

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

EVALUATION DE L'ETAT DU BARRAGE, DES DIGUES, DU RESERVOIR ET DES STRUCTURES HYDRAULIQUES DU SYSTEME DE MAGA-LOGONE-VRICK

SITUATION HYDROLOGIQUE, GEOTECHNIQUE ET MENACES NATURELLES



Rapport technique préparé par:

*Dr. Sergio Mora-Castro et MSc. Javier Saborío-Bejarano*

2 novembre, 2012



**GFDRR**  
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery

With financial support from the European Union  
In the framework of the ACP-EU Natural Disaster Risk Reduction Program, managed by the GFDRR

**Remerciements:**

Pour cette étude, nous avons bénéficié de la grande collaboration de Mmes. Shelley McMillan, Spécialiste Principale des ressources en eau, Cia Sjetnan Sénior des opérations, Cameroun; et MM. Manievel Sene, Spécialiste Principale en développement rural ,Cameroun,; Koffi Hounkpe , Spécialiste en gestion des risques et catastrophes , Togo et Doeckle Wielinga, Coordonnateur du Programme Gestion des Risques de Catastrophes Region - Afrique - GFDRR; tous fonctionnaires de la Banque mondiale.

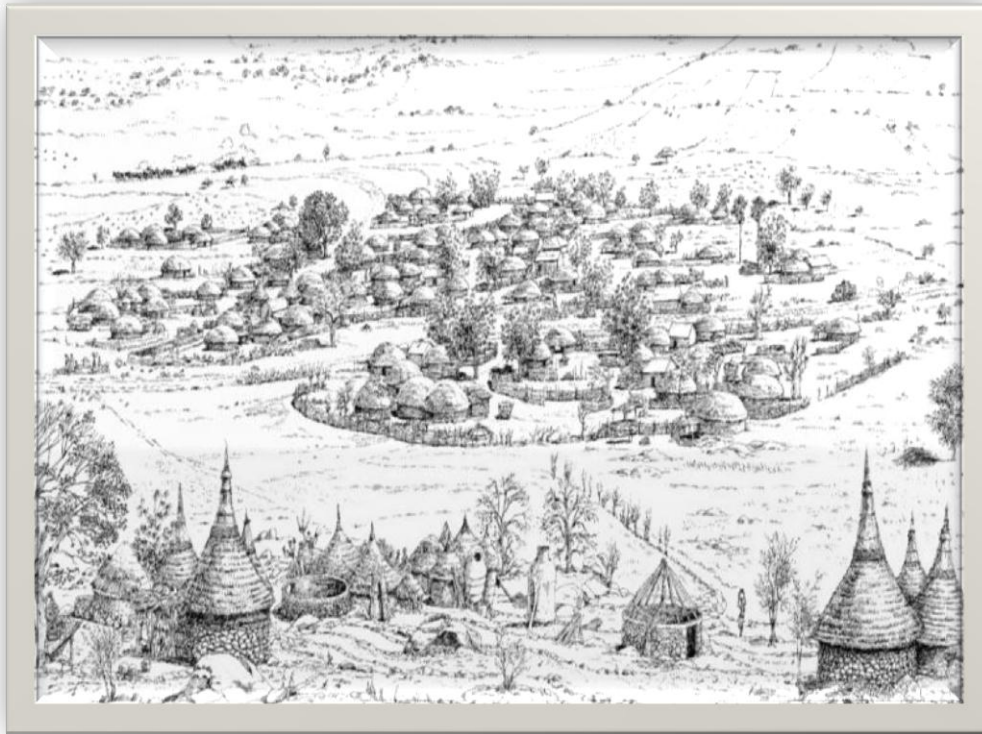
Ce rapport a été préparé à l'attention du Gouvernement du Cameroun et de la Banque mondiale, avec l'appui financier de l'Union Européenne dans le cadre du Programme ACP-UE de Prévention des Risques de Catastrophes Naturelles, géré par la Facilité mondiale pour la prévention des risques et le relèvement (GFDRR).

Pour toute demande d'information complémentaire, veuillez-vous adresser à:

Shelly McMillan: [smcmillan@worldbank.org](mailto:smcmillan@worldbank.org)

Sergio Mora: [sergio.moracastro@gmail.com](mailto:sergio.moracastro@gmail.com)

Javier Saborío: [saborio.javier@gmail.com](mailto:saborio.javier@gmail.com)

**Avertissement :**

Les résultats, interprétations et conclusions exprimées dans ce document sont celles des auteurs, et ne reflètent pas nécessairement les vues de la Banque Internationale pour la Reconstruction et le Développement / Banque mondiale et ses organisations affiliées, ou ceux des administrateurs de la Banque Mondiale ou des gouvernements qu'ils représentent.

Tous les documents originels, bases de données et les cartes de ce rapport sont disponibles, sous demande, en fichiers électroniques (e.g. MSWord, Excel, pdf, jpg, shape, etc.). Certaines sources citées dans le document peuvent être des documents officiels qui ne sont pas facilement disponibles.

## Table de matières

	<u>Page</u>
I - INTRODUCTION	4
1.1 Contexte	4
1.2 Objectifs	6
1.3 L'évènement hydrométéorologique de juillet-septembre 2012	6
II - LE SYSTÈME MAGA-VRICK-LOGONE	8
2.1 Généralités	8
2.2 Le lac-réservoir de Maga	8
2.3 La digue-barrage en terre compactée de Maga	9
2.4 Les prises d'eau des canaux primaires d'irrigation	12
2.5 L'ouvrage d'évacuation sur le Mayo Vrick	13
2.6 Déversoir de Logone-Pouss	14
2.7 La digue de Logone	15
III - MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE	16
3.1 Modèles et scénarios	16
3.2 Cartographie de base, modèle numérique du terrain et l'utilisation actuelle des terres	16
3.3 Information hydrométéorologique	18
3.4 Modélisation d'une rupture hypothétique du barrage de Maga	22
3.4.1 Information minimale nécessaire pour modeler la rupture d'un barrage	22
3.4.2 Description du modèle de rupture du barrage	22
3.4.3 Sélection de l'évènement utilisé dans la simulation	23
IV - CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	31
4.1 De manière générale et dans le court terme	31
4.2 Intégration des solutions partielles dans une stratégie de développement intégral	31
4.3 Quant à l'information cartographique, hydrologique et hydraulique	32
4.4 Quant aux problèmes géotechniques des ouvrages	33
4.5 Compléments et appui à la durabilité des solutions	35
4.4.1 La gestion et le renforcement institutionnel	35
4.4.2 La gestion des bassins versants et des ressources hydriques	36
4.4.3 Production de l'énergie hydroélectrique par une microcentrale intégrée au barrage de Maga	37
4.4.4 La gestion intégrale du risque dans l'Extrême Nord de Cameroun	37
a. Principes de base d'une politique régionale pour la gestion du risque	37
b. Analyse des menaces naturelles dans la région de Maga	38
c. La gestion du risque, l'aménagement du territoire et le zonage des menaces naturelles	41
V - BIBLIOGRAPHIE	41
ANNEXE: Glossaire	42



# I - INTRODUCTION

## 1.1 Contexte

Vers la fin du mois d'août et le début de septembre 2012, des pluies importantes (environ 50 ans de période de retour) ont affecté les régions du Nord et de l'Extrême Nord du Cameroun (Figures 1 a et 1b). Celles-ci ont eu comme conséquence des crues des mayos Tsanaga, Boula, Grueléo, Vrick et du fleuve Logone et l'élévation exceptionnelle du niveau du lac de Maga (environ 312,50 m SNC). À la date de la visite de terrain (26-30 septembre 2012), le tronçon entre Mara et Pouss de la digue de Logone n'était pas accessible par voie terrestre et comporte, selon les fonctionnaires de la SEMRY, plusieurs points de rupture à environ 35% de sa longueur. Des infiltrations, des renards et des petits débordements dans le corps du barrage de Maga et de la digue de Logone, ont fragilisé leurs structures, causé des ruptures partielles et ont failli provoquer un désastre sur la population locale (environ 120.000 personnes), leur habitat, leurs moyens de subsistance, les rizières et l'environnement. Des interventions d'urgence, avec l'emplacement de sacs de terre et des injections artisanales de coulis à ciment et sable, réalisées par les riverains, la SEMRY et l'armée, ont contribué à mitiger les probabilités d'une rupture violente du barrage de Maga et la vidange soudaine du réservoir.

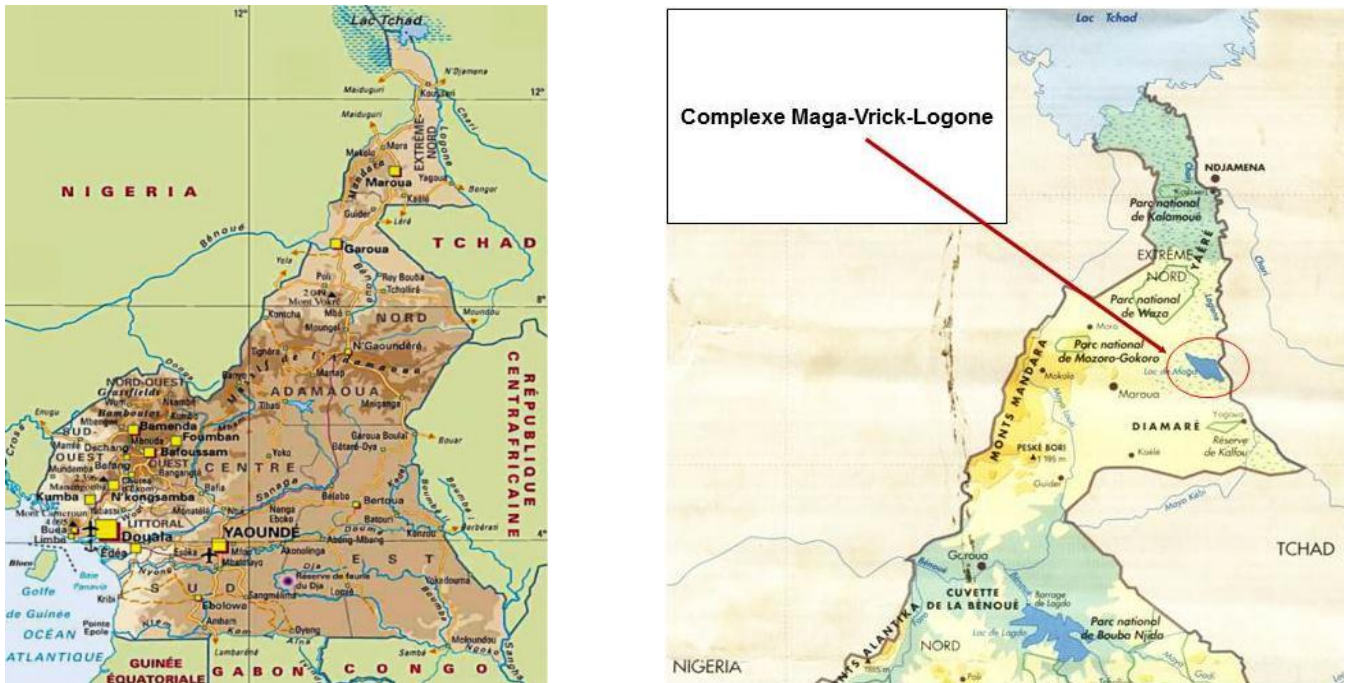


Figure 1: a) Cameroun et b) Situation géographique du lac de retenue de Maga dans la région de l'Extrême Nord.

