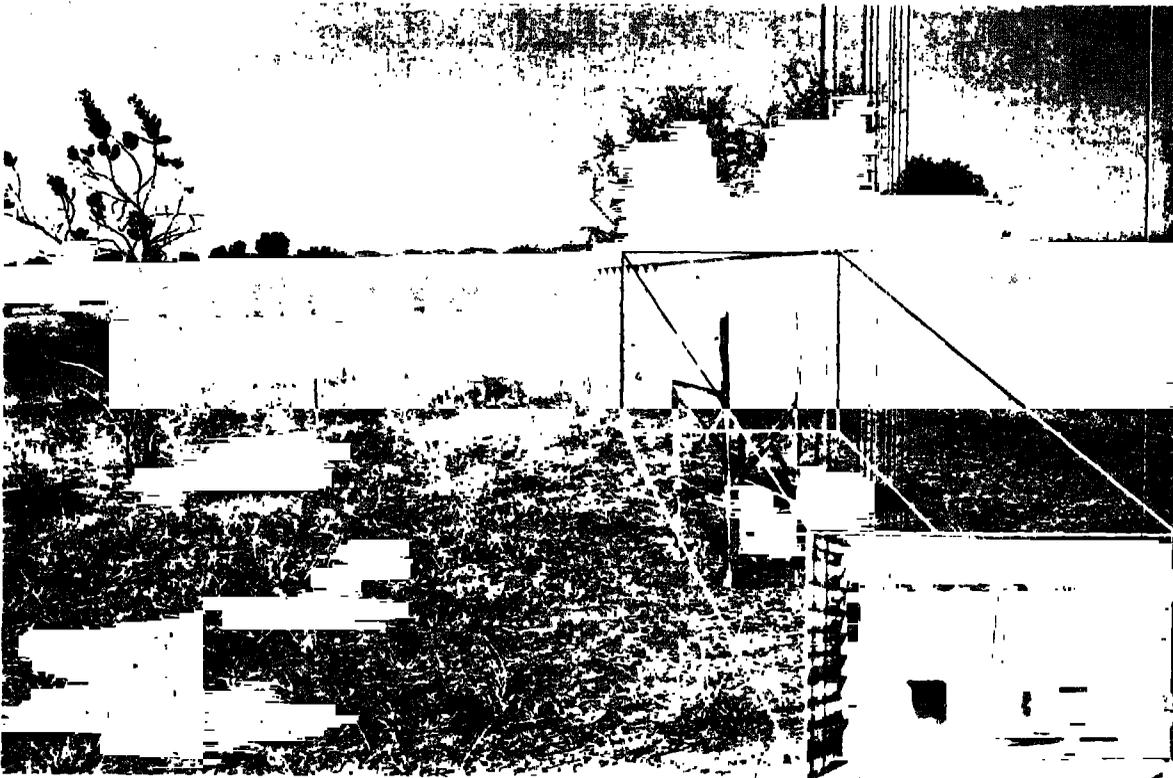


Figure 5.15 Station météorologique

#### 5.1.2 Analyse et estimation de la sécurité du barrage et structure annexes

Toutes les structures génie civil, comme la prise d'eau, le puits d'oscillation, le canal de dérivation et le canal de restitution ne montrent aucun signe de détérioration ou d'instabilité.

Aussi le corps du barrage et le déversoir ne montrent aucun signe de détérioration ou d'instabilité. Quelques fissures irrégulières en aval du barrage sont sans grandes extensions. Elles ne montrent pas d'humidité, donc il est à supposer qu'elles n'atteignent pas le côté amont et restent superficielles. Probablement, elles sont issues du refroidissement du béton pendant la construction. Elles ne présentent pas de risque en ce qui concerne la stabilité de l'ouvrage.

Les fissures irrégulières en crête du barrage ne proviennent pas de contraintes ce qui présenterai un risque pour la stabilité. Ce sont des fissures superficielles du béton secondaire qui proviennent de contraintes à la surface causées par des changements de température.

Des fissures dans le béton secondaire au dessus des joints horizontaux proviennent de déformations mineures relatives des plots, causées par des changements de pressions hydrostatiques. Ceci est normal et non un signe de manque de stabilité.

La fissure du béton au niveau de la crête sur l'appui droit doit être analysée plus en détail. Elle ne semble pas être critique, puisqu'elle n'a pas été observée en amont et proche de la crête seulement. De plus, des écoulements d'eau n'ont pas été observés indiquant une prolongation de la fissure d'amont en aval. Cette fissure n'a pas été mentionnée dans le rapport de 1994 (Kohli et de la Fuente, 1994). Ceci laisse à supposer qu'elle a été formée après 1994. Les causes de cette fissure sont des tensions pendant les crues provoquées par des déformations suites aux forces de l'eau élevées. Les déformations du côté gauche sont plus importantes pour cause de l'orientation des joints de la roche (voir Chapitre 6.7).

Les écoulements observés sur les trois joints horizontaux du béton ne posent pas de problèmes, car les écoulements sont minimaux. Les surfaces d'écoulement sont locales et ne comprennent pas toute la longueur du joint d'un plot. Le contact entre les deux blocs est suffisant. Un problème de stabilité ne se pose pas, les insuffisances restent restreintes.

### 5.1.3 Mesures à prendre

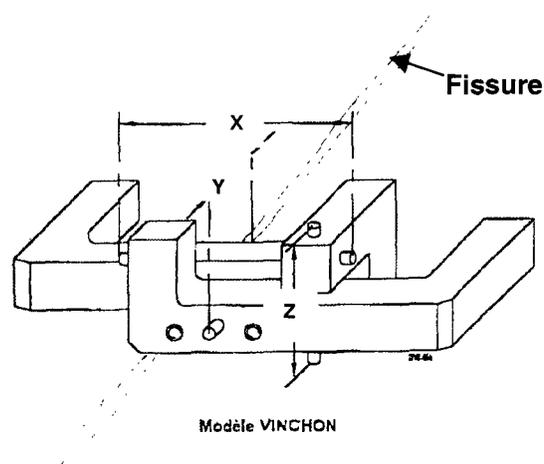
#### Structures annexes

Pour les structures génie civil, prise d'eau, puits d'oscillation, canal de dérivation et canal de restitution, aucune mesures de réhabilitation ne s'avèrent nécessaire.

#### Barrage

Après l'inspection et l'analyse du barrage voûte, les mesures suivantes sont proposées :

- La fissure du Plot 11 entre la crête et l'appui doit être suivie de préférence dans les trois dimensions. Un fissuromètre modèle VINCHON de l'entreprise TELEMAT est considéré utile à réaliser cette tâche. Cet appareil est fixé des deux côtés de la fissure dans la roche et le béton. La distance des vis micrométriques installées sur trois surfaces est mesurée par la suite comme indiquée en Figure 5.16. L'appareil doit être protégé.



**Figure 5.16** Fissuromètre type VINCHON

- Pour éviter la croissance des fissures sur la crête et une détérioration subséquente du béton secondaire la surface est à traiter avec des résines d'époxy. Ceci ne comprend pas les fissures au dessus des joints horizontaux qui réapparaîtraient en raison des mouvements continuelles de la crête. La fissure existante est à creuser, nettoyer et à remplir avec un matériau d'imperméabilisation élastique.

### **Station météorologique**

Pour une bonne gestion des eaux les données de la station météorologique sont indispensables. La station est à réaménager avec acquisition de tous les appareils de mesures nécessaires.

## **5.2 Equipement du Barrage et des structures Annexes**

Les équipements hydromécaniques et mécaniques du barrage de Foug Gleita ont fait l'objet d'une inspection et d'une évaluation technique au cours de la visite in situ qui a eu lieu du 02/02 au 04/02/2004.

Ci-après, nous avons décrit les équipements en question et consigné les connaissances acquises au cours de l'inspection ainsi que les différentes mesures à prendre dans le but de conserver en état de fonctionnement les différents composants de l'aménagement.

Par principe, il convient de constater que les équipements hydromécaniques et mécaniques se trouvent en bon état ou bien en état nécessitant une révision et une prise de mesures permettant de garantir leur fonctionnement.

### **5.2.1 Equipement de la prise d'eau**

Pour éviter, dans le canal de dérivation, diamètre 3,70 m, dans le canal d'irrigation et le canal de restitution, l'introduction de matériaux susceptibles d'obstruer ces ouvrages, deux grilles de 2.623 m de large x 3.150 m de haut, sont installées au droit de la prise d'eau. Ces grilles sont posées avec un angle de 45° en amont de l'entrée du canal de dérivation.

Pour pouvoir effectuer les opérations d'inspection et de nettoyage nécessaires, il est possible de relever les grilles au moyen de câbles de levage montés respectivement sur le cadre correspondant des grilles. Un dégrilleur n'existe pas.

L'organe de fermeture principal du canal de dérivation est représenté par une vanne wagon de prise de 2,20 m de large sur 2,60 m de haut qui est installée à l'aval des grilles. Cette vanne wagon est manœuvrée au moyen d'un groupe oléo-hydraulique avec servomoteur.

Voir Dessin N° BB.20.S.110, Rev. A, Annexe B Plans, «Ouvrages de Dérivation, Ouvrage de prise».

#### **5.2.1.1 Observation**

Suite à la corrosion et éventuellement en raison de collision avec des matériaux de charriage, les quatre câbles de levage qui permettent de hisser les deux grilles sont à présent rompus.

Compte tenu de l'état actuel de ces câbles, il n'est donc plus possible de hisser les grilles pour procéder à une inspection, à moins d'utiliser d'autres moyens plus complexes. D'après les déclarations de la SONADER ; aucune des deux grilles n'a été hissée et inspectée depuis la mise en service des équipements en 1983.

Comme la chambre de la vanne wagon n'était pas accessible au cours de l'inspection, il n'est pas possible de se prononcer sur l'état actuel de cet équipement. Les parties visibles de l'organe de manœuvre, à savoir: servomoteur et conduite d'huile au servomoteur, sont dans un état satisfaisant.

### 5.2.1.2 Analyse

Pour pouvoir hisser les deux grilles comme il se doit, un remplacement des quatre câbles de levage rompus s'avère indispensable.

### 5.2.1.3 Mesures à prendre

Il est expressément recommander de faire inspecter les deux grilles par un plongeur et de remplacer les quatre câbles de levage par de nouveaux câbles, afin de pouvoir, par le futur, effectuer des travaux d'inspection et de nettoyage.

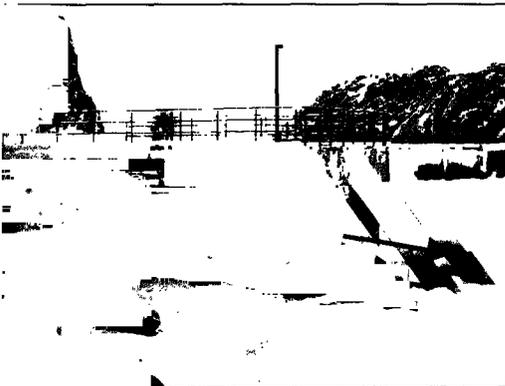


Figure 5.17 : Pris d'eau, câbles de levage de la grille

### 5.2.2 Equipement de vidange de fond

La vidange de fond du barrage peut être fermée par deux vannes planes glissantes couplées en série, à savoir une vanne de garde et une vanne de service de 1,70 m de large x 1,70 m de haut. Un servomoteur séparé pour chaque vanne avec un groupe oléo-hydraulique commun permettent d'ouvrir ou de fermer complètement les deux vannes de vidange de fond. Voir Dessin N° BO.30.V.110, Rev. E, Annexe B Plans, «Vidange de fond – Bloc 8».



**Figure 5.18:** Pris d'eau, Servomoteur et groupe oléo-hydraulique vannes planes

#### 5.2.2.1 Observation

Au cours de l'inspection, la vanne de service amont était en position complètement fermée, tandis que la vanne de garde aval était complètement ouverte.

