

Banque Mondiale / Commission du Bassin du Lac Tchad

**EVALUATION DE LA SURETE
DU BARRAGE DE MAGA, CAMEROUN**

Mars 2002

Table des Matières

1	Introduction.....	1-1
1.1	Contexte.....	1-1
1.2	Termes de référence.....	1-1
1.3	Etudes précédentes.....	1-1
1.4	Programme de travail.....	1-2
1.5	Remerciements.....	1-2
2	Description du Barrage.....	2-1
2.1	Accès.....	2-1
2.2	Plan du système.....	2-1
2.3	Hydrologie.....	2-1
2.3.1	Caractéristiques du réservoir.....	2-1
2.3.2	Déversements directs dans le bassin hydrographique.....	2-2
2.3.3	Déversements indirects dans le bassin hydrographique..	Error! Bookmark not defined.
2.3.4	Inondations.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.5	Evaporation.....	2-3
3	Inspection.....	3-1
3.1	Digue.....	3-1
3.1.1	Géométrie.....	3-1
3.1.2	Construction.....	3-1
3.1.3	Crête.....	3-1
3.1.4	Ecoulements en amont.....	3-1
3.1.5	Ecoulements en aval.....	3-2
3.2	Structures Hydrauliques.....	3-3
3.2.1	Canal de trop plein entre le réservoir et le Logone.....	3-3
3.2.2	Déversoir principal.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.3	Déversoir d'irrigation.....	Error! Bookmark not defined.
4	Facteurs menaçant l'Intégrité du Barrage.....	4-1
4.1	Stabilité de la digue.....	4-1
4.1.1	En amont.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2	En aval.....	Error! Bookmark not defined.
4.2	Erosion externe.....	4-1
4.2.1	Vagues.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2	Précipitations.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.3	Débordements.....	Error! Bookmark not defined.
4.3	Erosion interne.....	4-2
5	Plan d'Urgence.....	5-1
5.1	Responsabilité.....	5-1
5.2	Surveillance.....	5-1
5.3	Population en danger.....	5-1
5.4	Système d'avertissement.....	5-1
5.5	Préparation en cas d'urgence.....	5-1
5.5.1	Entretien de routine.....	5-1

5.6	Conclusion	5-2
6	Conclusions & Recommandations	6-1
6.1	Facteurs menaçant le barrage	6-1
6.2	Recommandations: sûreté du barrage	6-1
6.2.1	Erosion causée par les vagues	6-1
6.2.2	Inondations	Error! Bookmark not defined.
6.2.3	Conclusion	6-3
6.3	Recommandations: Plan de sécurité	6-3
6.3.1	Suivi	Error! Bookmark not defined.
6.3.2	Avertissement à l'avance	6-4
6.3.3	Emmagasinage en cas d'urgence	Error! Bookmark not defined.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Le barrage de Maga a été construit en 1979 dans le cadre du deuxième projet de la SEMRY afin de vulgariser et améliorer la culture du riz. Le plan du barrage couvrait 7.000 ha de champs de riz irrigués par l'eau du réservoir de Maga dont les digues de protection contre les inondations servaient aussi à protéger les champs des inondations annuelles du fleuve Logone.

Le barrage a été construit à la suite d'une sécheresse prolongée et a eu des conséquences indésirables sur l'environnement et l'économie sociale des marécages en aval. Un effort récent de la Commission du Bassin du Lac Tchad (CLBC) pour faire face à ces questions courantes au sein du bassin a conduit cette dernière à solliciter un projet intitulé "L'Inversion des Tendances de dégradation des Terres et de l'Eau du Bassin du Lac Tchad". Ce projet est composé de six projets pilotes entre autres, l'un d'eux étant consacré aux problèmes des plaines inondables du Waza Logone où le barrage est situé.

Lors du travail entrepris sur le terrain dans le cadre des composantes sociales et environnementales, la menace apparente posée par le barrage de Maga a été notée¹ et a conduit la Banque Mondiale à solliciter les services de Mr L J S Attewill de Jacobs GIBB Ltd pour l'évaluation de la sûreté du barrage.

1.2 TERMES DE REFERENCE

Les termes de référence de cette évaluation et de celles de deux barrages au Nigéria se trouvent en Annexe A de ce rapport.