Ces ouvrages (Figure 2, Tableau 1), gérés par la SEMRY, ont été construits dans les années 1970 et n'ont pas été suffisamment entretenus. Le barrage de Maga (entre Guirvidig et Pouss) est fait d'un remblai en terre compactée destiné à retenir et stocker l'eau pour l'irrigation des périmètres rizicoles. Le réservoir récolte les eaux des mayos ainsi que du Logone par le chenal de Djafga et diverses brèches dans la digue. Sur 5 prises d'eau pour l'irrigation 4 sont fonctionnelles. L'évacuateur du Mayo Vrick consiste d'une structure de décharge, à présent en service avec 6 vannes sur 8. Lorsque le niveau du lac a commencé à augmenter de façon dangereuse, il a été difficile d'ouvrir les vannes. Cette incapacité à anticiper et gérer les crues constitue en elle-même un risque pour l'ouvrage. En principe et par anticipation, le lac devrait être partiellement vidé en juillet pour accueillir les eaux de la saison des pluies. Cela permettrait également de limiter l'envasement du lac. Le déversoir de Pouss doit évacuer les eaux dans un sens où l'inverse selon le niveau du lac ou du Logone déborde sur l'autre, respectivement; il a été inondé à cause de la crue et la rupture de la digue.

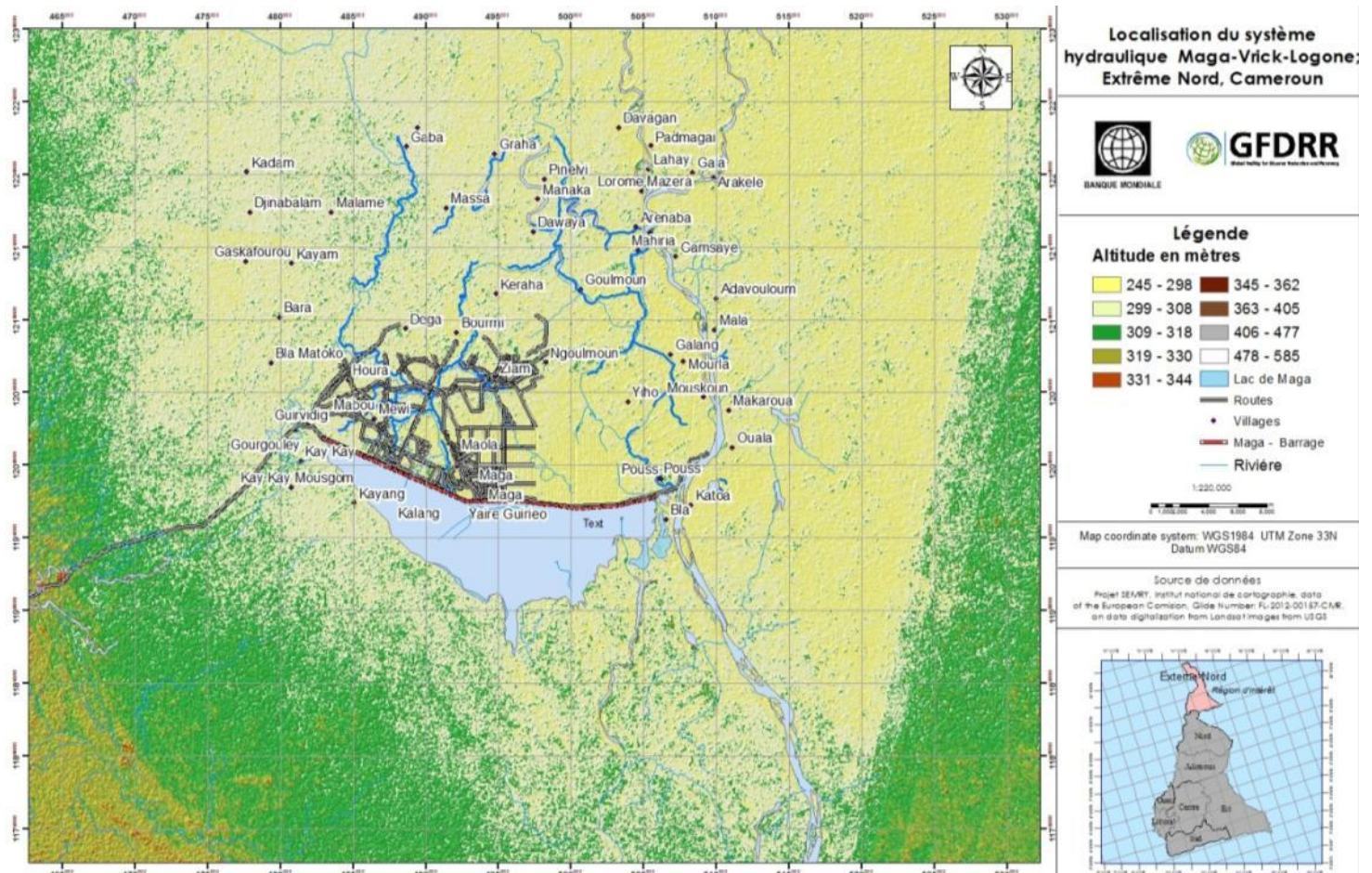


Figure 2. Localisation du complexe Maga-Vrick-Logone.

Tableau 1. Caractéristiques du système Maga-Vrick-Logone (Source: Le Competing-Bet; 2006).

Œuvre	Caractéristiques
<b>Réservoir de Maga</b>	Création en 1979; 33 ans
Capacité maximale originelle	Environ 620 millions de m <sup>3</sup>
Profondeur moyenne	Comprise entre 3 et 4 m
Extension en étiage	36.000 Ha (Le miroir d'eau aurait aujourd'hui une superficie d'environ 109 km <sup>2</sup> )
Côte d'alerte en inondation	Côte d'alerte contre les inondations: 312.5 m
Entrées d'eau	Par apports naturels et artificiels
<b>Digue / barrage</b>	Création en 1978; 34 ans
Matériel	Terre compactée
Longitude	27 km (de Pouss à Guirvidig)
Largeur de la crête	3,5 m
Hauteur moyenne	4,0 m
Côte à la crête	314,5 m
<b>Ouvrages d'évacuation Vrick</b>	Dix vannes avec capacité de 100 m <sup>3</sup> /s (dont seulement 6 fonctionnelles)
<b>Déversoir Logone-Pouss</b>	<b>Déversoir Logone-Pouss</b>
Côte d'échange-calage	312,19 m
Mur en béton	0,60 m largeur, 750 m longueur profondeur 2,5 m
<b>Canal d'alimentation artificiel de Dafga</b>	
Longueur	11 Km
Apport	De 19 à 30 m <sup>3</sup> /s
<b>Digue de Logone</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digue en terre compactée de 45 Km de longueur, de Djogoide (Yagoua) à Bégué Palam largeur de crête de 1 à 1,5 m</li> <li>• Digue Logone en terre non compactée 27 km, de Bégué Palam à Pouss</li> </ul>

Le déficit d'entretien accumulé pendant trois décennies de fonctionnement a contribué à la dégradation avancée des ouvrages, particulièrement de ses constituants sensibles:

- La digue barrage de retenue en terre compactée de Pouss à Guirvidig, sur près de 27 km
- Les ouvrages de prise P1, P2, P3 et P4, situés en tête des canaux primaires d'irrigation



- L'ouvrage évacuateur des crues sur le Mayo Vrick et son chenal contigu
- Le déversoir Logone à Pouss
- Les digues de protection de Pouss à Bégue-Palam (20 km) et de Pouss à Tékélé (22 km)
- Le chenal d'alimentation en eau du Logone à Djafga vers le lac (11 km)
- Le réseau de mesures hydrologiques et limnimétriques

## 1.2 Objectifs

Le Gouvernement du Cameroun (GoC), à travers son Ministère de l'Economie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (MINEPAT), a sollicité l'appui de la Banque Mondiale pour évaluer la réhabilitation du barrage et de ses œuvres annexes, afin d'éviter leur effondrement à court et long termes. Suivant la demande du GoC, cette mission, déroulée du 23 septembre au 6 octobre 2012, a eu les objectifs suivants:

1. Évaluer l'état actuel et l'intégralité structurelle du barrage, la digue et le réservoir du complexe hydraulique de Maga-Vrick-Logone; identifier et proposer des recommandations préliminaires, des mesures pour leur réhabilitation provisoire, et leur renforcement et reconstruction complète pour le court et long termes
2. Déterminer les zones affectées par les inondations et celles exposées et vulnérables si la situation venait à s'aggraver
3. Réviser les capacités du Cameroun dans le domaine de la gestion du risque, des urgences et des désastres face à l'éventualité de l'effondrement de ces structures
4. Proposer des éléments à prendre en compte dans le cas d'une éventuelle opération d'urgence appuyée par la Banque Mondiale dans le cadre de la réhabilitation, voire reconstruction
5. Réaliser une évaluation préliminaire des zones couvertes par un scénario de rupture, de manière à orienter les stratégies pour l'intervention en cas d'urgence et le renforcement de la gestion intégrale du risque

## 1.3 L'évènement hydrométéorologique de juillet-septembre 2012

Du 15 août au 17 septembre 2012, l'ensemble de la région septentrionale du Cameroun a été touché par des pluies intenses qui ont provoqué des inondations dans les alentours de Girvidik, Maga et Yagoua, dans l'Extrême Nord (Figures 1a, 1b, 2 et 3) et qui ont causé des dégâts dans les zones et ouvrages hydro-agricoles associés au barrage de Maga et la destruction quasi-totale de la digue de Logone. Les inondations ont affecté plus de 30.000 personnes et leurs activités économiques et sociales, avec la détérioration d'étendues importantes de terres cultivées et de l'élevage. Cette situation risque d'aggraver la pauvreté et de l'insécurité alimentaire dans la région.