Une fuite a pu être constatée à travers la vanne de service fermée, le débit de fuite à l'aval de cette vanne étant estimé à environ 3 - 4 l/s.

#### 5.2.2.2 Analyse

Les deux servomoteurs, le groupe oléo-hydraulique ainsi que les équipements électriques peuvent être considérés comme présentant un bon état général.

#### 5.2.2.3 Mesures à prendre

Le débit de fuite se trouve dans une marge acceptable. Il est toutefois recommandé d'effectuer très prochainement une inspection de la vanne de service et de la vanne de garde en examinant notamment leur étanchéité.

### 5.2.3 Equipement du puits d'oscillation

Au droit du puits d'oscillation se trouvent les équipements hydromécaniques et mécaniques suivants:

Pour la régulation de l'écoulement dans le canal d'irrigation, une vanne secteur de 2,00 m de large sur 2,00 m de hauteur est installée dans le puits d'oscillation. Cette vanne secteur est manœuvrée au moyen d'un groupe oléo-hydraulique avec servomoteur. Un indicateur de position permet de contrôler le degré d'ouverture de la vanne.

En supplément au dispositif de commande manuelle, on avait initialement prévu la possibilité d'une régulation automatique du débit à travers la vanne secteur, au moyen d'une mesure de niveau dans le canal de dérivation. Le dispositif de régulation automatique du débit est toutefois hors service depuis longtemps. Par le passé, on a, en effet, constaté qu'une commande manuelle de la vanne secteur par le personnel d'exploitation est largement suffisante pour permettre de réguler l'écoulement dans le canal d'irrigation.

Pour permettre des opérations d'inspection dans le canal de restitution et le canal de dérivation, une vanne batardeau de 3,40 m de large x 3,40 m de haut est prévue en tant qu'organe de fermeture pouvant être posé au droit du puits d'oscillation. Cette vanne batardeau peut être placée dans les pertuis de vanne à l'aide d'une grue à colonne fixe et d'un palonnier. La grue est installée sur le toit du puits d'oscillation à la cote 42,70 m au-dessus du niveau de la mer. Sa capacité portante est de 5 t Environ.

Voir Dessin N° BB.20.S.113 et N° BB.20.S.103, Annexe B Plans, «Ouvrages de Dérivation - Puits d'oscillation et branchements».

### 5.2.3.1 Observation

Au cours de l'inspection, on a constaté une fuite au droit de la vanne secteur en position fermée. Cette fuite se produit vraisemblablement au niveau de l'étanchéité de fond et se reflète à l'aval par la formation d'un fort tourbillon.



**Figure 5.19:** Puits d'oscillation, vanne secteur et groupe oléo-hydraulique

Pour hisser la vanne batardeau, l'ancienne grue à colonne fixe à un seul montant a, comme recommandé dans le rapport de Lahmeyer en 1994, été remplacée par une grue à colonne à 4 montants. Actuellement, il n'est cependant malheureusement pas possible avec cette nouvelle grue de hisser la vanne batardeau complètement pour pouvoir la déplacer entre les deux pertuis. La hauteur des crochets est en effet insuffisante.

Les garnitures d'étanchéité de la vanne batardeau sont très fragilisées et en parties mêmes fendues.

Le palonnier et la vanne batardeau elle-même sont très corrodés.



**Figure 5.20 :** Puits d'oscillation, grue à colonne fixe et le palonnier

### 5.2.3.2 Analyse

Pour pouvoir effectuer des travaux de réparation sur les équipements du canal de restitution, du canal de dérivation et sur la vanne secteur du puits d'oscillation, une réhabilitation de la vanne batardeau et de la grue à colonne fixe s'avère absolument indispensable.

### 5.2.3.3 Mesures à prendre

Les 4 montants de la grue à colonne doivent être remplacés par des montants plus longs pour pouvoir permettre un déplacement et un soulèvement complet de la vanne batardeau. La protection anti-corrosion qui est encore en partie présente sur le palonnier et la vanne batardeau doit être décapée et un nouvel enduit de protection anti-corrosif appliqué. Après réparation de la grue, la vanne batardeau doit être complètement hissée et les garnitures d'étanchéité de tête, latérales et de fond être remplacées par de nouvelles.

La vanne secteur, elle aussi, doit être complètement relevée et les garnitures d'étanchéité de tête, latérales et de fond être remplacées. Ce faisant, il conviendra également d'inspecter la surface d'appui des garnitures d'étanchéité.

Par ailleurs, un nettoyage général de l'équipement hydraulique devra absolument être effectué à fin de le débarrasser du sable et des incrustations qui entrave son bon fonctionnement.

## 5.2.4 Equipement du canal de restitution

Pour la régulation de l'écoulement de restitution dans le Gorgol Noir, une vanne secteur de 3.20 m de large sur 2.00 m de hauteur est installée dans le canal de restitution. Cette vanne secteur est manœuvrée au moyen d'un groupe oléo-hydraulique avec servomoteur. Un indicateur de position permet de contrôler le degré d'ouverture de la vanne.

Voir Dessin N° BB.20.S.113 et N° BB.20.S.103, Annexe B Plans, «Ouvrages de Dérivation - Puits d'oscillation et branchements».

#### 5.2.4.1 Observation

Au moment de l'inspection, la vanne secteur était fermée. Dans cette position, on a constaté une très forte fuite au niveau des garnitures d'étanchéité latérales et de tête de la vanne, tandis qu'il n'a pas été possible d'examiner l'état de la garniture de fond. La conduite d'huile haute pression du servomoteur au groupe oléo-hydraulique s'est avérée présenter une très forte corrosion. Les tuyauteries du servomoteur ne sont plus en mesure d'assurer pleinement leur fonctionnement.



**Figure 5.21** : Canal de restitution, vanne secteur et groupe oléo-hydraulique

D'après les informations obtenues auprès de la SONADER, la pression d'huile ne permet plus de maintenir la vanne secteur en position ouverte. Ceci laisse supposer que des fuites d'huiles se produisent dans le servomoteur et/ou dans le groupe oléo-hydraulique ou bien encore que les soupapes de commande ne fonctionnent pas.

#### 5.2.4.2 Analyse

Compte tenu de la forte corrosion de la conduite d'huile sous haute pression, l'exploitation de l'équipement n'est plus possible pour des raisons de sécurité. Le débit de fuite extrêmement élevé au niveau de la vanne secteur en position fermée dépasse les limites acceptables et ne permet plus un fonctionnement correct de cet équipement.

L'état général des équipements hydromécaniques et mécaniques du canal de restitution doit être considéré comme étant mauvais. Une réhabilitation est absolument indispensable.

#### 5.2.4.3 Mesures à prendre

La vanne secteur doit être complètement relevée et les garnitures d'étanchéité de tête, latérales et de fond être remplacées. Ce faisant, il est également indispensable d'inspecter les surfaces d'appui des garnitures d'étanchéité et d'éliminer également les dépôts de sédiments éventuels dans le canal de restitution et dans le puits d'oscillation.

La chaîne de commande de l'indicateur de position doit être remplacée pour pouvoir contrôler la position de la vanne en cours d'exploitation.

Toutes les conduites d'huiles et tuyauterie du groupe oléo-hydraulique au servomoteur sont à remplacer sans exception. Un contrôle du fonctionnement et de l'étanchéité du servomoteur et des soupapes de commande du groupe oléo-hydraulique doit être effectué. Après tous ces travaux de réparation, l'équipement devra être soumis à essai de pression statique afin de pouvoir garantir son exploitation en toute sécurité.

### 5.2.5 Equipement du canal de dérivation

Deux vannes glissantes, de 2,50 m de large x 1,40 m de haut, sont installées dans le canal de dérivation. Ces deux vannes sont manœuvrées via un cadre et un mécanisme à vis de manœuvre.

Pour les opérations d'inspections, on dispose par vanne glissante de 2 vannes batardeaux de respectivement 2,50 m de large x 1,50 m de hauteur qui peuvent être placées en tant que dispositifs de fermeture à l'amont et à l'aval des vannes glissantes.

En outre, il existe également entre le canal de dérivation et le canal de restitution un by-pass DN 1000 équipé d'une vanne de 0,30 m de large x 0,30 m de haut dont la manœuvre s'effectue par cadre et mécanisme de manœuvre.

Voir Dessin N° BB.20.S.101, Rev. E, Annexe B Plans, «Ouvrages de Dérivation – Dérivation Gorgol Noir».

#### 5.2.5.1 Observation

Les entraînements à broches des vannes glissantes sont fortement ensablés, ce qui entrave leur fonctionnement correct. Les quatre vannes batardeaux sont entreposées à l'air libre sans aucune protection.

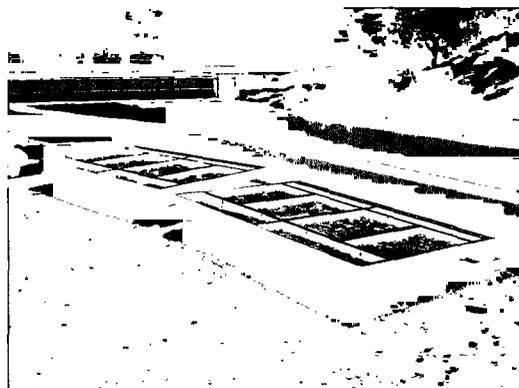


Figure 5.22 : Canal de dérivation, vannes batardeaux

SONADER nous a rapporté que la vanne du by-pass n'a pas été manœuvrée depuis la mise en service des équipements en 1983. Aucune fuite n'a été constatée à travers cette vanne.

### 5.2.5.2 Analyse

Aucune entrave au fonctionnement de l'équipement.

### 5.2.5.3 Mesures à prendre

Pour éviter une fragilisation des garnitures d'étanchéité par radiation solaire et pour protéger les vannes batardeaux d'un endommagement, il est vivement recommandé d'entreposer ces vannes dans un endroit abrité.

Les engrenages à crémaillère des vannes glissantes devraient être nettoyés et une relubrification effectuée.



**Figure 5.23** : Canal de dérivation crémaillère des vannes glissantes, engrenages à crémaillère

### 5.2.6 Groupe turbine hydroélectrique et générateur

A l'aval du barrage, dans la chambre de la vidange de fond se trouve une turbine hydroélectrique d'une puissance de 13,24 MW. Cette turbine fonctionne exceptionnellement en îlotage. Il n'y a pas de dérivation de l'énergie électrique au-delà du site du barrage. Les principaux consommateurs de l'énergie produite sont les dispositifs d'éclairage en crête du barrage et les entraînements électriques des groupes oléo-hydrauliques. La turbine est reliée au générateur via un entraînement à courroie présentant un rapport de multiplication  $i = 1 : 2,75$ . Voir Dessin N° BB.06.20, Annexe B Plans, «Turbine, Plan de Montage».



**Figure 5.24** : Groupe turbine hydroélectrique et générateur

Les données et caractéristiques suivantes de la turbine et du générateur ont été empruntées aux plaques signalétiques ou aux dessins des constructeurs.

#### Caractéristiques de la turbine hydroélectrique

Type : Turbine Francis à axe horizontal  
 Fabricant : Wiegert & Bähr GmbH  
 Axe de la turbine : cote 26,60 m au-dessus du niveau de la mer.

Année de la construction : 1982

Vitesse : 545 t/min  
 Puissance : 18 PS / 13.24 kW  
 Débit : 225 l/min  
 Hauteur de chute : 7.5 m  
 Bâche spirale dia. entrée : DN 250  
 Bâche spirale dia. départ : DN 250

Type régulateur : mécanique  
 Fabricant : Jahns Regulatoren GmbH

#### Caractéristiques du générateur

Type : générateur autoréglage  
 Fabricant : AvK (A. van Kaik)

Axe du générateur : cote 27,78 m au dessus du niveau de la mer.