1.3 ETUDES PRECEDENTES

Les études suivantes ont été consultées pour cette évaluation:

- Etude de Ré-inondation du Waza Logone par Delft Hydraulics en 1994². Ce travail, financé par l'IUCN, a étudié les différentes options de ré-inondation des plaines inondables. Deux options, C & D, impliquaient la construction d'un nouveau canal de trop plein sur la culée gauche du barrage de Maga afin de diriger l'eau directement vers l'ouest de la plaine inondable. Les deux options ont été jugées économiquement réalisables.
- Le Rapport d'Etude du Modèle de la Plaine Inondable de Logone par Mott MacDonald in 1999³. Ce rapport décrit le modèle mathématique de la plaine inondable de Logone et des différentes options de rétablissement de cette dernière. L'étude a recommandé comme meilleure option de ré-inondation de la plaine, l'accroissement de la capacité du Mayo Vrik à 100m³/s. L'option préférée de la Delft n'a pas été développée.
- La Réhabilitation de la Plaine Inondable de Waza-Logone: Projet de Ré-inondation par l'IUCN en 2000⁴. Dans ce rapport, trois autres options de ré-inondation, toutes économiquement réalisables, ont été considérées. L'option la plus coûteuse impliquait l'augmentation de la capacité du Mayo Vrik à 100m³/s.

1.4 PROGRAMME DE TRAVAIL

L'itinéraire de Mr Attewill pour cette évaluation était le suivant:

Judi soir	28 février	Arrivée à N'Djamena
Vendredi matin	1 ^{er} mars	Aux bureaux de la CBLC à N'Djamena
Vendredi après-midi		Voyage à Marua, Cameroun
Samedi	2 mars	Inspection du barrage
Dimanche matin		Inspection du barrage
Dimanche après-midi	3 mars	Discussions avec le personnel du projet de Waza Logone
Lundi	4 mars	Retour à N'Djamena

1.5 REMERCIEMENTS

Mr Attewill souhaite remercier les personnes suivantes pour leur contribution, assistance et appui:

Personnel de la CLBC

Mr Adamu – Secrétaire Exécutif

Mr Tochin – Secrétaire Administratif

Dr Oguntola – Chef de la Cellule des Ressources en Eau

Mr Tchangtauf - Chauffeur

Personnel du Projet de Waza Logone

Mr Roger Kouokam – Chef DPP

Mme Micheline Nono – Directeur Financier Adjoint

Mr Emile Yanze – Directeur Logistique

Personnel de la SEMRY

Mr Yaye Zigla – Chef de l'Unité des Travaux et des Services

2 DESCRIPTION DU BARRAGE

2.1 ACCES

Le barrage de Maga est situé à environ 85km à l'est de la ville de Maga comme le montre le Graphique 2.1

2.2 PLAN DU SYSTEME

Le système 2 de la SEMRY dont le barrage de Maga fait partie est composé:

- du barrage de Maga long de 27 km avec une hauteur maximale de 6m. Le barrage s'étend du village de Guirvidig à l'ouest (culée gauche) à Pouss à l'est (culée droite)
- de digues le long de la rive gauche du Logone s'étendant respectivement de Yagoua à Tekele en amont et Pouss en aval sur une distance de 100km
- du canal de Djafga reliant le fleuve Logone à la partie en amont du réservoir
- d'un canal de trop plein long de 750m offrant une connexion hydraulique entre le réservoir et le fleuve Logone
- d'un déversoir principal à Maga et de quatre déversoirs d'irrigation plus petits
- de la zone irriguée de 7000 ha
- du Mayo Vrik, principal moyen de drainage de la région

Le plan du système est représenté dans le Graphique 2.2

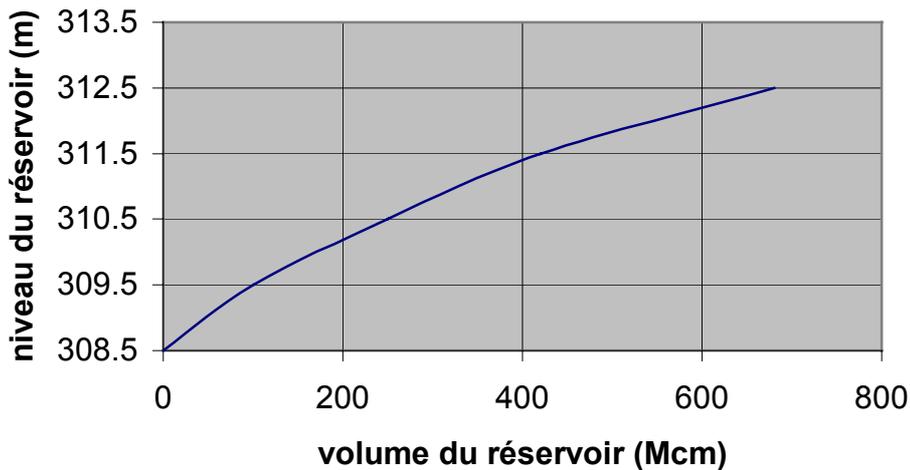
2.3 HYDROLOGIE

2.3.1 Caractéristiques du réservoir

Le réservoir a les caractéristiques suivantes:

		<u>Référence</u>
Niveau de stockage maximal	312,5m	Niveau donné par la SEMRY: 312,72 sur le plan de la Sogreah à échelle 1:200.000 (Graph. 2.2)
Niveau opérationnel minimal	310,8m	Niveau donné par la SEMRY
Superficie au niveau de stockage maximal	400 km ²	Estimation de Mott MacDonald
Volume au niveau de stockage maximal	680Mm ³	Volume donné par la SEMRY
Volume au niveau opérationnel minimal	280Mm ³	Volume donné par la SEMRY
Bassin hydrographique	6000 km ²	Estimation faite par l'auteur (très approximative)

Le Graphique 2.3 illustre une courbe de stockage approximative



Graphique 2.3: Courbe de stockage du réservoir de Maga

2.3.2 Arrivée directe d'eau dans le bassin hydrographique

Cinq courants éphémères connus sous le nom de Mayo s'écoulent directement dans le bassin hydrographique parmi lesquels deux Mayos principaux, le Tsanaga et le Boula dont le bassin hydrographique s'étend aussi loin à l'est que les montagnes Mandara à l'ouest. Il n'y a pas de données disponibles sur leurs flux annuels. Ces Mayos coulent d'août à octobre et sont secs de novembre à juillet.

2.3.3 Déversements indirects dans le bassin hydrographique

Les eaux s'écoulent du Logone vers le réservoir par trois connections:

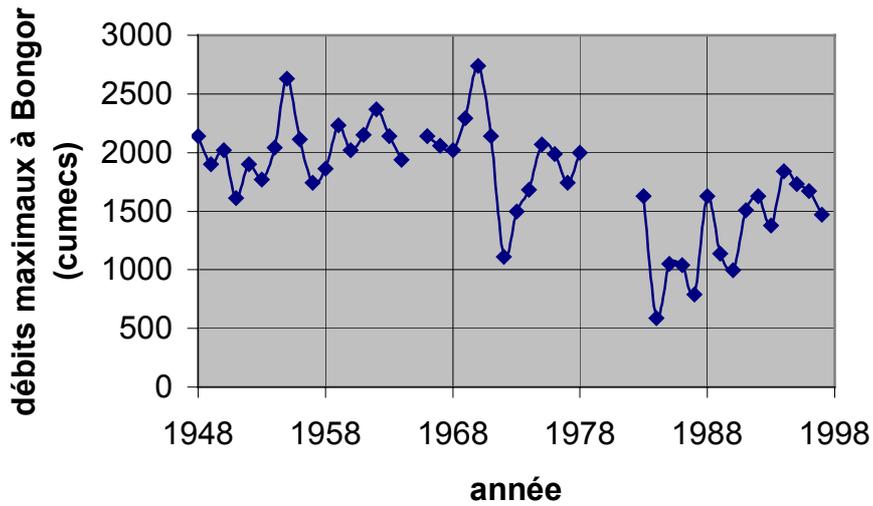
- Le Mayo Guerlou
- Le canal de Djafga
- Le canal de trop plein

Les écoulements d'eaux vers le réservoir par le Mayo Guerlou et le canal de trop plein ne sont pas contrôlés. Les eaux du canal de Djafga sont contrôlées par un déversoir en amont et quatre écluses de 2,4mx1.78m maintenant le niveau de réservoir entre 312,10m et 312,19m entre mi-octobre et mi-février.

2.3.4 Inondations

Lors de cette évaluation aucune donnée n'était disponible sur les écoulements directs d'eau vers le bassin hydrographique.

Depuis 1948, le débit quotidien du fleuve Logone est mesuré à Bongor, 75km en amont de Pouss. Les débits annuels maximaux sont présentés dans le Graphique 2.4 illustrant la réduction du niveau maximal depuis les années 70.



Graphique 3.4: débits maximaux à Bongor

2.3.5 Evaporation

L'évaporation annuelle du réservoir est estimée à 1,85m, le taux quotidien variant de 3mm en août à 7mm en mars-mai: la SEMRY estime à 200Mm³ la déperdition annuelle en eau du réservoir.