À présent, à cause du manque de séries chronologiques sur la pluviométrie, avant et après la construction des ouvrages, et d'un système de surveillance hydrométéorologique et climatique en temps réel, il n'est possible que de spéculer sur l'envergure absolue de ces pluies et de l'importance des crues des rivières Logone, Benoue et des mayo affluents. Le fait qu'il n'y a pas des comparaisons avec un référentiel historique permettant de situer le niveau de gravité de la situation, fait qu'il soit difficile de faire des prévisions quant à l'évolution à court et moyen terme des crues. Cependant, il semble que le niveau de la crue et des débordements, tant de la Benoue que du Logone, ne soient pas vraiment extraordinaires. En effet, une analyse très préliminaire de la pluviométrie à la station de Yagoua (source: SEMRY) permettrait de conclure que les précipitations enregistrées auraient une période de retour d'environ 50 ans. Ceci sera discuté avec plus de détaille au chapitre 3.4.3.

Sur la base des données disponibles (2000-2012), la moyenne annuelle des précipitations dans la région de Yagoua est de 748,5 mm (Tableau 2, Figure 3). La moyenne mensuelle au mois de juin est de 102 mm, en juillet 193 mm, en août 218 mm et en septembre 137 mm. Cependant, pendant l'année 2012, en cours, bien que la saison de pluies ne soit pas encore terminée, les précipitations ont déjà atteint un total de 1.097 mm, desquels 256 mm sont tombés en juin, 233 mm en juillet, 442 mm en août et 166 mm en septembre, dépassant largement les moyennes annuelles (juin 133%, juillet 107%, août 321% et septembre 680% ; Figure 4) et les moyennes cumulées respectives (129% en août et 147% en septembre; Figure 5). Il s'agit de l'évènement pluvieux (49 jours de pluie entre la mi-juin et la fin-septembre; Tableau 2) le plus intense et long au moins dans les 15 dernières années et peut être davantage (Tableau 3). Malheureusement, il n'y a pas des données disponibles sur le débit des mayo et du fleuve Logone pour raffiner l'analyse.

Tableau 2. Précipitations mensuelles dans la Station de Yagoua

Mois\Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Moyenne (2000 - 2011)
Javier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mars	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Avril	11.5	23.3	16.6	7.5	5.5	51.3	4.6	64.5	38.8	22.0	22.0	22.0	0.0	24.1
Mai	34.0	131.2	9.4	46.3	108.9	29.7	79.5	37.2	49.7	22.4	22.4	22.4	0.0	49.4
Juin	38.5	60.3	103.3	173.5	85.4	73.6	92.3	154.3	122.5	106.3	106.3	106.3	0.0	101.9
Juillet	252.2	229.4	116.9	195.7	125.5	189.6	147.2	232.6	104.9	239.6	239.6	239.5	255.9	192.7
Août	278.5	237.7	182.6	116.0	192.7	387.6	165.9	238.8	303.2	172.2	172.2	172.2	233.0	218.3
September	170.5	196.4	133.7	222.9	144.1	112.1	195.4	86.8	82.6	102.5	102.5	102.5	442.4	137.7
Octobre	13.0	7.7	21.3	32.6	38.2	28.9	4.2	0.0	10.7	45.4	45.4	45.4	165.8	24.4
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---	0.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---	0.0
Total	798.2	886.0	583.8	794.5	700.3	872.8	689.1	814.2	712.4	710.4	710.4	710.3	1097.1	748.5

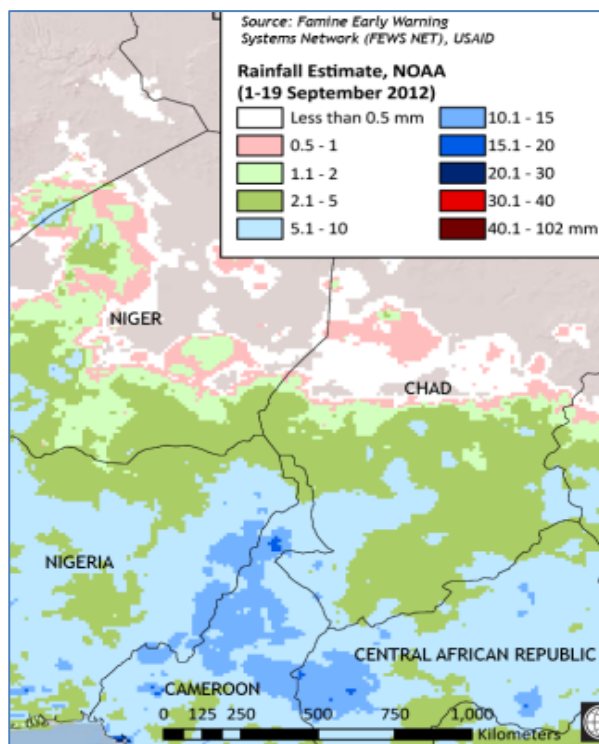


Figure 3. Précipitations dans le Sahel et l’Afrique Equatoriale pendant la première quinzaine de septembre, 2012 (source: GFDRR, FEW-NET, USAID).

### Précipitations mensuelles (mm) - Station de Yagoua (2000-2011)

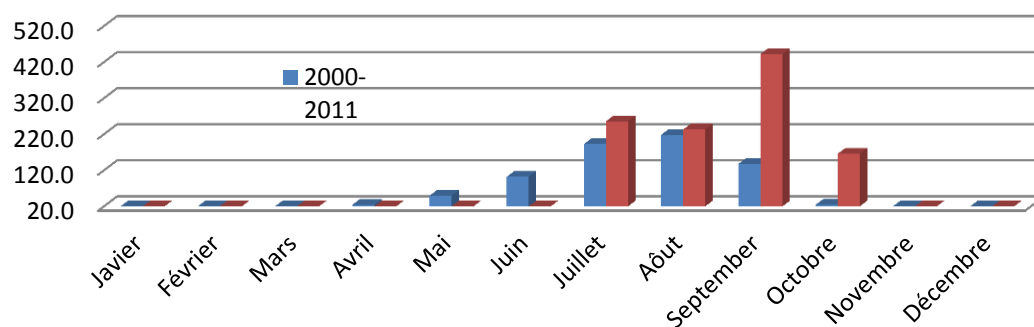


Figure 4. Graphique des précipitations mensuelles à la station Yagoua (2000-2011) comparées avec les précipitations respectives de 2012; source: SEMRY)

## Cumul des précipitations

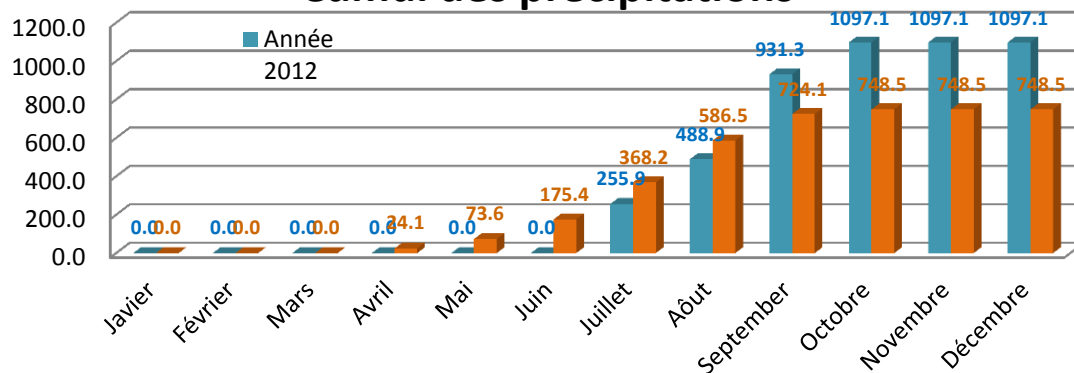


Figure 5. Comparation des précipitations mensuelles cumulées à la station Yagoua (2000-2011) comparées avec les cumuls des précipitations respectives de 2012; source: SEMRY)

Tableau 3. Registre des précipitations, année 2012, pour la Station de Yagoua.

Mois	Pluviométrie (mm)		Nbre de jour de pluie		Observation
	Mensuel	Cumul	Mensuel	Cumul	
Juin	255,9		9		
Juillet	233,0	488,9	14	23	
Août	442,4	931,3	16	39	
September	165,8	1097,1	10	49	A la date du 27/09/2012

Ajoutées aux pluies importantes dans le bassin versant, les niveaux des eaux dans le lac de Maga ont augmenté pour atteindre 70 cm au-dessus du niveau d'alarme (i.e. 4,2 m sur la base de l'évacuateur des crues). Environ 120.000 personnes ont ainsi été exposées en aval à la menace d'une éventuelle rupture du barrage de Maga. Comme mesure provisoire d'urgence, les autorités nationales et locales ont procédé au renforcement des digues avec des sacs de sable et des injections artisanales de ciment et les vannes des décharges de fond ont été ouvertes (6 sur 8; environ 64 m<sup>3</sup>/s) pour réduire la surcharge hydraulique, en attendant la finalisation de la saison des pluies en fin novembre.

## II - LE SYSTÈME MAGA-VRICK-LOGONE

### 2.1. Généralités

Selon les rapports des bureaux d'études Le Competing-Bet (2006) et ERE-Développement (2012), les ouvrages du système Maga-Vrick-Logone sont fortement exposés et soumis à l'action des ravinements, de l'érosion, du battillage et aux effets des houles, des renards, ainsi qu'aux actions conjuguées des habitants et leurs pratiques agricoles, du vent, de l'usure du temps et du manque d'entretien. Á ces difficultés s'ajoutent l'intempérie climatique, l'érosion, l'envasement et le rehaussement progressif du fond du lac, l'ensablement des chenaux d'alimentation et d'évacuation des eaux, etc. Les constats de la visite de terrain, réalisé du 27 au 30 septembre 2012 ont corroboré ces situations. Ces dégradations perturbent, à l'évidence, le fonctionnement intégral du système.