Entraînement : commande courroie  
 Voltage : 400 V, (étoile)  
 Puissance électrique : 15 kVA

Vitesse : 1500 t/min

Max. Température de service : 40 °C  
 Classe d'isolement F : IP 23

### 5.2.6.1 Observation

Au moment de l'inspection, la turbine hydroélectrique était hors service. Sur le corps du régulateur de la turbine, on a constaté une fuite d'huile.

Les problèmes suivants qui expliquent pourquoi cet équipement ne peut pas fonctionner correctement, ont été constatés.

- Compte tenu de la radiation solaire et de l'aération insuffisante de la chambre de la vidange, la température de l'équipement s'élève au-delà de la température max. de service admise de 40°C. En conséquence, une exploitation continue est impossible. D'après la SONADER, la turbine ne peut pas être exploitée plus de 2 à 3 heures max. en continu.
- Compte tenu des hautes températures de service, les garnitures d'étanchéité sur le régulateur ne fonctionnent plus
- La demande en énergie électrique sur le site du barrage est actuellement insuffisante. En effet, comme nous avons pu le constater au cours de l'inspection, les dispositifs d'éclairage du barrage ne fonctionnent plus. Par ailleurs, le personnel d'exploitation préfère manœuvrer les servomoteurs des groupes oléo-hydrauliques au moyen des pompes à huile manuelles plutôt que d'utiliser les pompes à huile sous pression qui fonctionnent électriquement. En conséquence la turbine hydroélectrique n'est que très rarement, voire pas du tout exploitée.

### 5.2.6.2 Analyse

L'état technique général de l'équipement, c'est-à-dire de la turbine, du régulateur de turbine, du générateur et de l'appareillage électrique est considéré comme étant bon. Pour que la turbine puisse être utilisée, il faut prévoir des consommateurs d'énergie électrique supplémentaires et remettre en état ceux qui existent déjà.

### 5.2.6.3 Mesures à prendre

Les mesures suivantes devraient être envisagées pour pouvoir garantir une exploitation correcte des équipements.

- Un système d'aération forcée supplémentaire avec un ou plusieurs ventilateurs doit être prévu pour la chambre de la vidange de fond afin que la température dans cette chambre reste en cours d'exploitation inférieure à la température de service maximale admissible.
- Des équipements consommateurs électriques supplémentaires doivent être installés afin que la turbine puisse tourner dans une marge de service acceptable, soit entre 3 kW et 10 KW. Ceci peut être réalisé tout d'abord par la réparation du système d'éclairage existant, l'installation de dispositif d'éclairage supplémentaire, la mise en œuvre de ventilateurs dans la chambre de la vidange de fond ainsi que d'un dispositif de climatisation dans l'atelier, l'entrepôt de pièces de rechange ou bien encore par l'approvisionnement supplémentaire de pompes d'eau potable et/ou d'irrigation fonctionnant à l'électricité.
- Les garnitures d'étanchéité du régulateur doivent être remplacées.

Pour maintenir l'état technique du groupe turbine hydroélectrique et générateur, il est en outre nécessaire de procéder à des opérations de maintenance en respectant les intervalles prescrits par le fabricant. La turbine hydroélectrique devrait être mise en service à intervalles réguliers dans le but de pouvoir détecter suffisamment à temps tous les besoins en travaux de maintenance et d'empêcher ainsi une défaillance inopinée des composants de l'équipement.

### 5.2.7 Groupe diesel-électrogène

En dehors de la turbine en tant que générateur d'énergie électrique, il existe dans la chambre de la vidange de fond un groupe diesel électrogène, en tant que groupe de secours présentant une puissance électrique de 10 kVA.

Les données et caractéristiques suivantes ont été empruntées à la plaque signalétique du constructeur:

#### Caractéristiques du groupe diesel-électrogène

Type : diesel-électrogène, générateur connecte directement  
Fabricant : moteur Deutz MAG S.A. / générateur Diesel Energie, France

Année de la construction : 1981  
Affichage heures de service : 240,51 h

Puissance électrique : 10 kVA  
Vitesse : 3000 t/min

#### 5.2.7.1 Observation

Le groupe diesel-électrogène est en bon état technique. A en juger par le nombre des heures de service affichées (environ 240 heures), on peut supposer que le groupe n'a été que très rarement mis en service.

L'exploitant n'a fait état d'aucun problème, ce qui du reste a été confirmé par les constatations faites en cours d'inspection.



Figure 5.25 : Groupe diesel-électrogène

### 5.2.7.2 Analyse

Le groupe diesel-électrogène est en bon état.

### 5.2.7.3 Mesures à prendre

Pour éviter une défaillance inopinée du groupe diesel-électrogène, il serait judicieux de le mettre en service régulièrement, soit toutes les semaines, avec relevé et contrôle des paramètres d'exploitation. Par ailleurs, le chargement de la batterie devrait être contrôlé régulièrement afin de garantir la disponibilité correspondante du groupe.

### 5.2.8 Généralités

Parmi les mesures de réhabilitation prioritaires à effectuer s'inscrit tout d'abord la remise en état correct de la grue du puits d'oscillation par relèvement des crochets de grue afin de pouvoir utiliser la vanne batardeau en tant que dispositif de fermeture lors de travaux d'inspection. Ensuite, il est recommandé de procéder à la réparation des vannes secteur dans le canal de restitution et dans l'ouvrage de dérivation.

Comme la plupart des composants ne sont que très rarement utilisés, voire pas du tout, des perturbations éventuelles ou une défaillance ne peuvent être reconnues que très tard, voire pas du tout.

Ceci vaut en particulier pour les vannes qui devraient, au moins une fois par an, être soumises à une révision générale.

Dans ce contexte, il serait en outre judicieux de contrôler le fonctionnement correct des groupes oléo-hydrauliques ainsi que l'étanchéité des vannes et de procéder à une relubrification des roulements.

En dehors du mécanicien employé sur place, un autre mécanicien devrait suivre un stage de mise au courant qui lui permettrait d'être familiarisé avec l'exploitation des équipements hydro-mécaniques et mécaniques et avec la reconnaissance et l'élimination des défaillances éventuelles. Ceci permettrait, en effet, de garantir la poursuite continue et en toute sécurité de l'exploitation en cas d'indisponibilité de l'un des autres membres faisant partie du personnel d'exploitation.

## 6 Interprétation de l'auscultation du barrage

### 6.1 Etendue de la mission

L'évaluation des lectures d'auscultation enregistrée par la centrale automatique digitale comprend la période depuis la mise en œuvre des appareils le 15 janvier 1986 au 17 janvier 2004. Les données disponibles ont été transmises au consultant lors de leur mission d'inspection en février 2004.

L'analyse de la levée topographique comprend une période du 17 octobre 1986 au 16 mai 2003.

Les données analysées sont :

- le niveau d'eau en amont et en aval
- la température à l'intérieur du béton
- la température de l'eau
- les contraintes horizontales et verticales
- les sous-pressions

Des suggestions pour le suivi des auscultations seront données.

### 6.2 Caractéristiques et état des appareils

La position des appareils d'auscultation du barrage est indiquée sur le plan BB.30.U.108a en Annexe B. Les différents appareils sont :

- Capsules tensiométriques à corde vibrante
- Inclinomètres à corde vibrante
- Piézomètres à corde vibrante
- Thermomètres

De plus, les sièges des mires à sceller, les mires circulaires à sceller les sièges pour théodolite y sont indiquées sur une vue en plan un profil en long et deux coupes (Plot 4, 6 et 8). La centrale automatique digitale se trouve dans l'ouvrage de vidange de fond et de la turbine hydroélectrique à gauche du déversoir en aval du barrage.

L'état des instruments a été inspecté du 02 au 05 février 2004. Lors de la visite une fiche d'inspection a été établie. Cette fiche est attachée en Annexe A. Des données d'auscultation (Il.16, Annexe A) existent depuis la mise en œuvre du barrage. Beaucoup d'appareils sont tombés en panne. Aujourd'hui, 29 instruments d'auscultation sont défectueux (1 piézomètre, les 3 inclinomètres, 5 tensiomètres et 20 thermomètres). La cause des pannes peut être due à une déconnexion des câbles sur les distributeurs placés sur le corps du barrage en aval. La Figure 6.1 montre l'état peut réconfortant des boîtes de connexion.



**Figure 6.1 :** Boite de connexion des appareils d'auscultation sur le corps du barrage

Quatre mires circulaires ne sont plus lisibles. Les échelles de crue en aval et en amont sont incomplètes. Les mires en crête sont toujours en place mais aucune relevée des données n'est effectuée. Les appareils d'auscultation sont dans des conditions moyennes. Malheureusement, aucun extensomètre n'a été installé. Le théodolite utilisé pour la levée topographique est en mauvais état. Les vis de réglage à fins ne sont plus fonctionnelles.

Le nombre d'appareils installés, leur état en 1994 et aujourd'hui est présenté dans le Tableau 6.1 ci-dessous.

**Tableau 6.1 :** Appareils d'auscultation sur le corps du barrage

Appareils	Installés	Fonctionnels en 1994	Fonctionnels en 2004
<i>Levée automatique digitale</i>			
Capsules tensiométriques	16	12	11
Inclinomètres	3	0	0
Piézomètres	5	4	4
Thermomètres	40	28 ) <sup>1</sup>	20
<i>Lecture par levée topographique</i>			
Mires à sceller	5	5	5
Mires circulaires	9	5 ) <sup>2</sup>	5 ) <sup>2</sup>
Sièges pour théodolite	4	4	4

)<sup>1</sup> en 1992

)<sup>2</sup> 4 mires plus lisibles, étant sous eau

### 6.3 Capacités techniques de l'agent SONADER

Les capacités techniques de l'agent SONADER, M. HABIBOULLAH en charge du suivi du barrage sont exemplaires. Grâce au travail de M. HABIBOULLAH à Foug Gleita, les données digitalisées des appareils en état de fonctionnement sont disponibles. Les données ont été transmises aux experts de Lahmeyer International GmbH et de SCET-Rim. Il est à retenir que l'apparence des tableaux et des diagrammes n'est pas toujours claire et l'interprétation pour une personne non habituée aux fichiers se présente difficile. La position des appareils auscultés n'est pas indiquée. Les unités des données manquent sur tous les tableaux et sur certains diagrammes. La plupart des données sont relevées mensuellement (II.18, Annexe A), ce qui est satisfaisant.

M. HABIBOULLAH rapporte qu'il lui est très difficile de saisir les données dans les fichiers car il n'existe pas d'ordinateur réservé à l'auscultation du barrage de Foug Gleita. Aujourd'hui, la saisie des données dans un ordinateur dépend de la bonne volonté des collègues en possession d'un ordinateur. M. HABIBOULLAH est muni d'un disque zip pour sauvegarder les fichiers. Les ingénieurs conseils recommandent de réserver un ordinateur à M. HABIBOULLAH au siège de la SONADER à Nouakchott, mais pas au barrage.

### 6.4 Levée automatique digitale



Figure 6.2 : Centrale de la levée automatique digitale

La Figure 6.2 montre la partie supérieure de la centrale de la levée automatique digitale. La sélection des cinq canaux se fait par le régleur gris en haut à gauche. Les cinq régleurs rouges servent à adresser les différents appareils d'auscultation. L'appareil de levée un PC 6 de la société TELEMAT se branche sur l'armoire. Les données sont relevées par M. HABIBOULLAH.

Le Tableau ci-dessous indique la position des appareils d'auscultation sur l'armoire de la centrale de la levée automatique digitale. Aucun appareil n'est branché sur les positions vides. Les appareils rayés sur le Tableau sont en panne. Les positions indiquées dans le fichier utilisé par la SONADER ont été contrôlées par apport aux indications initiales.

Le TELEMAT fonctionne sur base de piles. Donc, un aménagement électrique du barrage n'est pas nécessaire.