3 INSPECTION

3.1 DIGUE

3.1.1 Géométrie

Aucun détail sur la construction ou le plan de la digue n'était disponible lors de cette évaluation. La digue semble être une digue homogène d'argile compacte ayant les dimensions suivantes:

- Hauteur de crête: 314,25m
- Largeur de crête: 3m
- Ecoulements en amont: 1v: 5h
- Ecoulements en aval: 1v : 2h

Avec une hauteur nominale de crête de 314,25m et une hauteur maximale de réservoir rapportée à 312,5m, la hauteur minimale de franc-bord serait de 1,75m. Le niveau actuel varie considérablement, et à de nombreux endroits, une hauteur minimale de franc-bord considérablement inférieure à 1,75m a été observée. Une étude sur la hauteur de la crête de la digue est recommandée.

3.1.2 Construction

Pour une digue de cette longueur, il est peu probable que le remblai ait été prélevé d'une ou de plusieurs zones; il est plus probable que le matériel provienne des alentours du réservoir, immédiatement en amont de la digue. Cette théorie est confirmée par l'existence d'un lagon le long du barrage clairement visible au moment de la visite. Le remblai est composé d'argile.

De la même façon, il est probable que seule la couche supérieure de terre organique ait été ramenée à une profondeur standard avec une fondation avant le remblai de la digue. Il est possible qu'une tranchée d'isolation ait été creusée pour réduire le suintement, mais les niveaux élevés d'eaux souterraines auraient rendu difficile l'excavation et le remblai d'autre chose qu'une digue de faible hauteur.

3.1.3 Crête

La hauteur de la crête est variable, conséquence probable de variation de qualité des fondations causée par des dépôts accumulés après la construction. En outre, des creux réguliers d'environ 20cm existent aux endroits de la crête où les rampes d'accès ont été construites avec le talus en aval perpendiculaire à l'axe du barrage. Ces rampes sont creusées à des centres d'environ 100m.

3.1.4 Ecoulements en amont

Les écoulements en amont ne sont pas protégés contre l'attaque des vagues sauf aux environs des déversoirs. Par conséquent, l'action des vagues particulièrement sévère en août et septembre quand l'eau du réservoir est à son niveau maximal a érodé la partie supérieure des écoulements en amont pour la déposer plus bas, comme l'illustre le Graphique 3.1 et la Photographie 1. Ce processus classique d'érosion a déjà écourté les voies d'infiltration du réservoir lorsqu'il est plein, et continuera sans l'ombre d'un doute à se produire jusqu'à ce que la crête entière soit sapée à moins que des actions de rémédiation ne soient entreprises.

Graphique 3.1: Coupe transversale typique de la digue



Photographie 1: érosion de la saillie en amont
(photo de Nicholas Hodgson)

3.1.5 Ecoulements en aval

Les écoulements en aval bien que ne montrant pas de signe d'instabilité ont souffert d'une érosion moyenne causée par les précipitations. Il n'y a aucun signe de dégât causé par des animaux creusant la terre et au moment de la visite, les écoulements en aval et la terre naturelle entre la route et le mur du talus semblaient secs. Il a été cependant rapporté que cette bande de terre est mouillée quand le réservoir est plein.

3.2 STRUCTURES HYDRAULIQUES

3.2.1 Canal de trop plein entre le réservoir et le Logone

Le canal de trop plein est composé d'une bande en béton de 750m de long creusée dans le sol à une hauteur de 312,19m, comme le montre la Photographie 2.



Photographie 2: Canal de trop plein du Maga/Logone en saison sèche

D'après les rapports du gardien local, la bande est chaque année submergée par les eaux s'écoulant du fleuve vers le réservoir en amont et du réservoir vers le fleuve en aval. Ce phénomène s'explique par la différence d'inclinaison entre le niveau de l'eau du fleuve (environ 1: 7500) et le niveau horizontal de l'eau du réservoir. La Photographie 3 prise le 7 octobre 2001 après une forte inondation montre l'eau s'écoulant du réservoir. Lors d'une inondation majeure, le niveau du fleuve sera tel que les eaux s'écouleront vers le réservoir le long du canal de trop plein.



Photographie 3: écoulement de l'eau du réservoir vers le Logone au nord du canal de trop plein. (photo de Nicholas Hodgson)

3.2.2 Déversoir Principal

Le déversoir principal situé à 11+65km donne sur le Mayo Vrik. La structure comprend cinq caniveaux chacun contrôlé par deux écluses de 1,4m x1,4m d'une capacité maximale de 10m³/s chacune, pour une capacité totale de 100m³/s. Cependant, le canal de déversement en aval est partiellement bloqué par la végétation et les dépôts de sédiments ramenant sa capacité totale à seulement 6m³/s. Cette structure est en très bonne condition.