### 2.2 Le lac-réservoir de Maga

Le lac artificiel de Maga (10°48'9.41"N - 14°57'6.81"E) a été mis en fonctionnement en 1979 dans le cadre du projet rizicole SEMRY II et sert principalement à l'irrigation gravitaire des casiers rizicoles situés en aval. Il s'agit d'une retenue artificielle (Figure 6) avec une superficie maximale estimée d'environ 40.000 ha, sur la côte 312,50 m INC. Il est alimenté d'une part par les mayo Tsanaga et Boula, dont les bassins versants remontent jusqu'aux monts Mandaras à l'ouest, et d'autre part par le Mayo Gerléo et la prise de Djafga sur le fleuve Logone au sud-ouest. Le lac est limité au nord par le barrage en terre compactée de Maga, de 27 km de long, orienté Est-Ouest de Pouss à Guirvidig, qui s'appuie sur l'élévation 309,82 m INC, avec 5 m d'hauteur maximale (environ 314,50 m INC). La cote la plus basse du système se trouve au niveau de l'évacuateur de Vrick, à environ 308 m INC. Avec un tirant d'eau maximum d'environ 2,68 m et sans tenir compte des hétérogénéités ni de l'envasement du fond du lac, présumant une profondeur utile moyenne d'environ 1,50 m (autour de 311,30 m INC) il est possible d'estimer un volume moyen du réservoir de près de 620 millions de m<sup>3</sup> à plein bord. Cependant, étant donné le manque d'information topographique disponible cette analyse n'est que partielle.



Les cours d'eaux qui alimentent le lac, transportent des quantités importantes de sédiments et débris organiques qui se sont déposés à leur entrée au lac et dans les dépressions de la retenue. Il n'y a pas des données permettant une quantification de l'envasement, la réduction de la profondeur du réservoir et du volume d'emménagement d'eau, mais il est certain que la capacité du réservoir s'est réduite. La végétation relativement dense (dont les espèces restent à définir par des spécialistes en botanique et/ou agronomie) existant dans certains endroits sur le parement amont du barrage (Figure 6), indique la présence de sédiments à faible profondeur des eaux dans la zone de la queue du réservoir.



Figure 6. Réservoir de de Maga et périmètres rizicoles de la SEMRY (Image Google Earth, 2010)

### 2.3 La digue-barrage en terre compactée de Maga

Le barrage de Maga a été construit en 1979. Le barrage de rétention de Maga a eu une hauteur originelle d'environ 4 à 5 m (côte 314,50 m), une largeur en crête de 3,5 m et une longueur de 27 km. Il est formé de sable argileux et limoneux peu compressible et compactés en couches d'environ 15 cm d'épaisseur. Le Tableau 4 et la Figure 7 montrent les valeurs des paramètres géotechniques principaux des matériaux constitutifs du barrage de Maga et dans la Figure apparaissent les courbes granulométriques correspondantes (Le Competing-Bet, 2006). À présent, il se trouve dans un état avancé de dégradation à cause de l'entretien insuffisant. Certains défauts originels dans la conception et pendant la construction, jouent aussi un rôle dans la fragilité actuelle, comme par exemple l'utilisation des matériaux inadéquats (parfois par manque de sources proches) et des défauts du compactage.

Tableau 4: Caractéristiques géotechniques des sols compactés dans le barrage de Maga (source : Le Competing-Bet, 2006).

Echantillon Paramètres	Puits 2 à Pouss: 0,50 m	Puits 1 à Pouss: 0,50 m	10 Km de Pouss: 1 m
LL	0,56	0,35	0,4
LP	0,32	0,27	0,24
IP	0,24	0,08	0,16
$\Omega$	0,1	0,125	0,118
$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	1,908	1,848	1,885
$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	2,52	2,535	2,58
$\gamma_h$ (t/m <sup>3</sup> )	2,099	2,079	2,107
n (porosité)	0,243	0,271	0,269
C (compacité)	0,757	0,729	0,731
e (indice des vides)	0,321	0,372	0,369
Sr (degré de saturation en eau)	0,786	0,852	0,826
Ic (indice de consistance)	1,917	2,813	1,763
Ip (indice de plasticité)	-0,917	-1,813	-0,763

La réduction de la profondeur près du parement amont du barrage a été provoquée par l'érosion et glissement des sédiments vers le fond du lit, à l'action des vagues qui accentuent le batillage et aux rechargements de terre effectués par la SEMRY, aux fins d'engraisser le parement pour faire pousser un écran végétal et lutter contre l'action des vagues. Parmi les actions anthropiques évoquées, il faut noter le vandalisme à proximité du barrage, le passage des troupeaux et l'aménagement des zones d'embarcation conduisant à la dégradations des berges par les riverains, piroguiers, pêcheurs, commerçants et migrants. Ceci provoque l'érosion, l'empiétement et l'arrachement (e.g. recherche des vers de terre d'appât pour la pêche, etc.; Figures 8 et 9). Par ailleurs, la digue-barrage et particulièrement le talus à l'aval sont soumis à l'érosion éolienne, à l'action du ruissellement, ravinements et glissements provoqués par les eaux pluviales et les débordements, l'accumulation des tassements différentiels, la sape par des renards et l'invasion des colonies de fourmis-thermites (Figures 10a et 10b, 11 et 12). Tout ceci a aggravé la détérioration accumulé au fil des années. D'après les témoignages de la SEMRY, le barrage aurait perdu entre 0,5 et 1 m de hauteur sur presque toute sa longueur.

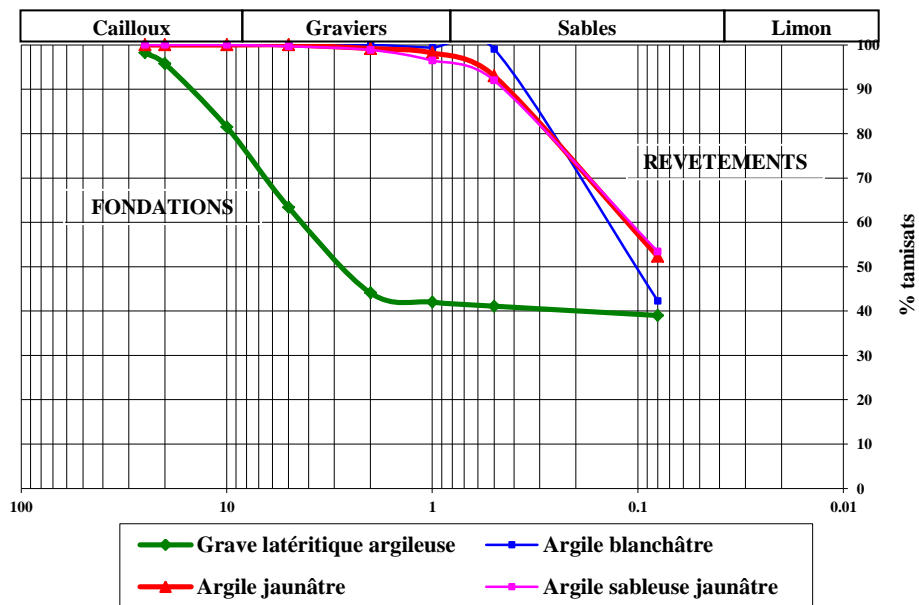


Figure 7. Courbes granulométriques des sols de la région de Maga, Extrême Nord du Cameroun





Figure 8. Végétation enracinée près des bords du barrage, sur des eaux peu profondes (28 septembre, 2012).



Figure 9. Arrachements pour la recherche de vers de terre (i.e. appât pour la pêche), érosion hydrique et réparations avec des sacs de sable près de la prise P1; Maga; 28 septembre 2012.



a)



b)

Figure 10. Dégradation du talus aval du barrage de Maga: a) glissements et b) ravinement par ruissellement pluvial.



Figure 11. Irrégularités dans la crête du barrage de Maga générées par des tassements différentiels dans le terrain de fondation.





Figure 12. Invasion de colonies de fourmis dans le talus à l'aval du barrage de Maga, près de Pouss; septembre 2012

Suite aux effets des pluies intenses de juin à septembre 2012, la surcharge des rivières sur le niveau du réservoir et le barrage de Maga, l'augmentation soudaine du niveau du lac et l'impossibilité d'ouvrir suffisamment les vannes de fonds des exutoires et des canaux d'irrigation, le barrage a failli être détruit par débordements, glissements, érosion du parement à l'aval (Figure 13) et par la formation de renards par infiltration de l'eau entre les couches de terre compactée (Figure 14). Dans le cas de ces dernières, leurs surfaces supérieures, lors de la construction du barrage, n'ont pas été suffisamment «irrégularisées» avant l'emplacement des couches successives supérieures, par exemple avec le passage d'un rouleau compresseur à «pates de chèvre», ce qui a laissé, dès le départ, des voies préférentielles d'écoulement.



Figure 13. Érosion, causée par des débordements, ayant failli détruire le barrage de Maga



Figure 14. Formation de renards et d'infiltrations entre les couches du corps principal du barrage de Maga ; septembre 2012

Cependant, les sacs mis en place par la SEMRY, les populations riveraines et l'armée (Figure 15) peuvent seulement prévenir les débordements sur une courte mesure. De même, les injections artisanales de mortier à ciment dans les renards (Figure 16) ne dureront pas longtemps, car elles seront lessivées et l'eau creusera d'autres renards, soit au tour soit près des bouchons. Les colonies de fourmis à proximité du barrage (Figure 12) doivent être contrôlées, car leurs trous et galeries pourraient, à terme, produire des voies préférentielles de circulation hydraulique et fragiliser davantage le barrage. Il est important de continuer à planter la végétation dans le talus à l'aval pour réduire le ravinement et l'érosion.



Figure 15. Réparations provisoires u barrage de Maga, avec des sacs de sable.



Figure 16. Injections artisanales de mortier à ciment dans une cavité de renard du barrage de Maga.

## 2.4 Les prises d'eau des canaux primaires d'irrigation

Le barrage de Maga compte quatre ouvrages de prise en béton armé (i.e. P1, P2, P3, P4) permettant de prélever l'eau pour l'alimentation du système d'irrigation du périmètre rizicole. La sortie de chaque prise est équipée de deux vannes automatiques AVIO-NEYRTEC à guillotine, à niveau aval constant, avec vannes de garde à l'amont. Les quatre prises d'eau desservent environ 6.400 ha distribuées en quatre casiers, par l'intermédiaire des canaux primaires, secondaires et tertiaires (Tableau 5; d'après Le Competing-Bet, 2006):

Tableau 5. Débits des prises d'alimentation des canaux primaires (Source: Le Competing-Bet).