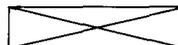
**Tableau 6.2 :** Position des appareils d'auscultation sur l'armoire de la levée automatique digitale

V*	Canal				
	1	2	3	4	5
1	CH 01-20 M	PZ 04-08	PZ 06-14		T 09-30
2		CV 04-15 M	CV 06-04 V		<del>T 09-20</del>
3	PZ 02-03	T 04-05	<del>CL 06-3</del>		<del>T 09-10</del>
4	CH 02-09 M	T 04-15 M	<del>CL 06-3</del>		T 10-30
5	CH 02-09 V	T 04-15 C	<del>CL 06-3</del>		T 10-15
6	<del>T 02-20</del>	T 04-15 V	<del>CL 06-3</del>		CH 10-15 V
7		T 04-25 M			CH 10-15 M
8	<del>T 03-10</del>	T 04-25 V	CV 06-15 M		PZ 10-11
9	<del>T 03-20</del>	T 04-33	T 06-05		CH 11-26 M
10	<del>CH 01-20 V</del>	T 05-10	<del>T 06-15</del>	<del>CL 08-01</del>	CH 11-26 V
11		T 05-20	<del>CH 06-15 V</del>	<del>CL 08-01</del>	
12		T 05-30	<del>T 07-00</del>	CV 08-01 V	
13		<del>T 06-24</del>	T 07-10	T 08-05	
14		<del>T 02-30</del>	<del>T 07-20</del>	CV 08-15 M	
15		T 10-38	T 07-30	<del>T 08-15 V</del>	
16		T 10-26		<del>T 08-15 C</del>	
17				<del>T 08-15 M</del>	
18				T 08-27 V	
19				T 08-27 C	
20				T 08-27 M	

**Légende :**



Appareil fonctionnel



Appareil en panne

D XX-ZZ Y

D : Donnée / Appareil  
XX : Plot du barrage (longueur)  
ZZ : Niveau SNN (altitude)  
Y : Position sur la coupe (largeur)

**Explication :**

V\* Position du régleur

Donnée / Appareil :

CH Contrainte horizontale / Tensiomètre  
CV Contrainte verticale / Tensiomètre  
CL Inclinaison / Inclinomètre  
PZ Sous-pression / Piézomètre  
T Température / Thermomètre

Position sur la coupe :

M Amont  
C Centre  
V Aval

## 6.5 Niveau d'eau en amont, en aval et du canal de dérivation

### 6.5.1 Analyse

Le niveau d'eau de la retenue en amont et en aval du barrage est représenté en Annexe D.1 pour les années 1986 à 2004. La relevée des données a été partiellement interrompue. Peu de données existent en 1996 et 1997. Pour cause d'échelle de crue incomplète, les levées ne sont pas toujours fiables. En amont, deux mètres entre 35 m et 37 m manquent. En aval, l'échelle est incomplète sur deux mètres aussi, entre 23 m et 25 m.

Après trois années de niveau d'eau en amont d'une périodicité constante de 1986 à 1987, le niveau d'eau en amont a baissé jusqu'en 1993. Selon le rapport de mission de Lahmeyer International GmbH en 1994, ceci est dû à de faibles précipitations pendant ces années. Après les pluies de 1993, le niveau d'eau en amont connaît une nouvelle croissance pour trois années consécutives. Ensuite, à nouveau le niveau d'eau baisse jusqu'en 1999. Les pluies de 1999 feront suivre le maximum historique de 35,82 m SNN en novembre. Pour les années qui suivent, le niveau d'eau après l'hivernage reste plus ou moins constant. Un minimum peut être retenu en 2002. De même, les valeurs minimales avant la saison pluvieuse ne changent pas beaucoup. Le déversoir de crue a rempli sa tâche, au moins depuis 1998, avec exception en 2002. Pendant la visite d'inspection, le déversoir de crue déversait pour cause d'agitation de l'eau dans la retenue (Figure 5.10).

En aval, la périodicité des maximums et des minimums saisonniers du niveau d'eau suit à peu près les valeurs retenues en amont. Une croissance du niveau d'eau en aval est aperçue de 1990 à 1995. Les recommandations des experts en 1994, de déblayer le banc de sable n'ont apparemment pas été exécutées continuellement. Un niveau d'eau en aval en dessous de 22,00 m SNN a été relevé seulement en avril 1998. Ceci, pendant une période de basse retenue en amont. Des valeurs pour l'année 1997 n'existent pas, mais ce fait laisse à supposer que la situation n'a pas été améliorée. Une descente rapide a suivi avec le maximum historique de 26,70 m SNN atteint en septembre 1999. Pendant que le niveau d'eau en amont a augmenté jusqu'en novembre, le niveau d'eau en aval a baissé rapidement. En mars 2000, il a indiqué 23,05 m SNN. Ce qui était toujours 1 m de plus que recommandé. Malgré tout, cette baisse de plus de 3,50 m indique que des travaux de déblayage ont été effectués. L'impact positif a été de courte durée, en septembre 2000, le niveau d'eau se présente de nouveau à presque 25,50 m SNN. Un nouveau maximum est atteint en septembre 2003.

Le niveau d'eau dans le canal de dérivation n'a pas été retenu dans les documents soumis aux experts. Les informations acquises ne laissent pas entrevoir une gestion effective des eaux.

### 6.5.2 Mesures à prendre

Pour une gestion optimale de la retenue, il est absolument nécessaire de compléter les échelles de crue.

Les recommandations des ingénieurs conseils servent à assurer la pérennité de l'ouvrage. Cela va de soi, que celles-ci sont à suivre. La demande de déblayer le banc de sable empêchant les débits d'eau en aval, vivement recommandée en 1994, est renouvelée.

S'il n'est pas possible d'avoir une personne en permanence sur le site, il serait nécessaire d'assurer une levée mensuelle.

La révélation du niveau d'eau dans le canal de dérivation d'eau permettra de documenter la gestion des eaux pour l'irrigation du périmètre aménagé.

## **6.6 Températures**

### **6.6.1 Analyse**

Les températures ambiantes de l'eau et de l'air relevées indiquent la périodicité annuelle du changement climatique (Annexe D.2.1-2). Le rapport de 1994 indiquait des valeurs non plausibles à partir de 1993. Apparemment les températures non pas été relevées pendant quelques mois en 1993 et 1994. Mais la levée a été reprise peu après.

L'observation des températures ambiantes donne la tentation d'analyser les changements climatiques de la région. Une déclination des températures semble avoir eu lieu depuis 1986. Mais il doit être considéré que les horaires de la levée ne sont pas donnés, donc une analyse de changement climatique ne peut avoir lieu.

La lecture des températures du béton sert à enregistrer les influences de changements de températures par apport aux contraintes dans le béton (Annexe D.2.3-12). Au temps de la mise en œuvre du barrage, la relevée des températures était d'une grande importance afin de mesurer les contraintes dans le béton dues à l'hydratation. Cette demande ne se pose plus aujourd'hui.

### **6.6.2 Mesures à prendre**

Quelques instruments sont tombés en panne depuis la mise en œuvre du barrage. Ceci ne pose pas de problèmes pour le suivi de l'auscultation du barrage. Leur devoir primaire était de relever les contraintes hydratatives du béton. Ces contraintes n'existent plus aujourd'hui. L'influence climatique sur les cordes vibrantes d'autres appareils peut être déduit des instruments toujours en état fonctionnels ou par l'interprétation des mesures historiques. Donc, les instruments en panne ne doivent pas être remplacés.

La levée des températures n'est pas d'une importance impérative.

Car les températures varient au cours d'une journée, il serait intéressant de noter les horaires de la relevée.

## **6.7 Sous-pressions**

### **6.7.1 Analyse**

Les données les plus satisfaisantes proviennent des piézomètres pour étudier les sous-pressions dans la zone inférieure du mur en voûte.

Parmi les cinq piézomètres électriques installés dans la roche, quatre sont encore en fonctionnement. La cote des piézomètres et leur emplacement par rapport à l'amont et à l'aval sont présentés en Annexe D.3.1 et en Annexe B, Plan BB.30.U.108a. Il peut être constaté que PZ 04 (-9,0 m SNN) et PZ 10 (+7,0 m SNN) sont situés presque au niveau de fondation. Le PZ 02

(+2,0 m SNN) est implanté plus en profondeur. Le PZ 06 (-14,5 m SNN) sous le Plot 6 se trouve à environ 7,0 m en dessous du niveau de fondation.

Le diagramme en Annexe D.3.2 montre les données piézométriques des quatre appareils. Ils réagissent en fonction de leur profondeur. Les valeurs les plus hautes sont enregistrées dans l'appareil PZ 06. Les variations saisonnières correspondent aux changements de niveau d'eau en amont et en aval.

Une augmentation de la sous-pression au PZ 04 depuis 1986 d'environ 60 kN/m<sup>2</sup> à 120 kN/m<sup>2</sup> est observée. PZ 04 se trouve à -9,0 m SNN, donc proche du PZ 06. Donc, des pressions encore plus élevées seront à supposer. Le PZ 06 doit être en zone de protection des écoulements d'eau.

Néanmoins, une augmentation des pressions a été observée. En Annexe D.3.3, une analyse statistique des sous-pressions au PZ 04 est présentée. La courbe de régression quadratique montre une croissance ralentie des valeurs. L'extrapolation des valeurs jusqu'à 2008 laisse supposer une évolution à une valeur constante.

L'évaluation des données des piézomètres démontre que le rocher en fondation est sain et solide.

## 6.7.2 Mesures à prendre

Aucunes mesures ne sont à prendre.

## 6.8 Contraintes du barrage

### 6.8.1 Analyse

Les contraintes dans la fondation du barrage sont représentées dans les Annexes D.4.1 à D.4.8. Afin d'évaluer les contraintes, deux facteurs d'influence entrent en jeu : la variation de la température et de la pression de l'eau.

L'annexe D.4.5 indique les valeurs des contraintes verticales pour le Plot 6 au pied du barrage à partir de 1986 et l'Annexe D.4.6 pour le Plot 8. Ce sont les seuls instruments de mesure verticale en fondation encore en fonctionnement.

Il peut être constaté que les contraintes verticales entre fondation et roches sont d'une valeur d'environ 400 kN/m<sup>2</sup> en moyenne au Plot 6 et d'environ 800 kN/m<sup>2</sup> en moyenne au Plot 8.

Cette distribution des contraintes est caractéristique pour un barrage voûte qui redirige les forces dans les appuis (voir : Boggs et al., 1988 et U.S. Army Corps of Engineers, 1994).

Les contraintes horizontales sur l'appui droit côté amont sont de 2.300 kN/m<sup>2</sup> au niveau +20 m SNN (Annexe D.4.1) et de 1.400 kN/m<sup>2</sup> au niveau +10 m SNN (Annexe D.4.2). Les valeurs en amont restent plus ou moins constantes durant l'année. En aval, une variation saisonnière importante peut être constatée. Après l'hivernage, quand la retenue est remplie et les températures élevées, les contraintes atteignent un maximum. Les forces de l'eau pousse le barrage vers l'aval qui redirige ses forces sur les parties aval.

Un phénomène semblable peut être observé sur l'appui gauche (Annexe D.4.7 et D.4.8), sauf que les variations sont à observer en amont et en aval. Ceci laisse supposer que les déformations du côté gauche sont plus importantes. Ceci peut être expliqué par l'anisotropie de la roche. A droite, les joints de la roche sont orientés perpendiculairement par rapport aux forces transmises par le barrage. A gauche, leur orientation est normale par rapport aux forces transmises par le barrage.

Les contraintes horizontales, sur l'appui gauche au niveau +25 m SNN (Annexe D.4.7) sont en moyenne de 2.800 kN/m<sup>2</sup> au côté amont et de 2.300 kN/m<sup>2</sup> au côté aval.