3.2.3 Déversoirs d'irrigation

Il y a quatre réservoirs d'irrigation différents situés aux endroits suivants (mesurés à partir de la culée gauche):

- 7+55km
- 15+6km
- 20+5km
- 26+5km

Chaque déversoir est composé d'une structure en béton avec deux écluses de 2m x 2m, chacune d'une capacité de 10m³/s s'écoulant dans un bassin de distillation revêtu de béton.

4 FACTEURS MENACANT L'INTEGRITE DU BARRAGE

4.1 STABILITE DE LA DIGUE

4.1.1 En amont

Les écoulements en amont de la digue ont été construits avec une légère inclinaison et à part l'érosion discutée ci-dessous ne montre aucun signe d'instabilité.

4.1.2 En aval

Bien que les écoulements en aval aient été construits avec une inclinaison relativement abrupte, il n'y a pas de signe d'instabilité. Si les écoulements en amont et la crête continuent à s'éroder, les pressions interstitielles dans la saillie en aval augmenteront lorsque le réservoir est plein sur une longue durée de temps accroissant ainsi le risque d'instabilité du talus en aval.

4.2 EROSION EXTERNE

4.2.1 Vagues

En l'absence d'intervention, l'érosion causée par les vagues continuera jusqu'à ce qu'il y ait éventuellement une brèche dans la digue et que l'eau déborde de la digue. Pour éviter cela les sections endommagées devraient être réparées avec un remblai condensé et tout le talus protégé par des pierres entre les niveaux d'élévation de 312m et 313m.

Comme alternative, ou jusqu'à ce que ces travaux aient été effectués, le niveau maximal du réservoir devrait être restreint à 312,2m.

4.2.2 Précipitations

L'effet érosif des pluies n'est pas encore sévère mais devrait être surveillé de près: toute zone d'écoulement en aval où l'érosion deviendra particulièrement sévère devra être réparée avec du remblai condensé.

4.2.3 Débordements

En l'absence de toute étude sur les inondations, il est difficile d'évaluer la menace posée par les débordements. Les données sur le débit annuel présentées dans le Graphique 2.4 montrent que les principales inondations dans le Logone depuis la construction du barrage en 1994 ont eu lieu quand le débit maximal à Bongor était de $1840\text{m}^3/\text{s}$. Malheureusement, les données sur le niveau du fleuve à Pouss n'étaient pas disponibles pour inspection, empêchant ainsi toute connaissance du débit maximal ou du niveau du fleuve à Pouss à ce moment. Il est évident cependant que même les débits maximaux modestes qui ont eu lieu après la construction du barrage ont élevé le niveau du barrage à au moins 312,5m, laissant une hauteur de franc-bord inférieure à 1,75m. Le débit maximal de 1994 n'atteignait que 67% du débit record enregistré ($2740\text{m}^3/\text{s}$ en 1970), n'étant pas lui-même considéré comme un événement particulièrement grave. La probabilité d'une inondation dans le Logone pouvant causer le débordement de la digue est relativement faible, possiblement aussi faible que 1 année sur 100.

La situation est rendue encore plus complexe par les ruissellements directs dans le barrage du Mayo Boula et du Mayo Tsanaga. L'auteur ne sait pas si une étude d'inondation de ces Mayo a été faite.

La capacité de la digue à résister à l'érosion causée par le débordement est aussi difficile à évaluer: la digue est faite d'argile résistant naturellement aux courants d'eau et parce qu'elle est très longue, les flots par mètre de longueur seront aussi faibles. Ainsi, seule une couche d'eau mince, de quelques centimètres seulement et d'une faible vitesse, passera au dessus de la crête de la digue. Il faudrait aussi tenir compte du fait qu'une inondation majeure dans le Logone pourrait causer un débordement en aval du Pouss et une inondation de toute la zone, y compris Maga.

De telles considérations sont cependant toujours spéculatives en particulier dans le cas du barrage de Maga qui a une hydraulique inhabituellement compliquée. La politique la plus sage est donc d'éviter le débordement en augmentant la capacité de déversement. Cela peut-être fait soit en rétablissant la capacité initiale du Mayo Vrik ou en construisant un nouveau canal de trop plein près de la culée gauche. Une étude détaillée sur les inondations serait nécessaire pour déterminer la capacité du canal de trop plein requise pour éviter le débordement en cas d'inondation, modèle ne devant pas se faire sur une période inférieure à 10.000 ans.