Casiers	Superficie des casiers (ha)	Prises	Débit (l/s)
Casier de Maga-Ouest	2.200	P1	9.430
Casier de Maga-Est	2.400	P2	9.935
Casier de Pouss	950	P3	4.100
Casier de Guirdivig	850	P4	4.830

A l'aval des ouvrages de prises, par manque d'entretien, la plupart des canaux sont partiellement couverts par des sédiments et de la végétation (Figure 17), ceci réduit leur capacité d'écoulement hydraulique et peut générer des débordements en période de crue. Le canal du Vrick est aussi envasé et envahi de végétation, ce qui a provoqué des débordements latéraux en août et septembre 2012 (Figure 18). En outre, les échelles de lecture limnimétriques installées en amont et aval des ouvrages, dans le lac, les Yaérés avoisinants, ainsi que au Logone, sont pour la plupart inutilisables. Une telle situation ne permet pas de contrôler la montée ou le laminage des crues pour faciliter la gestion de la retenue de Maga. Les prises pour l'irrigation des rizières permettent aussi l'évacuation des eaux pendant les crues. Cet appel d'eau, couplé aux houles en période de hauts niveaux a provoqué la dégradation des remblais par l'effet conjugué des vitesses, vortex, batillages et turbulences. Dans les alentours des prises d'eau l'entretien est presque inexistant et il a fallu placer, à titre palliatif, des sacs de terre stabilisés pour les sécuriser contre l'érosion et les éboulements.



Figure 17. Canal primaire d'irrigation P4 couvert de végétation et de sédiments.





Figure 18. Débordements latéraux du chenal d'évacuation du mayo Vrick, près de Maga; 28 septembre 2012.

## 2.5 L'ouvrage d'évacuation sur le Mayo Vrick

L'ouvrage assure la vidange partielle de la retenue en cas de montée rapide et menaçante du niveau d'eau. Il est situé sur la digue-barrage au point PK 15+864, entre et Maga et Guirvidig. Cet ouvrage est constitué d'une batterie de dix dalots au niveau de la digue-barrage (Figures 19 et 20). Dix vannes à glissement (à guillotine) NEYRTEC 1400 x 1400 mm contrôlent le débit de l'ouvrage. Le bassin de dissipation d'énergie à l'aval de l'ouvrage se prolonge par un revêtement en enrochements du chenal d'évacuation, constitués de gros moellons et qui débouche dans le mayo Vrick, principal axe de drainage de l'aménagement.

Seulement 6 vannes ont pu être opérées en cette occasion pour réduire le niveau du réservoir. Les autres ne sont pas fonctionnelles à cause du manque d'entretien et du vandalisme. Les enrochements à l'aval des bassins de dissipation à l'aval, ont aussi fait l'objet de vandalisme et par conséquent, des symptômes de sape et d'érosion apparaissent un peu partout, même si les vannes opèrent seulement à environ 60% de la capacité totale de l'évacuateur. Les talus de berges situés à l'amont de la digue barrage, de part et d'autre de l'ouvrage de Vrick ont fait l'objet d'enrochements jointoyés au mortier de ciment sur un talus de faible pente, afin d'assurer leur protection contre l'érosion et le batillage.



Figure 19. Prise de l'évacuateur de Vrick; 28 septembre, 2012.



Figure 20. Exutoires des évacuateurs, Vrick; 28 septembre, 2012.

## 2.6. Déversoir de Logone-Pouss

Cet ouvrage a une longueur de 750 m. Il est situé à quelques centaines de mètres au sud de Pouss. Il met en communication la retenue de Maga et le Logone lorsque le plan d'eau de la première atteint la cote de calage du seuil de l'ouvrage ou vice-versa. Il est constitué par un mur en béton de 0,60 m de large enterré sur une profondeur de 2,50 m, avec une crête à la cote 312,19 m. Des talus en terre compactée étaient disposés de part et d'autre. Pour limiter les effets de l'érosion, des enrochements ont été mis en place à l'amont et à l'aval du seuil du déversoir. L'ouvrage est à présent submergé et a subi des dégâts dans les enrochements et la piste Pouss-Yagoua (Figure 21a, 21b et 21c).





a)



b)



c)

Figure 21. Déversoir de Vrick: a) et b) Endommagé par les crues de 2011 et précédentes (Source: ERE Développement, 2012) et c) Submergé à causes des crues de juin à septembre 2012 (Photo prise le 28 septembre, 2012).

## 2.7. La digue du Logone

La digue de protection, longue de 70 km, a été construite en 1979 afin de retenir les eaux de crue du Logone et permettre la pratique de la riziculture dans des zones anciennement inondées. Dans la partie concernée par le réservoir de Maga, la digue Logone a eu une hauteur originelle de 0,5 à 3 m, avec 2,5 m de largeur en crête et environ 29 km de longueur. Elle est composée de limons sableux et argileux peu compressibles, compactés en couches d'environ 20 à 25 cm d'épaisseur. Cette digue est pratiquement érodée par les eaux pluviales ou attaquée par endroits par le recul des berges du fleuve. Elle est très dégradée et par endroits même détruite. Pendant les pluies intenses de juin à septembre 2012, à cause de l'augmentation soudaine du niveau du Logone et de l'érosion, la digue a été débordée et a failli d'être complètement détruite (Figure 22).

Des dégâts importants avaient déjà été relevés par Ere-Développement (2012) et la carte de la Figure 23 présente la localisation des dégradations antérieures. La digue a perdu donc progressivement sa fonction d'ouvrage de protection. Sur la partie contiguë au déversoir de Pouss, elle a cédé aux points de passage des hippopotames et a disparu totalement sur plus ou moins un tiers de sa longueur. Sur la partie restante, d'après l'opinion des ingénieurs de la SEMRY, la digue aurait aussi perdu entre 0,3 et 0,75 m de sa hauteur originelle, sur presque toute sa longueur. À présent, elle a été réparée de manière provisoire par les autorités locales et les populations riveraines, avec des sacs de sable (Figures 22a et 22b). Il est clair que ces mesures ne sont que des palliatifs transitoires.



a)



b)



c)

Figure 22. Dégâts et réparations de campagne dans la digue de Logone: a) Débordements ayant failli détruire la digue de Logone, près de Yagoua; b) Infiltrations dans la digue de Logone, près de Yagoua; c) Brèche ouverte sur la digue de protection à Pouss en 2011 (Source: ERE Développement, 2012)

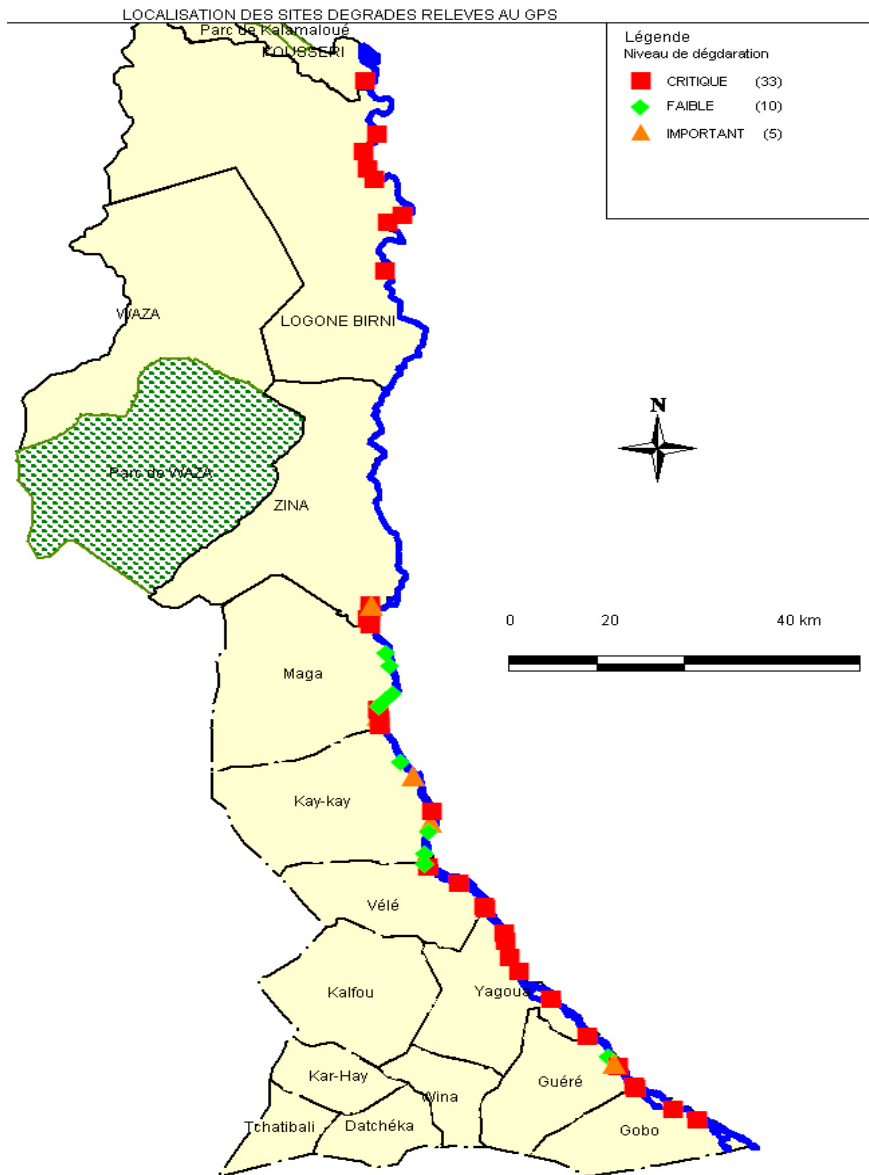


Figure 23. Localisation des dégradations les importantes relevées le long de la digue du fleuve Logone (Source: ERE Développement, parcours de l'itinéraire).

### III - MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

#### 3.1 Modèles et scénarios

Des simulations d'inondations ont été réalisées afin de visualiser la situation fictive de rupture potentielle soudaine du barrage de Maga. Ces analyses ne sont que préliminaire, compte tenu de la disponibilité limitée des données, et ont été réalisées seulement pour avoir une idée préliminaire des situations qui pourraient affecter la population, leur habitat et leur moyens de subsistance dans la région de Maga et à l'aval du barrage.