Les contraintes horizontales, sur l'appui gauche au niveau +25 m SNN sont de 0 kN/m<sup>2</sup> au côté amont et de 500 kN/m<sup>2</sup> au côté aval en janvier 2004 après une régression linéaire (Annexe D.4.7). Le zéro au niveau de 25,00 m SNN devrait être un signe d'alarme, surtout que des valeurs de tension ont été mesurées en janvier 2004. Ce qui réconforte, c'est le fait que l'appui gauche au niveau +25 m SNN en amont pendant les saisons de haute retenue se trouvait en tension depuis la mise en œuvre du barrage et qu'en aval le contact était toujours assuré.

Les contraintes dans le corps du barrage sont représentées dans les Annexes. Les valeurs du Plot 4 (Annexe D.4.3) et du Plot 6 (Annexe D.4.4 et D.4.5) ont été retenues et la variation saisonnière causée par le niveau d'eau et la température peut être observée. Par contre les résultats sont sans importance, puisque les appareils ont été installés pour mesurer les contraintes d'hydratation du béton frais. Un signal d'alarme n'est pas observé sur les diagrammes.

## **6.8.2 Mesures à prendre**

Afin de mieux analyser les contraintes, il serait recommandé de mesurer les déformations du barrage. Un point fort est à mettre sur l'appui gauche au niveau de la crête qui se trouve rapproché du niveau +25 m SNN où des tensions ont été observées.

## **6.9 Inclinométrie**

### **6.9.1 Analyse**

Les inclinomètres à corde vibrante ont été jugés en panne dès la mise en œuvre du barrage. Les ingénieurs conseils ont conduit une analyse détaillée de l'appareil MP 100 266 en position C4/V10-11 et peuvent confirmer le jugement initial.

### **6.9.2 Mesures à prendre**

Aucune mesure raisonnable pour réinstaller les inclinomètres ne peuvent être présent. Il serait préférable de mesurer les déformations du barrage par la tachymétrie et en déduire l'inclinaison du barrage.

## 6.10 Levée topographique

### 6.10.1 Analyse

La levée topographique consiste en la lecture des mires circulaires sur le corps du barrage en aval (1 sur la Figure 6.3) et des mires à sceller sur la crête du barrage (2). Les positions sont relevées par un théodolite qui est posé sur plusieurs points fixes (3) sur l'appui gauche et droit. Selon les informations pendant la mission les mires à sceller ne sont pas considérées pendant les levées topographiques. Quatre mires circulaires ne sont plus lisibles, parce qu'elles se trouvent sous eau.



**Figure 6.3 :** Installations de levée topographique

- (1) Mire circulaire
- (2) Mire à sceller
- (3) Socle à théodolite

Une levée topographique a été réalisée pour la dernière fois en Mai 2002 après une longue périodicité de quatre levées topographiques par an. L'appareil en utilisation a été présenté aux ingénieurs conseils. La vis à réglage fin ne se laisse plus manipuler et le théodolite ne se fixe plus. Un ajustage n'a pas été rapporté. Des diagrammes ne sont pas présentés. La fiabilité des déformations ne peut pas être garantie.

### **6.10.2 Mesures à prendre**

Le théodolite de mesure est en panne et n'a pas été ajusté depuis une longue période. Le théodolite est à remplacer par un nouvel appareil, si une réparation ne s'avère pas réalisable. De préférence un tachymètre est à acquérir.

Il est conseillé d'entreprendre cette levée topographique dans le délai le plus court. Les points d'emplacement de l'appareil sont à réhabiliter et leurs coordonnées à redéfinir.

Les ingénieurs conseils suggèrent de charger une entreprise de topographie pour conduire ces levées périodiques.

## 7 Analyse de l'envasement de la retenue

Les travaux comprennent :

- l'analyse des procédés de production de sédiment à la lumière, des caractéristiques du bassin versant, du déplacement de sédiment dans la région et/ou dans des bassins versants semblables, menant à l'évaluation de la quantité d'apports de sédiment au réservoir ;
- évaluation du degré de sédimentation actuel dans le réservoir de Foug Gleita, tenant compte de l'efficacité estimée de retenue par le réservoir, le dépôt des sédiments et la distribution régionale des sédiments ;
- formulation de recommandations pour des mesures de suivi et de contrôle de la sédimentation qui pourrait être entreprise par la SONADER.

Les analyses ci-dessous se base sur les études hydrologiques décrites dans les Chapitres 2.4.1 et 2.4.2.

### 7.1 Transport de sédiments du bassin versant

Des enregistrements de transports de sédiments dans le Gorgol Noir n'existent pas.

Quelques informations limitées sur le transport de sédiment dans le bassin de fleuve du Sénégal ont été publiées par Gac & Kane (1986) et Kattan et al. (1987). Ces informations sont insuffisantes pour permettre d'en tirer des conclusions sur les décharges probables de sédiment dans le fleuve de Gorgol Noir.

En absence d'information locale appropriée, recours a dû être pris à l'information régionale beaucoup plus générale sur des rendements de sédiment. La Division de Développement de Ressources Humaines de l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 2001) maintient une base de données sur les fleuves du monde et leur apport en sédiment. Considérant :

- i) le milieu physique du bassin versant du Gorgol Noir, comme décrit dans le Chapitre 2.
- ii) la précipitation annuelle moyenne dans le bassin versant de 305 mm (1950-1999) et de 231 mm (1984-1999), comme indiqué dans le Tableau 2.1, et
- iii) la hauteur de débit annuelle en moyenne d'environ 38,4 mm (1950-1999) et de 36,9 mm (1984-1999), comme indiqué dans le Tableau 2.2,

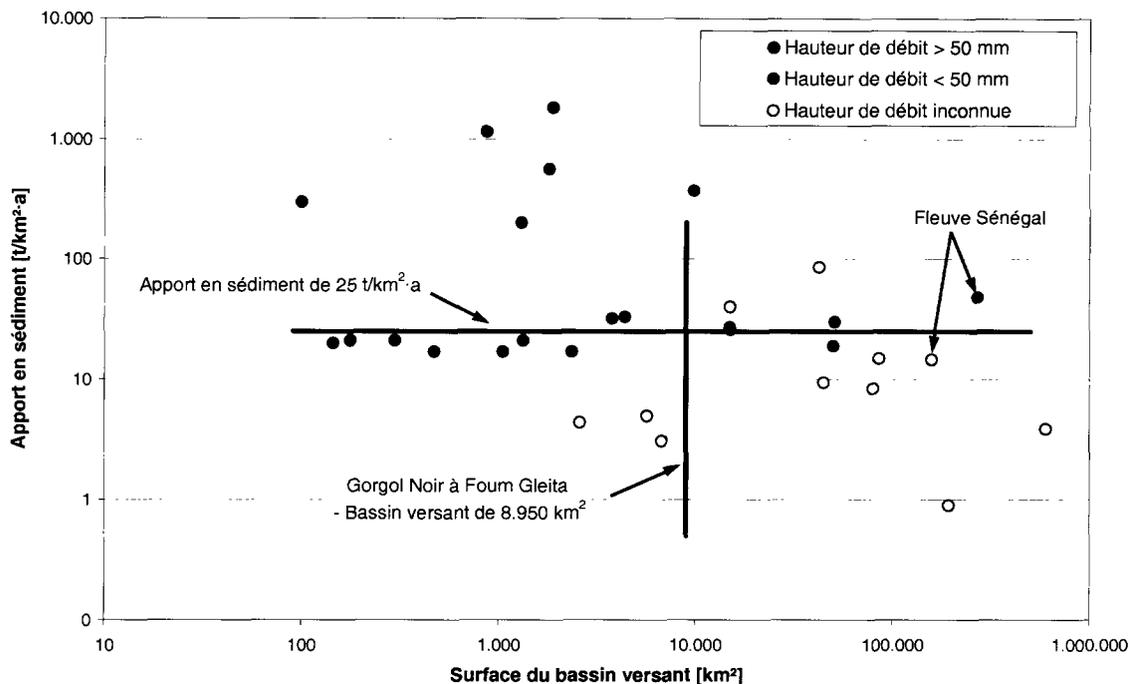
un extrait de données bibliographiques présenté en Annexe C.4, contenant des données des bassins des fleuves :

- des pays du Sahara et Sub-Sahara;
- avec des valeurs de précipitation moyennes en dessous de 500 mm; et
- des moyennes de débits en dessous de 100 mm..

Les sources des données sont indiquées en Annexe C.4

Il doit être noté que certaines des données élémentaires présentées dans le Tableau en Annexe C.4 se rapportent à des mesures de sédiment suspendu dans l'eau seulement et certaines aux résultats des levées bathymétriques du dépôt de sédiment dans les réservoirs. En outre, les périodes relatives de l'observation changent de quelques années à plusieurs décennies. La base de données ne prétend pas, donc, présenter des données entièrement consistantes.

La Figure 7.1 montre un diagramme des données en Annexe C.4 sous forme d'apport annuel moyen de sédiment (exprimé en  $t/km^2 \cdot a$ ) par rapport à la surface de drainage (en  $km^2$ ). Le diagramme montre la tendance générale attendue d'une réduction de rendement de sédiment spécifique avec augmentation de la surface du bassin de drainage. Les deux données pour le fleuve du Sénégal se rapportent à des surfaces de drainage au-dessus de  $150.000 km^2$ .



**Figure 7.1 :** Apport en sédiment de fleuves de pays du Sahara et Sub-Sahara (basé sur Annexe C.4)

Dans le diagramme de la Figure 7.1 une distinction a été faite entre des profondeurs de débit annuelles moyennes au dessus de 50 mm et celles en dessous de 50 mm. Le deuxième groupe de données peut être considéré comme plus approprié pour le Gorgol Noir avec une profondeur d'écoulement de légèrement moins de 40 mm.

La ligne horizontale de la Figure 7.1 concernant des hauteurs annuelles moyennes de débit en dessous de 50 mm correspond à un apport annuel moyen de sédiment de  $25 t/km^2 \cdot a$ .

Puisque la majorité des données élémentaires en Annexe C.4 se réfèrent à des mesures de sédiment suspendu dans l'eau, on estime que l'apport de sédiment suspendu dans l'eau au réservoir de Foug Gleita est de  $25 t/km^2 \cdot a$  ou de 0,224 millions de t/a (considérant le bassin versant de  $8.950 km^2$ ).

Tenant compte des résultats de Walling (1984), la charge de sédiment (transport de charge de lit) non mesurée dans les fleuves africains peut être estimée entre 5 % et 19 %. Assumant un chiffre conservatif de 20%, tout l'apport annuel moyen en sédiment dans le réservoir de Foug Gleita peut être de 30 t/km<sup>2</sup>·a ou de 0,269 millions de t/a.

## 7.2 Granulométrie des sédiments apportés

Pendant la mission d'août 2003 un total de cinq échantillons de sédiment de la retenue ont été relevés :

- i) Echantillon No. 1 : Rive droite de la retenue à 1 km du barrage, au bord de l'eau ;
- ii) Echantillon No. 2 : Rive droite de la retenue à 2 km du barrage, au bord de l'eau ;
- iii) Echantillon No. 3 : Rive gauche de la retenue à 7 km du barrage, au bord de l'eau ;
- iv) Echantillon No. 4 : Rive gauche de la retenue à 7,5 km du barrage, au bord de l'eau ;
- v) Echantillon No. 5 : Rive gauche de la retenue à 7,5 km du barrage, à 100 m du bord à une profondeur de 1,6 m.