4.3 EROSION INTERNE

Une preuve anecdotique suggère un suintement considérable tout au long de la digue, et possiblement de ses fondations lorsque le niveau du réservoir est au-dessus de 312,2m. Tout barrage souffre de suintement, ce qui n'est pas nécessairement un problème. Le problème ne se pose que quand les vitesses de suintement sont assez fortes pour éroder le matériel et créer un interstice dans la digue. Les digues composées de vase sont particulièrement vulnérables, celles d'argile comme le Maga l'étant un peu moins. Les méthodes classiques de contrôle de l'érosion interne sont la prévention de la migration de particules solides avec l'utilisation de filtres internes ou la limitation de l'inclinaison hydraulique pour réduire la vitesse des suintements. Le barrage de Maga n'ayant pas été construit avec des filtres internes, la deuxième option est la seule disponible. Etant donnée la géométrie initiale de la digue, l'inclinaison hydraulique maximale aurait été de 1 : 8, chiffre raisonnable. Cependant, les effets de l'érosion du talus en amont et la crête du barrage ont réduit la longueur de la trajectoire du suintement causant une augmentation de l'inclinaison hydraulique à 1 : 5 quand le réservoir est plein. Une érosion supplémentaire causerait une augmentation de l'inclinaison hydraulique si bien que si la digue ne cède, elle sera affaiblie par l'érosion interne. Il est donc impératif soit de réparer les dégâts causés par l'érosion interne ou de réduire le niveau maximal du réservoir.

5 PLAN D'URGENCE

5.1 RESPONSABILITE

La Loi Camerounaise tient le propriétaire du barrage pour responsable de la sûreté du barrage. Dans le cas de Maga, le Ministère de l'Agriculture par le biais de sa succursale, la SEMRY, est en définitive le propriétaire du barrage.

5.2 SURVEILLANCE

Bien qu'il n'y ait pas de plan formel de sûreté à Maga, le niveau du réservoir est enregistré quotidiennement et des inspections de la digue faites régulièrement. Malheureusement, l'inspection ayant eu lieu le week-end sans avertissement préalable de la SEMRY, les données n'étaient pas disponibles. Mr Yaye Zigla, le Chef de l'Unité des Travaux et des Services (UTS) a pu décrire le mécanisme de surveillance assuré par la SEMRY et de garantie de la sûreté du barrage.

5.3 POPULATION EN DANGER

La SEMRY a estimé l'entière population de la région du barrage de Maga à 20.000. Cependant, un grand nombre de ces personnes vivant loin du barrage, elles ne seront pas nécessairement en danger si le barrage venait à céder. La zone en aval étant plate, les eaux s'échappant du barrage s'étendraient sur une grande superficie avec une vélocité et une profondeur relativement faibles. Il est donc raisonnable de supposer que seules les populations vivant près du barrage risquent leur vie. La population la plus vulnérable est clairement celle du village de Maga non seulement à cause de sa proximité du barrage, mais aussi parce que ce dernier est plus haut près du village qu'ailleurs. La population de Maga est estimée à plusieurs milliers de personnes.

5.4 SYSTEME D'AVERTISSEMENT

Il n'existe aucun système formel d'avertissement à Maga.

Les systèmes d'avertissement sont plus efficaces lorsqu'ils peuvent prévenir à l'avance la population d'un danger éventuel afin qu'elle puisse se retirer à un endroit en élévation adjacent sûr. Ils sont généralement déclenchés par un système de suivi ayant identifié des signes inhabituels et inexplicables. A Maga il n'existe pas d'autre système de suivi que la vigilance de la population locale et aucune élévation adjacente sur laquelle se retirer.

Cependant, comme l'indique la section 4 ci-dessus, la cause la plus probable d'urgence à Maga serait un niveau de réservoir inhabituellement élevé dont la population à risque sera profondément consciente.

5.5 PREPARATION EN CAS D'URGENCE

5.5.1 Entretien de routine

Le budget annuel disponible pour l'entretien de tous les dix barrages du Ministère de l'Agriculture est de 200 millions de F CFA. Le montant exact alloué au barrage de Maga n'est inconnu mais en supposant que tous les barrages font face à des problèmes d'importance égale, il sera approximativement de 20 millions de F CFA ou 27.000 \$US.

L'UTS de la SEMRY a à sa disposition les équipements suivants par ordre d'opération:

- 1 râcleur
- 2 bulldozers
- 2 camions
- 1 chargeuse-pelleteuse

L'utilisation de ces équipements est souvent contrainte par l'absence de fonds pour les matières consommables – essence etc., mais les efforts semblent être centrés sur les réparations d'urgence et les travaux préventifs entre les mois d'août et octobre lorsque le réservoir est à son niveau le plus bas. Par exemple, M Zigli a raconté que l'année dernière, des réparations d'urgence avaient été faites sur cinq points du barrage où les suintements étaient excessifs.