#### 3.2 Cartographie de base, modèle numérique terrain et l'utilisation actuelle des terres

Au Cameroun, l'information numérique géo-référencée disponible est rare dans la zone du lac de Maga. Il n'existe pas la cartographie au 1:50.000, seulement à l'échelle 1:200.000 mais elle n'est pas en format numérique. Or, pour faire une modélisation de la rupture du barrage, on aurait besoin des données précises du terrain, de préférence en format numérique ou bien en sections transversales. Pour tenter de combler cette lacune, nous avons eu recours à un modèle de la NASA, disponible sur le web, le "Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)" qui fournit à peu près 80% des données numériques d'élévation (DNE) du globe terrestre. Les données SRTM sont disponibles avec un pixel de 3 arcs-secondes (approx. 90 m de résolution). La zone d'intérêt est très plate, ce qui fait qu'il soit nécessaire de continuer à rechercher un meilleur modèle numérique de terrain (MNT). Cependant, en utilisant les images fournies par l'ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>), il est possible d'avoir un modèle d'élévation de 30 mètres. La Figure 24 représente le modèle d'élévation à proximité du barrage de MAGA. La Figure 25 représente les



pentés en pourcentage; comme l'on peut observer, les pentés faibles prédominent dans la région autour du réservoir et en aval du barrage de Maga et de la digue de Logone. Cela fait que les inondations puissent devenir extensives lors des événements de pluie intense, comme celui qui a eu lieu durant les mois de juillet à septembre, ou dans le cas d'une possible rupture du barrage. Le Tableau 6 représente les surfaces par classes de pente. On peut observer la prédominance des pentés de moins de 20 %. Notez que 94.6% de la zone présente des pentés de moins de 15%, et 98.7% a des pentés de moins de 20%.

Tableau 6. Classes de pente pour la zone montrée dans la Figure 25.

Classes de pente	Área (Km <sup>2</sup> )	Pourcentage
1- Platte, et réservoir	119.1	1.6
2- 0% α 2%	545.4	7.3
3- 2% α 5%	2093.9	28.2
4- 5% α 10%	3070.2	41.3
5- 10% α 15%	1207.2	16.2
6- 15% α 20%	303.2	4.1
7- Plus de 20%	95.5	1.3
<b>Total</b>	<b>7434.6</b>	<b>100.0</b>



Figure 24. Modèle numérique de terrain de la zone du réservoir de Maga.



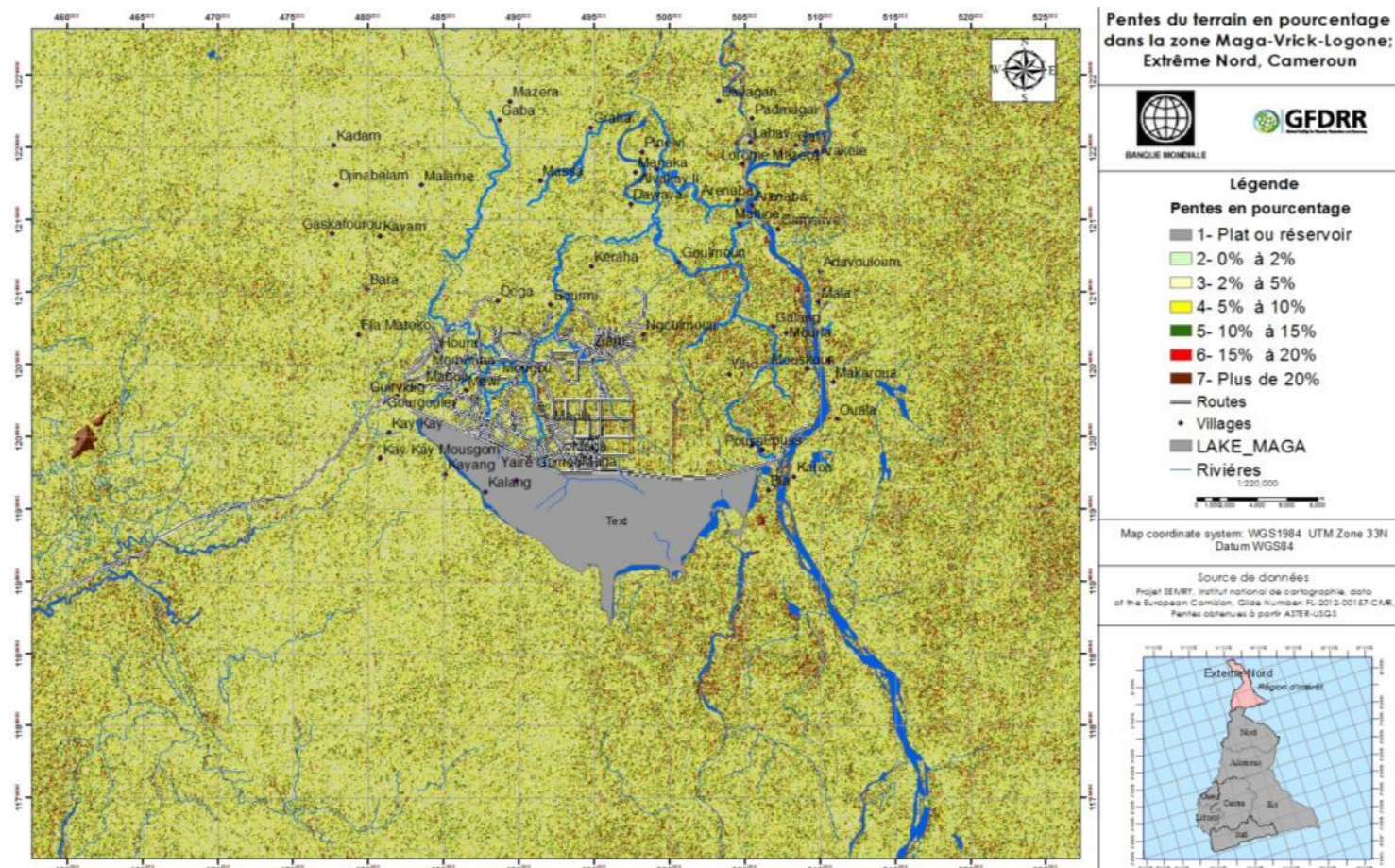


Figure 25. Pentes en pourcentage dans la zone du barrage de Maga.

Les registres cadastraux sont rares, il n'existe que des tables par départements-districts, mais qui ne sont pas associées à des limites géographiques précises et ne sont pas géo-référencées. Le Tableau 7 représente la population par département de la province du Nord. Etant donné qu'ils n'existent pas de registres de recensement, seule une estimation des familles affectées peut être faite. Le Tableau 8 montre les surfaces touchées par les inondations, au 29 septembre 2012. 41.2 % des habitants du district de Maga ont été affectés, qui, en 2010 et selon les données de recensement, comptait 85 100 personnes. En ce qui concerne l'utilisation actuelle des terres, l'on dispose seulement d'informations sur la zone ayant subi des inondations le 15 août 2012, provenant de la Commission Européenne et de la FAO-AVHRR du Land Cover Global Classification ([http:// glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/](http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/)). Ces renseignements sont regroupés dans une carte de couverture/utilisation des terres, représentée dans la Figure 26.

### 3.3 Information hydrométéorologique

On compte 8 stations pluviométriques, suivant l'Étude Digue Barrage de Maga - Rapport final (Le Competing-Bet, 2006). Le Tableau 9 présente les stations à pluviométrie annuelle moyenne et la pluie effective ou connue comme la quantité de pluie qui s'infiltré et se rattache directement au ruissellement. Le Tableau 2 présente les précipitations mensuelles dans la Station de Yagoua, pour la période 2000-2011. On observe dans la Figure 27 la variation moyenne mensuelle des précipitations, la Figure 28 montre la précipitation moyenne annuelle (isohyète) dans la zone du réservoir de MAGA et la Figure 29 présente la variation spatiale de la pluie efficace. Les données correspondant à l'année 2012 pour la Station de Yagoua, sont représentées dans le Tableau 3. Par ailleurs, il n'existe aucune échelle limnigraphique fonctionnelle dans les rivières et mayos de cette partie du bassin versant, permettant d'estimer leurs débits et décharges. Les déversoirs aussi sont dépourvus de ce genre d'équipement, comme par exemple ceux du Logone à Pouss, à l'embranchement au réservoir à Djafga. Un seul limnigraphe a été noté au déversoir du Mayo Vrick. De même, il n'existe pas de courbe hauteur-volume du réservoir de Maga et il n'y a aucune série chronologique ou registres de pluie historique et encore moins de débits des cours d'eau.

Tableau 7. Population dans la province de l'Extrême-Nord par département-district

Répartition de la population résident dans la province de l'Extrême - Nord par				
Circonscription administrative	Population totale	Masculin	Féminin	Rapport de Masculinité/Féminin(%)
<b>Province de l'Extrême-Nord</b>				
<b>Département du Diamaré</b>	<b>642227</b>	<b>320550</b>	<b>321677</b>	<b>99,65</b>
Bogo	95230	48687	46543	104,61
Gazawa	27395	13255	14140	93,74
Maroua	330410	165782	164628	100,70
Dargala	33142	16417	16725	98,16
Ndoukoula	32091	15393	16698	92,18
Meri	86834	42337	44497	95,15
Pette	37125	18679	18446	101,26
<b>Département du Logone et Chari</b>	<b>486997</b>	<b>251349</b>	<b>235648</b>	<b>106,66</b>
Blangoua	50398	27369	23029	118,85
Darak	23901	12535	11366	110,29
Fotokol	36893	19361	17532	110,43
Golfey	58117	29851	28266	105,61
Hile-Alifa	18425	9524	8901	107,00
Kousseri	101246	53581	47665	112,41
Logone Birni	52589	25974	26615	97,59
Zina	25572	12381	13191	93,86
Makary	104843	53327	51516	103,52
Waza	15013	7446	7567	98,40
<b>Département du Mayo Danay</b>	<b>529061</b>	<b>253676</b>	<b>275385</b>	<b>92,12</b>
Datcheka	31545	14898	16647	89,49
Gobo	53119	25030	28089	89,11
Guere	38328	17909	20419	87,71
Kai-Kai	55366	26479	28887	91,66
Kalfou	26203	12685	13518	93,84
Karhay	42963	20482	22481	91,11
Maga	85100	41371	43729	94,61
T chatibali	32063	15368	16695	92,05
Vele	41693	19715	21978	89,70
Wina	30702	14498	16204	89,47
Yagoua	91979	45241	46738	96,80
<b>Département du Mayo Kani</b>	<b>404646</b>	<b>196731</b>	<b>207915</b>	<b>94,62</b>
Guidiguis	43632	21169	22463	94,24
Kaele	105504	51267	54237	94,52
Mindif	50530	25469	25061	101,63
Moulvoudaye	82368	40468	41900	96,58
Moutourwa	40197	20068	20129	99,70
Porhi	38809	18187	20622	88,19
Taibong	43606	20103	23503	85,53
<b>D'épartement du Mayo Tsanaga</b>	<b>699971</b>	<b>341936</b>	<b>358035</b>	<b>95,50</b>
Bourrha	88585	44742	43843	102,05
Hina	43755	20756	22999	90,25
Koza	81076	40756	40320	101,08
Mayo Moskota	73716	36067	37649	95,80
Mogode	112905	54892	58013	94,62
Mokolo	242274	117009	125265	93,41
Saulede Roua	57660	27714	29946	92,55