Pendant la prise d'échantillons le niveau d'eau dans le réservoir était de 33,75 m SNN, donc seulement 5 centimètres au-dessous du niveau maximum

Les distributions granulométriques des cinq échantillons sont présentées en Annexe C.5. La classification de taille de grain de l'union géophysique américaine (US Army Corps of Engineers, 1995) est indiquée en annexe, aussi :

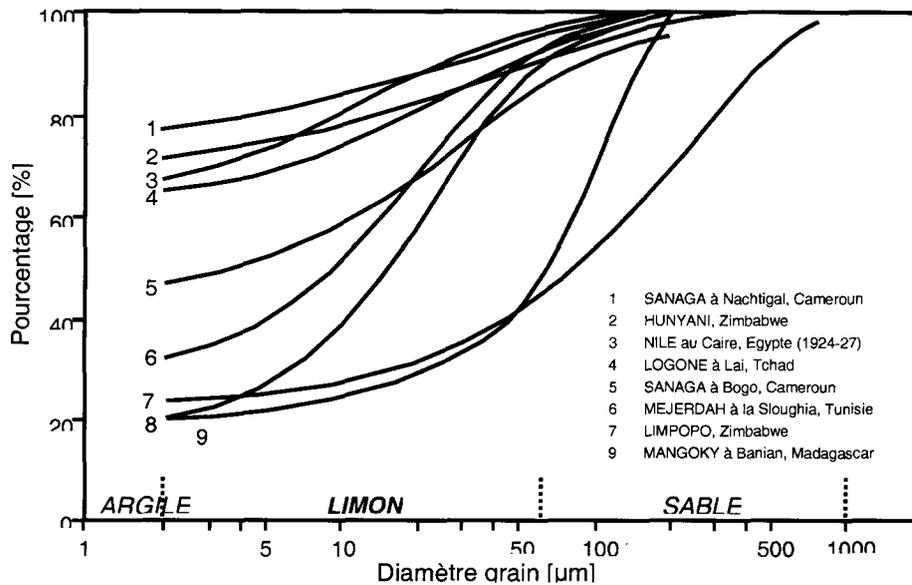
- Sable > 0,062 mm
- Limon 0,004 - 0.062 mm
- Argile < 0,004 mm

Tenant compte de l'endroit et l'altitude des échantillons il est évident qu'ils soient probablement composés de matériaux déposés dans les parties supérieures du réservoir par l'érosion locale (par le vent aussi bien que l'eau) des sols au bord de réservoir que par des sédiments entrant dans le réservoir par le fleuve Gorgol Noir (qui sont les principaux tributaires entrant dans le réservoir).

En raison de la nature argileuse d'une proportion significative du bassin versant au-dessus du réservoir (voir le Chapitre 2.3 ci-dessus) il peut être prévu que les sédiments transportés par le fleuve dans le réservoir auront une proportion d'argile considérablement plus élevée qu'aperçue dans les échantillons mentionnés ci-dessus.

Ceci a été confirmé par des échantillons du sédiment qui ont été pris éloignés de la rive. Les échantillons ont montré un contenu en limon de plus de 90 %. Il est à retenir que l'argile reste en grande partie en suspension dans l'eau de la retenue et s'écoule avec l'eau en aval.

Walling (1984) présente un diagramme (Figure 7.2), montrant la distribution granulométrique de sédiment suspendu dans l'eau transporté dans certains fleuves africains.



**Figure 7.2 :** Distribution granulométrique de sédiment suspendu dans l'eau transporté dans certains fleuves africains (Walling, 1984)

Les distributions granulométriques représentées dans la Figure 7.2 montrent une variation considérable des sédiments dans les fleuves africains.

Cependant, elles laissent entrevoir que la distribution granulométrique du sédiment suspendu dans le fleuve de Gorgol Noir serait semblable à celles des numéros de fleuves du Sahara No. 4. (Logone à Lai au Tchad) et No. 5 (Mejerdah à La Sloughia en Tunisie).

Il convient de noter que la classification granulométrique indiquée sur le diagramme ne correspond pas entièrement à la classification mentionnée ci-dessus.

Pour le travail présent il a donc été supposé que la distribution granulométrique du sédiment suspendu entrant dans le réservoir de Fourn Gleita est :

Sable :	10 %
Limon :	60 %
Argile :	30 %

### 7.3 Estimation de l'apport en sédiment dans la retenue

#### 7.3.1 Caractéristiques élévation-surface-volume

Les caractéristiques élévations-surfaces originales du réservoir de Fourn Gleita ont été prises du plan Aménagement Hydro-Agricole du Gorgol Noir – Barrage de Fourn Gleita – Projet Détaillé – Planimétrie de la Retenue (Annexe B) qui date d'avril 1979.

Les volumes de réservoir ont été calculés en utilisant la formule primordiale modifiée pour le volume d'un cône tronqué :

$$\Delta V = \Delta H \cdot [ A_H + A_B + \sqrt{(A_H \cdot A_B)} ] / 3$$

Avec :  $\Delta V$  = volume entre les section horizontales hautes (H) et basses (B)  
 $\Delta H$  = dénivèlement entre les sections horizontales H et B  
 $A$  = surface de réservoir

Le rapport élévation-surface a été intégré numériquement en utilisant la formule ci-dessus pour obtenir le rapport correspondant élévation-volume. L'interpolation curviligne (de Lagrange) a été employée pour déterminer la surface correspondante à une élévation spécifique.

Les caractéristiques résultantes d'élévation-surface-volume du réservoir sont présentées en Annexe C.6.

### 7.3.2 Estimation de la sédimentation de la retenue – Etude de base

La quantité de dépôt de sédiment dans le réservoir a été estimée en utilisant les rapports empiriques développés par :

- Lara & Pemberton (1965) pour le poids spécifique des sédiments déposés ;
- Brune (1953) pour l'efficacité de retenue du réservoir ; et
- Miller (1953) pour la compaction du sédiment déposé.

En outre, la méthode de réduction de surface proposée par Borland & Miller (1960) et Lara (1962) a été employée pour estimer la distribution des sédiments dans le réservoir, la perte de volume mort et actif, et la hauteur du sédiment accumulé au pied de barrage.

Des détails des procédures impliquées peuvent être trouvés dans US Bureau of Reclamation (1973), Annandale (1987), US Army Corps of Engineers (1995) et Morris & Fan (1997).

Les résultats des calculs du dépôt de sédiment dans le réservoir de Foum Gleita après 20 ans d'opération (correspondant à l'époque actuelle, 20 ans après la commission du barrage) et après 50 ans d'opération sont donnés en Annexe C.7. Ces calculs ont été effectués en utilisant l'évaluation de l'apport de sédiment suspendu annuel moyen de 30 t/km<sup>2</sup>·a dérivés comme décrit dans le Chapitre 7.1.

Comme on peut le voir dans les Tableaux en Annexe C.7, on peut s'attendre, que même après une période d'opération de

- 20 ans, la réduction total du volume du réservoir sera de 4,4·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, dont 1,6·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> se seront déposé dans la réserve utile. Ceci correspond à une perte de 0,4 % de réserve utile.
- 50 ans, l'envasement sera d'environ 10,5·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, dont 4·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> se déposeront dans la réserve utile. Ceci correspond à une perte de 1 % de réserve utile. L'augmentation de la hauteur des sédiments en amont du barrage sera en dessous de 1 m.

Un tel impact minimal de la sédimentation dans le réservoir reflète la taille considérable du réservoir qui est environ 1,5 fois plus grand l'apport annuel moyen en eau (au niveau maximum normal opérationnel).

### 7.3.3 Estimation de la sédimentation de la retenue – Etude de sensibilité

En raison du degré élevé d'incertitude dans l'évaluation de l'apport annuel moyen de sédiment, caractérisée par la grande variation des points représentés sur la Figure 7.1 ci-dessus, les calculs du dépôt de sédiment ont été répétés avec la prétention que l'apport suspendu de sédiment est dix fois plus élevé que la quantité estimée, c.-à-d. de 250 t/km<sup>2</sup>-a. Les résultats de cette étude de sensibilité sont donnés en Annexe C.8.

Les résultats montrent toujours que même sous cette prémisse la réduction du volume actif du réservoir après 50 ans d'opération sera seulement autour de 14% (5% après 20 ans) et que l'altitude du sédiment en amont du barrage atteindrait environ 27,8 m SNN, c.-à-d. 2,2 m au-dessous du niveau minimum de fonctionnement de 30 m SNN.

### 7.4 Conclusion et mesures à prendre

Les principales conclusions de l'étude décrite ci-dessus sont :

- Le volume annuel moyen d'apport d'eau au réservoir de Foum Gleita depuis la commission du barrage en 1984 a été de l'ordre de la 330 millions de m<sup>3</sup> comparé à un premier volume de réservoir de la 500 millions de m<sup>3</sup> au niveau maximum normal de fonctionnement de 33,80 m SNN.
- L'apport annuel moyen de sédiment au réservoir, estimé sur la base d'une analyse régionale d'information disponible sur le transport de sédiment dans les fleuves dans le Sahara et le Sub-Sahara en Afrique, est de l'ordre de 0,269 millions de tonnes par an, avec un volume initial d'environ 2,4 millions de m<sup>3</sup>.
- Etant donné que l'apport ci-dessus de l'eau et de sédiment conditionne l'accumulation du sédiment après 50 ans d'opération causerait une réduction de stockage actif de moins de 1% et de sédimentation au pied du barrage d'une hauteur de moins de 1 m. Ainsi il s'avérerait que peu probable que le dépôt de sédiment dans le réservoir de Foum Gleita causera la réduction significative du stockage actif du réservoir, c.-à-d. que après 30 ans d'opération qui suivent encore les possibilités de régulation seront seulement légèrement réduite.
- Si l'apport réel de sédiment est en fait dans l'ordre de dix fois la quantité estimée, la réduction du stockage actif sur 50 ans d'opération pourrait s'élever à environ 14% et l'accumulation de sédiment en amont du barrage pourrait monter à environ 2.2 m au-dessous du niveau minimum de fonctionnement.

Tenant compte des incertitudes dans tous les deux cas :

- i) les apports d'eau au réservoir (non seulement apports depuis la commission en 1984 mais également - en raison des tendances observées dans la précipitation régionale - futurs apports prévus), et
- ii) les apports de sédiment au réservoir

il est recommandé

- de réaménager le pluviomètre et le bac d'évaporation (Bac de classe A) au barrage ;

- que les procédures pour mesurer et/ou estimer les transports en solide du réservoir (irrigation, turbine, déversoir, etc...) soient vérifiées ;

Bien qu'il s'avère que l'accumulation de sédiment est peu susceptible d'avoir un effet nuisible sur le réservoir au cours des 30 années à venir, on pourrait considérer d'entreprendre les mesures suivantes :

- l'information disponible sur l'utilisation de la terre et de la couverture de végétation dans le bassin versant du fleuve de Gorgol Noir au-dessus du réservoir de Fourn Gleita est compilée et analysée pour établir si des changements ou tendances significatifs peuvent être discernés, en particulier ceux qui seraient susceptibles d'avoir comme conséquence l'érosion et le transport accru de sédiment dans le fleuve ;
- à des endroits exemplaires autour du réservoir où il y a des évidences d'érosion et de transport locaux important (par eau ou vent) de sédiment dans le réservoir, des buissons et/ou des herbes du type approprié seront à planter (et à protéger).

Certaines des mesures ci-dessus pourraient probablement être effectuées dans le cadre du projet de gestion de ressource d'eau et de l'environnement dans le bassin du fleuve Sénégal entrepris par l'organisation de la Mise en Valeur du Sénégal (OMVS) et financées par la Banque Mondiale et le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM).

## 8 Levée bathymétrique de la retenue

### 8.1 Déroutement

Afin de contrôler les résultats de l'analyse de l'envasement, une levée bathymétrique a été conduite en février 2004.

Grâce à une recherche dans les archives de la SONADER une carte topographique a pu être trouvée. La carte (Planimétrie de la retenue, Annexe B) montre l'état de la retenue avant la mise en œuvre. Le plan est à l'échelle de 1 :50.000 et montre les surfaces utiles à la mise en culture.