5.6 CONCLUSION

M Zigli, le chef de projet de la SEMRY résidant à Maga, est conscient de sa responsabilité et de son rôle direct dans la sûreté du barrage de Maga et fait l'impossible pour s'acquitter de cette tâche. Il est bien sûr limité par le manque de ressources financières, mais une assistance technique et un budget relativement faible alloué à la sûreté du barrage donneraient des résultats significatifs en terme de sécurité.

6 CONCLUSIONS & RECOMMANDATIONS

6.1 FACTEURS MENACANT L'INTEGRITE DU BARRAGE

L'intégrité du barrage est menacée par deux choses principales:

1. L'érosion continue côté en amont et de la crête de la digue causée par l'attaque des vagues face à des niveaux élevés du réservoir. Sans intervention, elle causera l'un des problèmes suivants:
 - débordement
 - défaillance des écoulements en aval
 - infiltration
2. Le débordement causé par une inondation sévère résulterait probablement en une rupture du barrage.

6.2 RECOMMANDATIONS: SURETE DU BARRAGE

6.2.1 Erosion causée par les vagues

Deux options pourraient être adoptées pour éviter la rupture du barrage causée par l'érosion des vagues, aucun d'entre elles n'étant simple ou directe:

1. Réparer les portions endommagées de la digue et protéger la zone vulnérable en amont entre les niveaux 312 et 313m contre l'attaque des vagues. C'est la méthode standard pour la grande majorité des digues de barrage
2. Limiter le niveau maximal du réservoir à 312,0m impliquant une baisse d'environ 0,5m du niveau actuel. Cette intervention aura les résultats suivants:
 - Les vagues se briseraient sur une inclinaison plus plate de la digue sous la cime érodée. Une inclinaison plus faible permettra de réduire la force des vagues
 - Le pas de suintement plus long réduirait l'inclinaison hydraulique et par conséquent le risque d'infiltration

La solution de réparation et protection sera bien sûr très coûteuse. Les réparations impliqueraient l'excavation des portions endommagées et le remplacement de l'argile d'une densité et d'un état hydrométrique corrects. La protection impliquerait la pose d'au moins trois couches de remblai granulaire: une couche de sable adjacente à l'argile, une couche de transition composée de gros gravier ou roc concassé et pour finir, une couche de gros rocs. Comme alternative, un système de protection consistant de blocks de béton pré-coulé sur géo-membrane pourrait être considéré. Même si seulement 10% du tranchant en amont doit être traité, le coût total quelque soit la solution choisie, pourrait être de plusieurs millions de \$US et nécessiterait plusieurs années d'exécution. Eventuellement bien sûr, il pourrait être nécessaire de traiter tous les 27km de digue.

La baisse du niveau maximal du réservoir réduirait d'environ 100 Mm³ le volume d'eau disponible pour l'irrigation mais améliorerait de façon efficace la sûreté du barrage. La difficulté réside dans le contrôle du réservoir. La grande majorité des eaux se déversant dans le réservoir – les eaux du Logone passant au-dessus du canal de trop plein et les flots directs des Mayos Tsanaga et Boula ne peuvent être contrôlés ou même mesurés avec précision. Le seul moyen de contrôle du niveau du

réservoir –déversements dans le Vrik – est plutôt inefficace. Par conséquent, le contrôle du niveau du réservoir nécessite soit une augmentation de la capacité des flots déchargés ou une réduction des flots s'écoulant dans le barrage.

La capacité des flots déchargés ne peut être augmentée qu'en draguant le Mayo Vrik ou en construisant une nouvelle structure d'échappement comme envisagée par Delft Hydraulics.

Les arrivées d'eau dans le barrage ne peuvent être réduites qu'en augmentant le niveau de la crête du canal de trop plein de Maga/Logone long de 750m et en renforçant si nécessaire les digues de protection plus en amont.

Chacune de ces options est coûteuse et, tout comme l'option de réparation-protection, demanderait plusieurs années d'exécution.

6.2.2 Inondations

La grande majorité des barrages à digues est construite avec un canal de trop plein pour évacuer les flots extrêmes et éviter les débordements. Le barrage de Maga est différent des barrages habituels en ce sens que le niveau maximal du réservoir dépend entièrement du niveau du fleuve à Pouss plutôt que du volume d'eaux se déversant dans le barrage. Bien qu'une étude détaillée sur les inondations soit requise pour déterminer de façon plus précise le niveau d'inondation susceptible de causer un débordement, la possibilité reste faible (c'est-à-dire probable). Encore une fois, deux solutions existent:

1. Réduire la quantité d'eau s'écoulant dans le barrage en surélevant la crête du canal de trop plein de Maga/Logone comme décrit dans la section 6.2.1 ci-dessus et évacuer les flots venant directement bassin hydrographique par le déversoir du Mayo Vrik correctement élagué.
2. Construire un nouveau canal de trop plein vers la culée gauche près du village de Guirvidig

Une étude sur les inondations sera nécessaire pour confirmer avec précision

- La hauteur à laquelle le canal de trop plein devrait être élevé
- La capacité du Mayo Vrik requise
- La capacité d'un nouveau canal de trop plein sur la culée gauche

L'élagage du Mayo Vrik bien que souhaitable en plusieurs sens, ne suffirait pas à offrir la capacité nécessaire pour contrôler le niveau du réservoir en cas de fortes inondations.