Source: Livre "Rapport de Présentation, 2010 - Bureau Central des Recensements et des Etudes

Tableau 8. Populations affectées par les inondations dans la région de Maga

Resultats au 29-09-2012 de la campagne de saison des pluies		
Nombre	Affecté	Superfies ou des personnes
1	Superficies prévues	4335 Ha
2	Superficies cultivées	2500 Ha
3	Superficies cultivées noyées	1000 Ha
4	Superficies qui subissent une submersion mo	1500 Ha
5	Nombre de familles concernées par le sinistre des champs cultivés noyés	5000 familles (soit 35 000 personnes)

Source: Projet SEMRY, 2012

Tableau 9. Stations existantes dans la zone de la province du Nord et l'Extrême-Nord

NUMÉRO DE LA ESTACIÓN	NOM DE LA STATION	RÉGION	LATD	LATM	LOND	LONM	LAT	LONG	ELEV	ANNES_OBSE	PRÉCIPITATIONS MOYENNES (mm)	PLUIE EFFICACE (mm)
1	Maroua Salak	Extrême Nord	10	27	14	15	10,45000000	14,25000000	423	25	872	167
2	Kaélé	Extrême Nord	10	5	14	27	10,08333333	14,45000000	387	25	812	144
3	Pouss	Extrême Nord	10	51	15	3	10,85000000	15,05000000	312	15	762	152
4	Maroua (Agro)	Extrême Nord	10	36	14	20	10,60000000	14,33333333	390	28	804	147
5	Yagoua	Extrême Nord	10	21	15	17	10,35000000	15,28333333	330	26	838	163
6	Mada	Extrême Nord	10	55	14	8	10,91666667	14,13333333	480	21	919	225
7	Guétale	Extrême Nord	10	53	13	54	10,88333333	13,90000000	490	23	824	162
8	Doukoula (M.C.)	Extrême Nord	10	7	14	58	10,11666667	14,96666667	340	19	862	170

Maga - Rapport Final, LEI/COMPETING-BET, 2006.



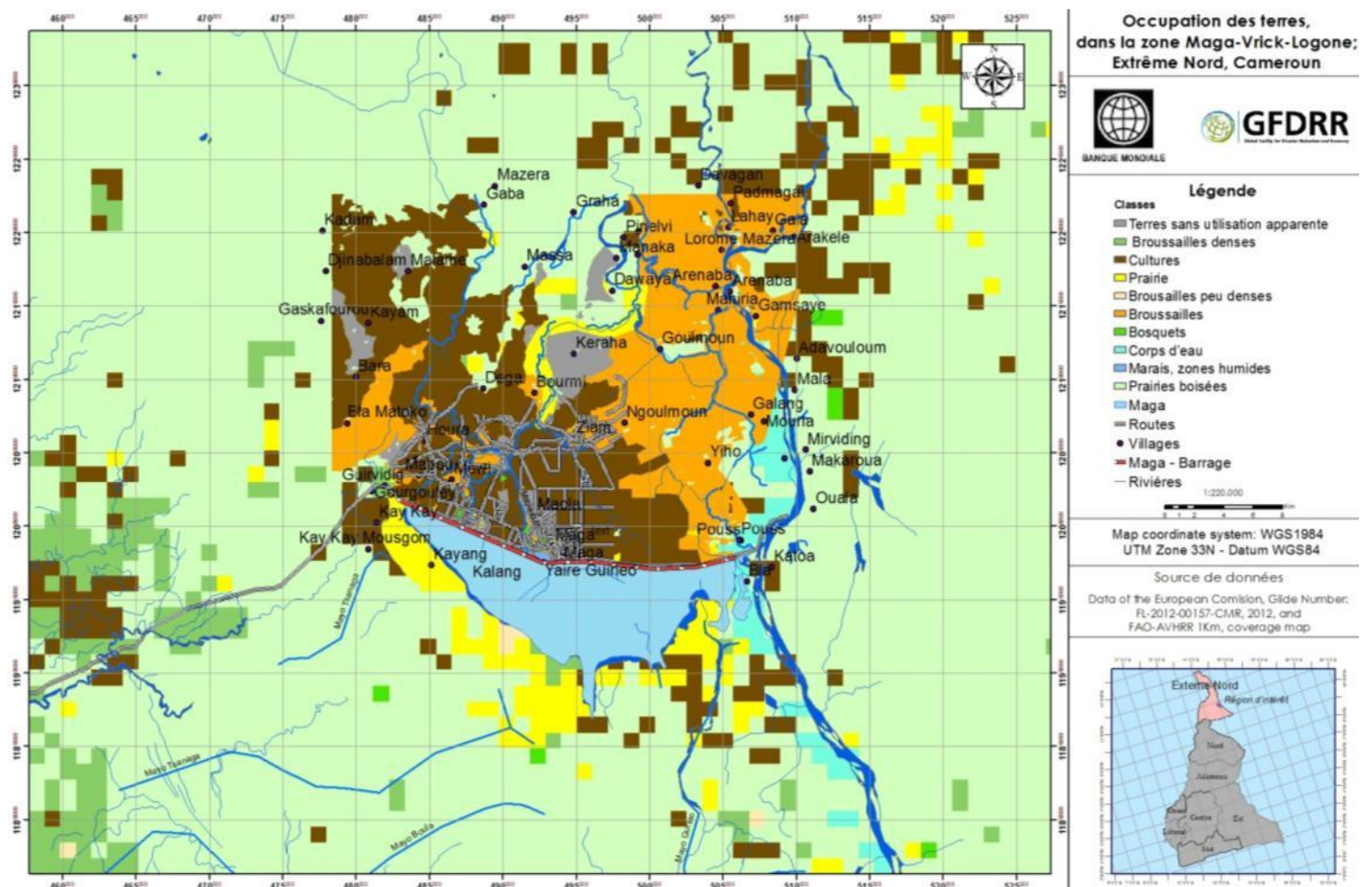
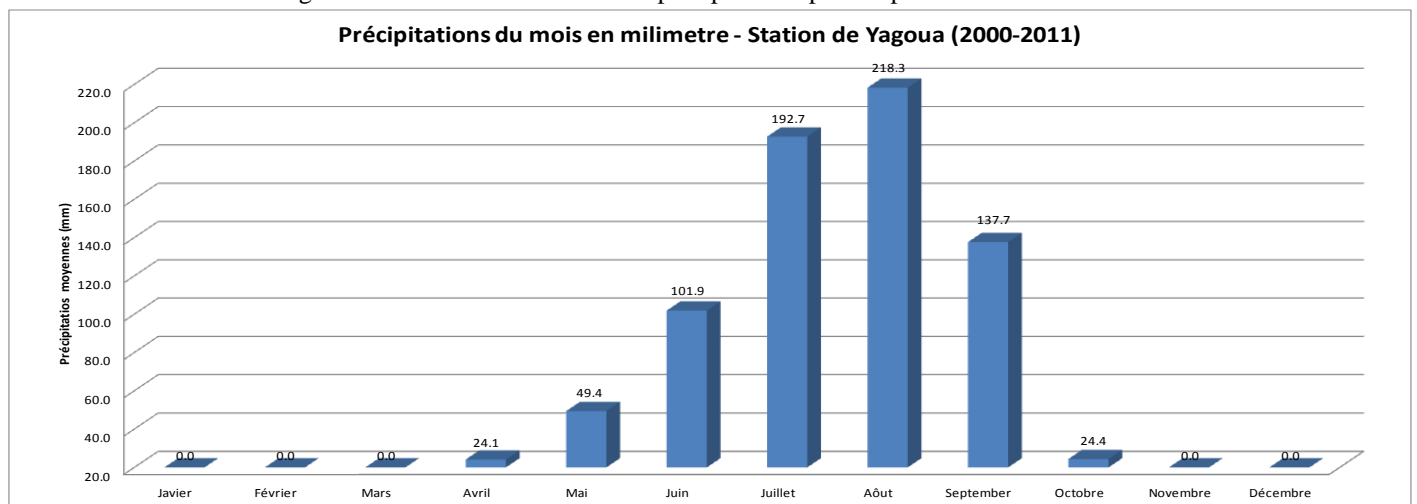


Figure 26. Carte préliminaire de la couverture et de l'utilisation des terres dans la région de maga, à l'aval du barrage du même nom ; région de l'Extrême Nord, Cameroun

Figure 27. Variation mensuelle des précipitations pour la période 2000 - 2011



Entre juin et septembre 2012 il a été enregistré 1.097,1 mm de pluie en 49 jours, ce qui représente 146.6% de la moyenne pluviométrique et 114.1% par rapport au maximum enregistré en août 2005. La Figure 28 montre la carte interpolée de la zone correspondant à la moyenne annuelle de pluie et autour du réservoir de Maga. La Figure 29 représente également la précipitation effective, en référence au Tableau #2.