La topographie est de 1979. Il s'agit probablement d'une planimétrie de la retenue provenant de carte officielle topographique à l'échelle 1 :50.000, daté UTM/Clarke 1880. Cette carte a été scannée et géoréférencée. Ceci a mené à des distorsions à cause de la mauvaise qualité d'impression. Tenant compte de l'échelle et de la distorsion les positions et les hauteurs sont à  $\pm 1$  m près.

Les ingénieurs consultants ont formé une équipe qui s'est rendue sur la retenue avec un appareil GPS (Receiver Garmin GPS 72) et une échelle de mesure d'une longueur de 30 m à laquelle était fixé un poids. Les pêcheurs de Foug Gleita ont apporté leur assistance sous forme de deux pirogues et de rameurs qu'ils ont mis à la disposition de l'équipe. La première pirogue portait l'équipe, pendant que la deuxième suivait pour porter secours en cas d'urgence.

Une deuxième aide a été apportée par M. HABIBOULAH de la SONADER qui était prêt à manipuler le GPS. Pendant que M. HABIBOULAH dirigeait les pirogues à l'aide du GPS. Un autre membre descendait l'échelle de mesure avec le poids aux locations spécifiques. La troisième personne prenait les notes (horaires, coordonnées en longitude et latitude, profondeur d'eau) sur la fiche bathymétrique (Figure 8.1).



**Figure 8.1 :** Equipe de levée bathymétrique pendant la prise de profondeur

Le programme a prévu de relever deux axes dans la retenue. Un axe longitudinal qui se dirige du barrage en direction de l'affluent du Gorgol Noir et un deuxième axe transversal qui est perpendiculaire au premier. Les axes sont indiqués sur la vue en plan en Annexe E.1.

Si la bathymétrie avait indiqué un envasement plus important que prévu dans l'analyse (Chapitre 7), celle-ci aurait été étendue afin de permettre une détermination plus en détail de l'envasement. La grille de levée aurait compris une levée de un kilomètre sur un kilomètre de toute la retenue. Ceci ne fut pas le cas, comme le montrent les résultats de la levée bathymétriques, ci-dessous.

## 8.2 Résultats

La comparaison des horizons de la carte de base et de l'horizon actuelle montre des différences du niveau de  $\pm 1$  m (Annexe E.1 & E.2). Ceci est en dessous de l'exactitude de la carte de base.

Ce résultat indique que des sédimentations importantes n'ont pas eu lieu dans la retenue jusqu'à aujourd'hui. Le résultat de l'analyse de l'envasement peut être confirmé.

Les mesures de sondage ont montré que l'exactitude de la carte de base n'est pas suffisante pour permettre une comparaison avec les résultats de la bathymétrie. Dans le cadre de l'étude présente l'envasement peut seulement être analysé sur base de l'étude du Chapitre 7.

Mais dans un délai court il sera nécessaire d'établir une étude bathymétrique exacte pour ainsi pouvoir déterminer l'envasement futur. Cette étude servira comme carte de référence pour les levées périodiques suivantes. Après une levée après 5 ans, tenant compte de l'envasement actuel, les levées suivantes auront une périodicité d'une levée toute les dix ans.

## 8.3 Levées bathymétriques futures

Ingénieur Conseil propose d'exécuter les relevés bathymétriques futurs de la retenue du barrage de Foug Gleita au moyen d'échosondes et de récepteur GPS. La méthodologie suivante comprend aussi quelques définitions d'ordre général pour faciliter la compréhension de la technologie recommandé.

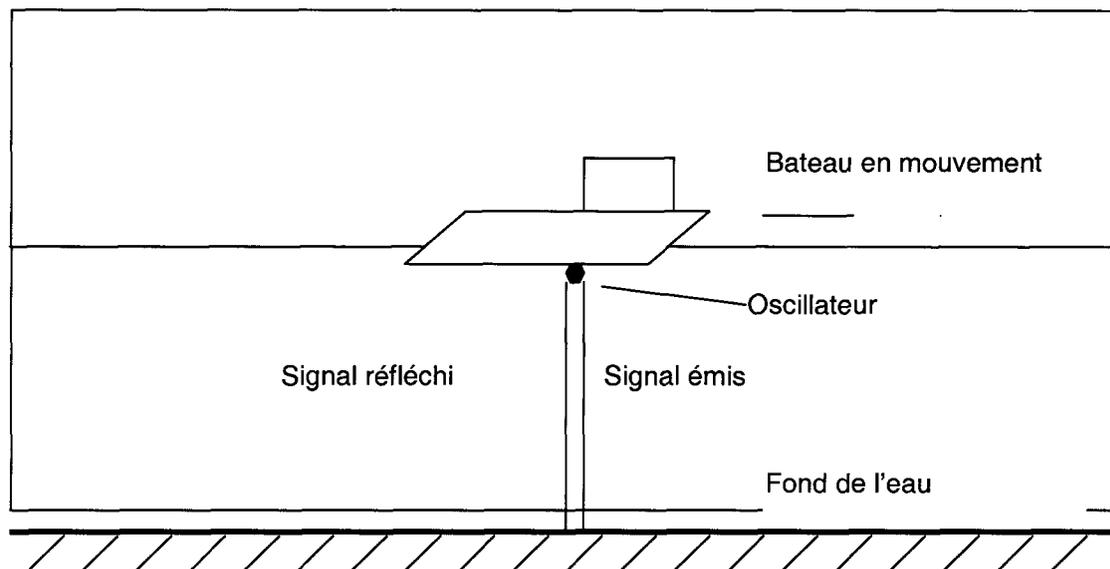
### 8.3.1 Définitions

Les mesures bathymétriques, c'est-à-dire les mesures permettant la saisie de la profondeur des mers et/ou de la cote du fond des eaux, s'effectuent au moyen d'échosondes; la mesure de la profondeur est, ce faisant, déterminée sur la base de la mesure du laps de temps qui s'écoule entre l'émission d'une impulsion acoustique et la réception du signal réfléchi (Figure 8.2).

Tandis qu'un oscillateur mixte émetteur-récepteur envoie des impulsions acoustiques dans l'eau, l'élément de bord de l'échosondeur amorce parallèlement une mesure du temps de propagation de ces impulsions. La mesure du temps de propagation est stoppée dès que le signal réfléchi par le fond du plan d'eau est capté par l'oscillateur récepteur. A partir du temps de propagation du signal ( $t$ ) et de la vitesse connue de la transmission du son dans l'eau ( $c$ ), on peut alors déterminer la profondeur du plan d'eau ( $h$ ) conformément au rapport suivant:

$$h = \frac{1}{2} \times c \times t$$

Le signal reçu est amplifié et enregistré, tandis que Les données bathymétriques ainsi obtenues sont reprises par un système informatique de saisie des données. En règle générale, on applique des fréquences comprises entre 10 kHz et 210 kHz. Toutefois, afin d'améliorer la précision des mesures bathymétriques, on peut également combiner deux fréquences entre elles (par exemple: 33 kHz et 210 kHz). Les fréquences plus élevées sont, pour des raisons physiques, liées à des profondeurs moins importantes que les fréquences plus faibles.



**Figure 8.2 :** Principe de base des mesures bathymétriques

La condition primordiale à la réalisation correcte de mesures par échosonde et échosonde pour sédiments est représentée par le positionnement exact du bateau utilisé dans le cadre de ces mesures. Dans le cadre de mesures bathymétriques en mer, ce positionnement exact est, pratiquement sans exception, effectué au moyen de méthodes de navigation par satellite.

Dans ce contexte, on dispose aujourd'hui du système de navigation par satellite NAVSTAR-GPS (Navigation System with Time and Ranging, Global Positioning System) du Ministère de la Défense Américaine. Ce GPS englobe une trentaine des satellites, qui à 20 000 km d'altitude tournent sur 6 orbites autour de la terre.

Les satellites sont équipés d'un émetteur qui transmet les informations nécessaires importantes à un récepteur situé à la surface de la terre (Identification, informations sur la trajectoire, signaux temporels). Ce récepteur calcule alors la position actuelle et l'éloignement du satellite. On peut ainsi déterminer la position inconnue du récepteur grâce à la réception de plusieurs satellites et ensuite calculer le point d'intersection.

### 8.3.2 Méthodologie

#### Mesure

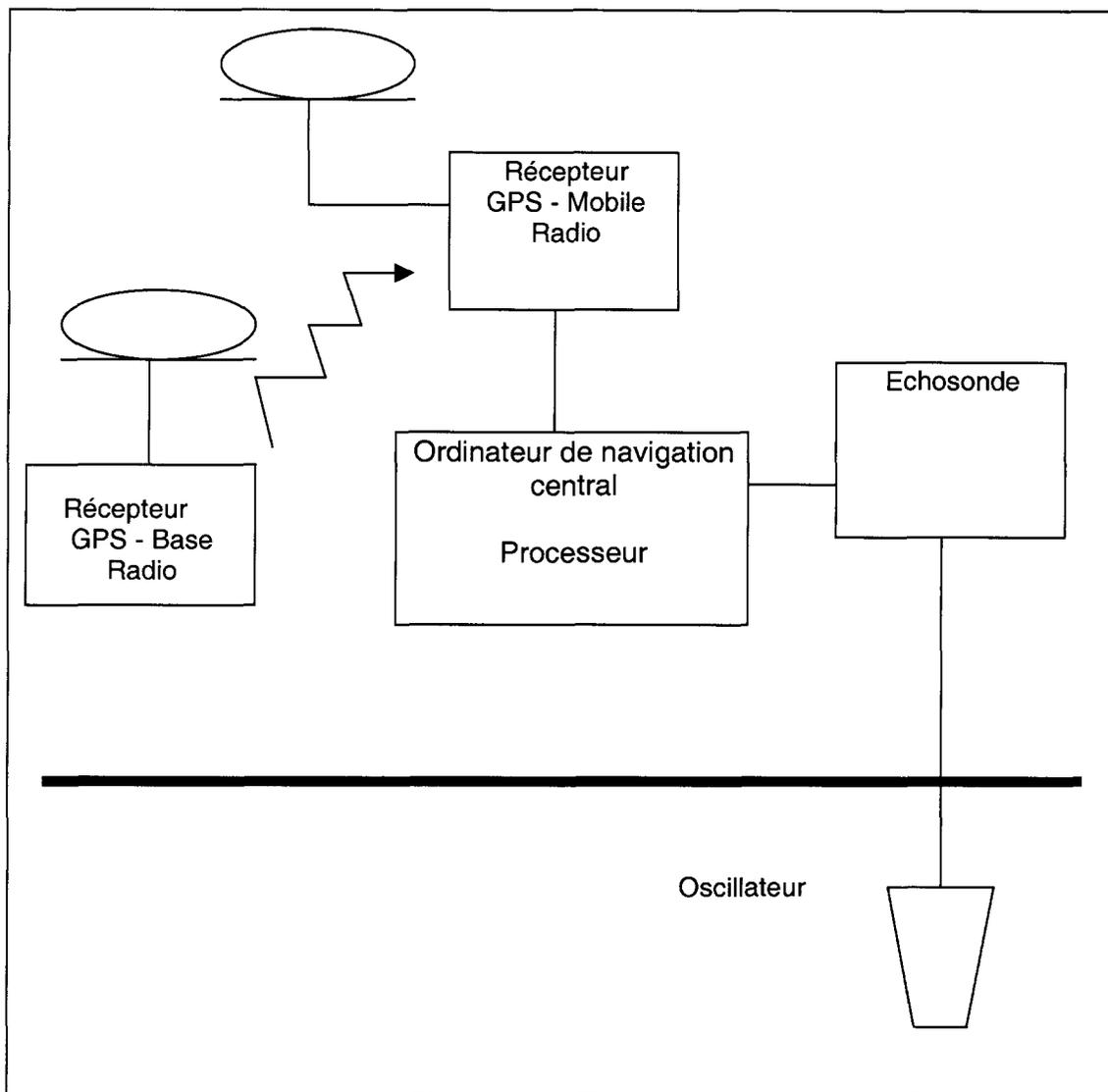
Pour les besoins des travaux de mesure envisagés au droit de la retenue du barrage de Fom Gleita un bateau pneumatique, équipé d'un moteur hors-bord est à mettre en œuvre. Le point de départ des mesures se trouve au lieu du barrage. Les mesures seront effectuées par levé de profils parallèles situés à 100 m les uns des autres et réalisés pratiquement perpendiculairement à l'axe longitudinal de la retenue. Par ailleurs, on examinera également différents profils parallèlement à la ligne des rives. La somme de tous les profils ainsi examinés s'élevait à environ 1800 km. Les données feront enregistrées à partir d'une profondeur de 1 m jusqu'à la profondeur maximale de la retenue. La précision de profondeur requise est de  $\pm 0.10$  m.