La première option, celle de l'élagage du Vrik et d'élévation de la crête du canal de trop plein est une entreprise majeure dont l'exécution nécessitera plusieurs années et des millions de dollars.

La construction d'un canal de trop plein sur la culée gauche avec une rupture à une hauteur de digue de 2-2,5 m pourrait être relativement bon marché. Le canal de trop plein serait sans contrôle et la crête un simple mur en béton comme le canal de trop plein de Maga/Logone mais à une hauteur inférieure de 312m. Il sera nécessaire de creuser un canal enduit et sans profondeur pour détourner les flots de la propriété de la SEMRY, en

utilisant par exemple le canal Arezilmatay illustré dans le Graphique 6.2 du rapport de Delft et le Graphique 6.1 de ce rapport.

6.2.3 Conclusion

Options	Solution pour	
	L'érosion de la digue	Le débordement des flots
Réparation de la digue et protection contre l'attaque des vagues	✓	
Contrôle du niveau maximal du réservoir en surélevant le canal de trop plein de Maga/Logone et élaguant le Mayo Vrik	✓	✓
Contrôle de la capacité maximale du réservoir en construisant un nouveau canal de trop plein sur la culée gauche	✓	✓

Seules deux options garantiraient la protection du barrage contre les deux menaces. La première, celle consistant à élever le canal de trop plein de Maga/Logone tenterait en fait d'isoler le réservoir du fleuve en construisant un nouveau barrage le long de la rive gauche du fleuve. Tous les flots du Logone s'écouleraient alors vers l'est du Pouss élevant ainsi les flots des fleuves.

La seconde option offre une plus grande capacité de débit atténuant ainsi la constriction à Pouss. Le canal de trop plein sur la culée gauche pourrait être construit d'une façon relativement rapide et bon marché et représenterait la première étape de l'option recommandée par Delft dans son Etude sur la Ré-inondation.

6.3 RECOMMANDATIONS: PLAN DE SURETE

6.3.1 Suivi

Il apparaît de la réunion avec M Ziogli que la SEMRY entreprend déjà les tâches de suivi de base. Ces dernières devront cependant être formalisées et les résultats rendus plus accessibles. Les données essentielles suivantes devront être conservées:

- Lecture quotidienne des niveaux du réservoir et du fleuve
- Lecture hebdomadaire des flots s'écoulant dans le barrage contrôlés par les écluses et des flots déversés
- Enregistrement des notes d'inspection – mensuelle pendant la saison sèche et hebdomadaire ou même quotidienne lorsque le niveau du réservoir est élevé
- Enregistrement de toutes les actions correctives ou préventives entreprises

En outre, une inspection détaillée du niveau de la digue est recommandée.

Les données devront être enregistrées dans un cahier conservé au bureau de la SEMRY. Dans de nombreux pays, la loi exige que ces données soient vérifiées chaque année par un inspecteur externe: une clause similaire devrait être adoptée à Maga.

6.3.2 Avertissement à l'avance

L'installation de sirènes manuelles devrait être considérée au déversoir de Vrik pour avertir les populations les plus vulnérables d'un écroulement du barrage.

6.3.3 Emmagasiner en cas d'urgence

Des stocks de matériaux et matières consommables devraient être maintenus pour utilisation en cas d'urgence. Les choses suivantes sont considérées essentielles:

Matériaux

- Argile
- Sable
- Gravier
- Sacs de sable

Matières Consommables

- diesel
- pièces détachées

Références

¹ Projet du Bassin du Lac Tchad financé par le FEM: "Evaluation Intégrée des impacts environnementaux et sociaux" - Janvier 2002

² Delft Hydraulics pour l'IUCN: "Etude de Ré-inondation du Waza Logone" – Juin 1994

³ Mott MacDonald: "Rapport d'Etude du Modèle de la Plaines Inondable de Logone" – Mai 1999

⁴ IUCN: "Réhabilitation de la Plaine Inondable de Waza-Logone: Projet d'une Programme de Ré-inondation" – May 2000