#### Instruments de mesure

Pour les mesures bathymétriques, on devra utiliser une sonde de mesure classique mono fréquence (p. ex. Atlas Deso 25 ou Navisound 50). Les opérations de positionnement sont à effectuer au moyen de Real Time Kinematik GPS (RTK GPS). Un récepteur GPS mobile au bateau reçoit des données de correction du récepteur de base installé sur un point de référence au rive. La configuration schématique du système à mettre en œuvre est présentée en Figure 8.3.

Tous les appareils utilisés sont à raccorder à l'ordinateur de navigation central équipé d'un système hydrographique de saisie des données. Les résultats des mesures effectuées sont représentés par un enregistreur numérique et l'affichage sur l'écran de visualisation de l'échosondeur. Les données numériques devront être sorties via l'interface série.

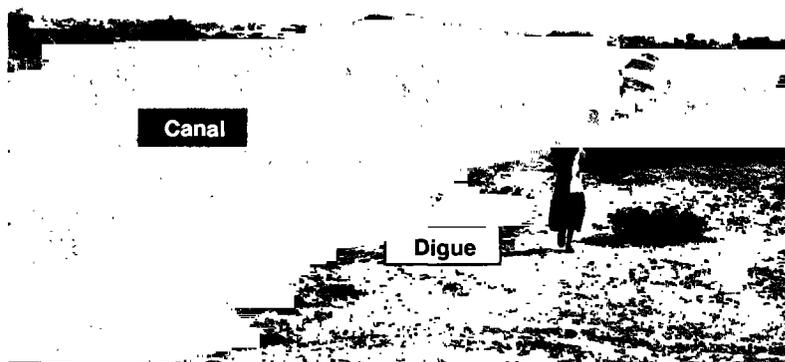
Le calibrage des appareils est à effectuer suivant la méthode dite „Bar Check Méthode“. Pour ce faire, on place, directement en dessous de l'oscillateur, une plaque de réflexion qui engendre un écho au droit du récepteur. La profondeur de cette plaque étant connue, la valeur "vitesse de son" doit alors être ajustée de façon telle que la profondeur affichée corresponde exactement à la profondeur réelle de la plaque.



**Figure 8.3 :** Configuration schématique du système à mettre en œuvre pour les mesures bathymétriques

## 9 Gestion des eaux

La mission actuelle ne concerne pas la gestion des eaux. Les ingénieurs conseils se permettent toutefois de formuler ci-dessous quelques observations et remarques.



**Figure 9.1 :** Végétations dans le canal d'irrigation

### 9.1 Observations

Pendant la visite de l'équipe d'experts en février 2004, les phénomènes suivants ont pu être observés :

- Envasement du canal d'irrigation très important par sédiment en suspension dans l'eau de la retenue et végétations abondantes (Figure 9.1)
- Apport de sédiments au canal d'irrigation très important par aménée latérale des eaux superficielles et des Oueds
- Glissement de terrain de la digue du canal (Figure 9.2)
- Destruction locale des digues latérales du canal par des érosions et des troupeaux d'animaux (Figure 9.3).
- Siphonage d'eau du canal d'irrigation par des paysans pirates
- Creusement de trous dans la digue et destruction de la digue du canal par paysans pirates.
- Affouillement du canal par Oueds croisant (Figure 9.4)

### 9.2 Analyse et estimation de la sécurité du Canal d'Irrigation

Le barrage a été construit pour des raisons d'irrigation du périmètre en aval du barrage. Par l'envasement et les végétations du canal le débit d'eau désigné à 6,0 m<sup>3</sup>/s (juin - août) et 3,0 m<sup>3</sup>/s (novembre - février) est réduit à un débit d'eau de 0,9 m<sup>3</sup>/s.

Le problème d'approvisionnement en eau insuffisant est accentué par une mauvaise opération de la vanne de régulation dans le canal de restitution. Par exemple : pendant la visite des experts un ordre incompréhensible d'arrêter le débit d'eau a été formulé (ce qui fut réalisé aussitôt). Cette situation déficitaire peut avoir des influences directes sur les récoltes.

**Figure 9.2 :** Glissement de terrain de la digue du canal



**Figure 9.3 :** Destruction des digues latérales du canal par érosion et troupeaux



**Figure 9.4 :** Affouillement du canal par Oueds croisant

L'état du canal d'irrigation est très mauvais. La stabilité des digues latérales du canal est critique. Une rupture de la digue peut avoir lieu à tout moment.

### 9.3 Mesure à prendre

Ceci peut être résumé comme un état absolument insatisfaisant du canal d'irrigation. Les ingénieurs conseils recommandent fortement de :

- dévaser le canal des sédiments et de déboiser les végétations,
- de réhabiliter et de reconstruire les digues latérales,
- d'installer un contrôle de la vanne de régulation appropriée pour garantir les débits nécessaires en fonction des besoins.

Les ingénieurs conseils recommandent de revoir le programme d'aménagement et d'entreprendre une étude de faisabilité pour le réaménagement du périmètre. Ce projet devra mettre un point sur la bonne gestion des eaux en coopération avec les bénéficiaires mais aussi revoir les droits fonciers de la région.

## 10 Références

- Abernethy, C.L. (1987) : Soil Erosion and Sediment Yield : A Review of Data on River-Borne Sediment, and their Use to Indicate Catchment-Scale Soil Erosion Rates. Food and Agricultural Organisation (FAO), Unpublished Paper.
- Annandale, G.W. (1987) : Reservoir Sedimentation. Developments in Water Science No. 29, Elsevier, 1987
- Boggs, H.L.; Tarbox, G.S.; Jansen, R.B. (1988) : Arch Dam Design. Advanced Dam Engineering for Design, Construction and Rehabilitation, Van Nostrand Reinhold, New York, USA,
- Brune, G.M. (1953) : Trap Efficiency of Reservoirs. Transactions, American Geophysical Union, Vol. 34, No. 3, June 1953.
- CIGB-ICOLD (1987) : Dam Safety – Guidelines. Bulletin No. 59, Paris. France.
- CIGB-ICOLD (1988a) : Dam Monitoring – General Considerations. Bulletin No. 60, Paris. France.
- CIGB-ICOLD (1988b) : Monitoring of Dams and Their Foundations – State of the Art. Bulletin No. 68, Paris. France.
- CIGB-ICOLD (1998) : Risk Assessment for Dams. Draft rev. No.5.
- Contrat de Services de Consultants (2003) : Expertise pour l'Auscultation du Barrage et le Suivi de l'Envasement de la Retenue de Foug Gleita, Société pour le Développement Rural (SONADER), Nouakchott, Mauritanie.
- Gac, J. Y. ; Kane, A. (1986) : Le Fleuve Sénégal : II - Flux Continentaux de Matières Dissoutes à l'Embouchure, Science Geological. Bull. 39(2), 151-72.
- Kattan, Z.; Gac, J.Y.; Probst, J.-L. (1987): Suspended Sediment Load and Mechanical Erosion in the Sénégal basin - Estimation of the Surface Runoff Concentration and Relative Contributions of Channel and Slope Erosion. Hydrology, Vol. 92, pp. 59-76.
- Lara, J.M.; Pemberton, E.L. (1965): Initial Unit Weight of Deposited Sediments. Proceedings, Federal Inter-Agency Sedimentation Conference – 1963, Miscellaneous Publication No. 970, pp. 816-845, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Lahmeyer International et SCET-Rim (2001) : Etude des Schémas Directeurs de la Gestion de l'Eau et d'Aménagement de la Vallée du Gorgol. Rapport à la Société Nationale pour le Développement Rural (SONADER), Juin 2001.
- Luft, Heyer (1990, non-publié) : Rapport de Mission N° 2, Contrat d'Assistance Technique, Avenant N° 6, Aménagement Hydro-agricole du Gorgol Noir, Barrage de Foug Gleita, Lahmeyer International GmbH, Frankfurt, Allemagne.
- Kohli, de la Fuente (1994, non-publié) : Rapport de Mission N° 3, Contrat d'Assistance Technique, Avenant N° 6, Aménagement Hydro-agricole du Gorgol Noir, Barrage de Foug Gleita, Lahmeyer International GmbH, Frankfurt, Allemagne.

- Major, T. (2003, non-publié) : Rapport de Mission en Mauritanie, Expertise pour l'Auscultation du Barrage et le Suivi de l'Envasement de la Retenue de Foug Gleita, Lahmeyer International GmbH, Bad Vilbel, Allemagne.
- Miller, C.R. (1953) : Determination of the Unit Weight of Sediments for Use in Sediment Volume Calculations. U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1953.
- Milliman, J.D. ; Syvitski J.P.M. (1992): Geomorphic / Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean : The Importance of Small Mountainous Rivers". Geology, Vol. 100, pp 525-544.
- Möller, K. (2004, non-publié) : Shahid Abbaspour Powerhouse No. 2, Appendum No. 7, Task 3, Stability and Safety of Structures, Dam Inspection Report, Lahmeyer International GmbH, Bad Vilbel, Allemagne.
- Morris, G.L.; Fan, J. (1997) : Reservoir Sedimentation Handbook – Design and Management of Dams, Reservoirs and Watersheds for Sustainable Use. McGraw-Hill.
- ORSTOM & Mission d'Aménagement du Fleuve Senegal (1967) : Monographie hydrologique du Fleuve Sénégal.
- ORTSOM (1976) : Les Débits du Gorgol Noir à Foug Gleita, 1972 - 1975", Rapport par J. Hoorelbeck, 1976.
- ORSTOM (1979) : Etude Hydrologique des Gorgols – Interprétation des Mesures Effectuées en 1977 et 1978, Rapport par J. Hoorelbeck, 1979.
- ROSELT/OSS (2004), Plan d'isohyète de la Mauritanie. présentée sur <http://www.roselt-oss.teledetection.fr/pays/mauritanie> par le Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme (ROSELT) et l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) sous les auspices de l'UNESCO.
- SADCC (1987) : Monitoring Systems for Environmental Control. Proceedings of Seminar Gabon, November 1986, Co-ordination Unit, SADCC Report No. 13.
- SCET International et SEDES (1971), Etude Hydrologique du Gorgol. Rapport au Programme de Développement des Nations Unies (PDNU).
- U.S. Army Corps of Engineers (1971) : Monthly Streamflow Simulation: Computer Program HEC4. Hydrologic Engineering Center, Davis, Californie.
- U.S. Army Corps of Engineers (1994) : Arch Dam Design – Engineering and Design. Manual No. 1110-2-2201, Washington, D.C.
- U.S. Army Corps of Engineers (1995) : Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoirs. Engineer Manual EM No. 1110-2-4000 (Revised and Updated), Washington DC.
- U.S. Bureau of Reclamation (1973) : Design of Small Dams. Denver, Colorado, USA, 1973.
- Walling, D.E. (1984) : The Sediment Yields of African Rivers. Challenges in African Hydrology and Water Resources (Proceedings of Symposium in Harare), International Association of Hydrological Sciences (IAHS), Publication No. 144.