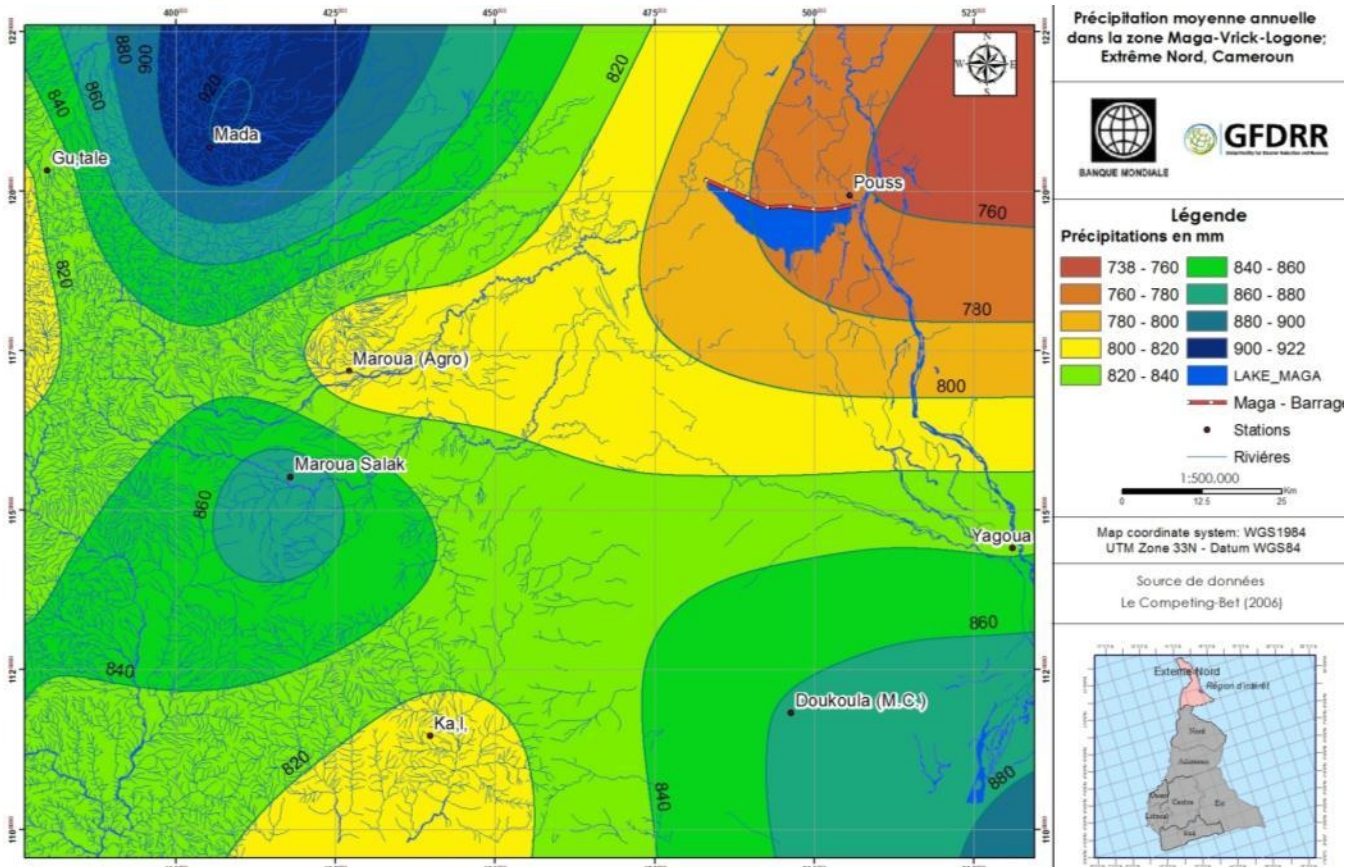


Figure 28 Précipitation moyenne annuelle dans la zone du réservoir de MAGA

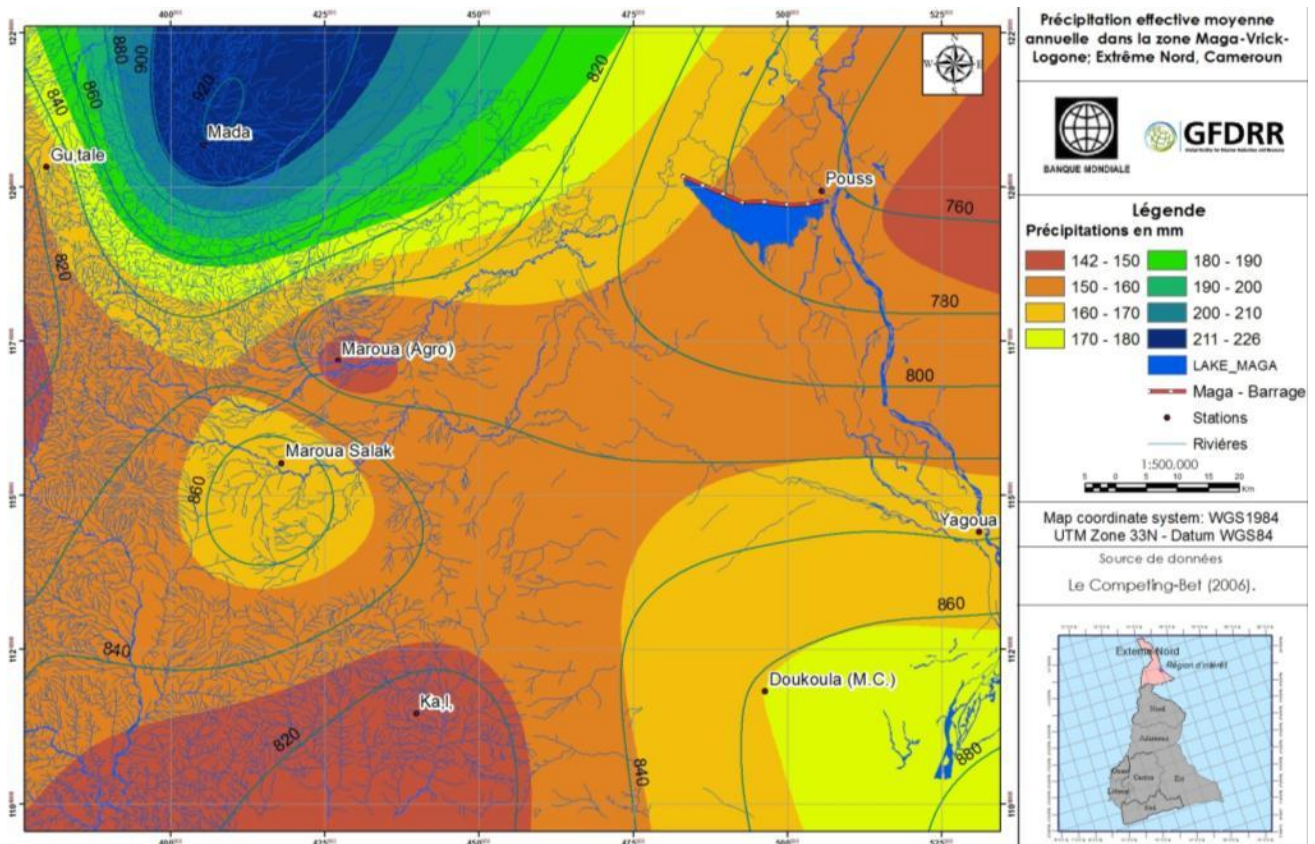


Figure 29. Précipitation effective moyenne annuelle dans la zone du réservoir de MAGA

### 3.4 Modélisation d'une rupture hypothétique du barrage de Maga

#### 3.4.1 Information minimale nécessaire pour modéliser la rupture d'un barrage

L'information minimale nécessaire pour analyser les inondations par effondrement d'un barrage quelconque serait:

- Relevé quotidien des stations pluviométriques: Intensité des pluies dans la région environnante, par différentes périodes de retour. Cela devrait exister dans tout le domaine de l'apport du bassin versant. Nous avons eu accès qu'à des données partielles et limitées dans le temps et dans l'espace.
- Hydrogramme de la crue maximale probable, associé à des différentes périodes de retour, pour chacun des nombreux bassins du réservoir de Maga. Ici, nous avons eu accès à une formule théorique apparaissant dans le Volume III, de l'Etude Digue Barrage de Maga - Rapport Final, Le Competing-Bet (2006). Malheureusement, le rapport ne présente pas les données basiques à partir desquelles la formule a été développée.
- Sections transversales topographiques des lits majeurs et mineurs en aval du barrage. Cela a été remplacé par le modèle numérique de terrain de 30 mètres. Il n'a pas été possible d'effectuer de corrections hydrologiques en raison du manque de temps.
- Carte de couverture ou de l'occupation et d'utilisation des terres en aval du barrage

#### 3.4.2 Description du modèle de rupture du barrage

Le programme FloodArea© (Geomer, 2002) est une application qui fonctionne comme une extension du SIG ArcGis, de façon à ce que tant les calculs (fondés sur Spatial Analyst) comme le déploiement graphique, soient exécutés sous cette plate-forme. Ses facteurs de production basique sont un modèle d'élévation numérique (MNT) de la zone d'étude corrigé hydrologiquement, une carte de résistance au flux («*n*» de Manning) et un groupe d'hydrogrammes spécialement distribués pour un évènement particulier, ainsi que l'intensité de l'orage associé à l'évènement extrême. Dans la Figure 30, on observe le schéma de base sur lequel travaille FloodArea©, en attirant l'attention sur la nécessité d'un procédé hydrologique préalable et indépendant du modèle, afin de pouvoir ensuite l'exécuter pour obtenir des résultats avec toutes ses implications hydrauliques. Avec ce modèle il est possible de définir non seulement l'aire exposée à être inondé, mais aussi les niveaux d'eau de tout point, et à des moments différents. Une telle information fournit une donnée basique très importante pour la détermination de la menace potentielle d'inondation, et également l'exposition des éléments et enjeux. On peut éventuellement estimer, par la suite, la vulnérabilité socioéconomique et structurelle respective.

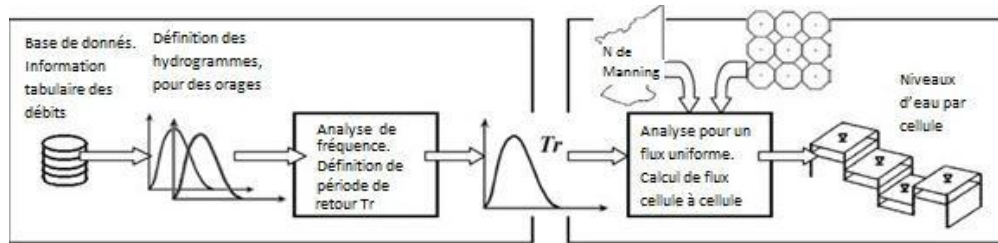


Figure 30. Composants de l'analyse hydrologique - hydraulique de la plaine d'inondation

Le calcul des zones inondées réalisé par ce modèle se base sur des méthodes hydrodynamiques. Conformément à l'analyse des cellules (cartes "raster" ou "grid"), on réalise le calcul d'un volume d'eau qui se déplace le long d'une période (avec des pas successifs) vers les huit cellules ou pixels voisins de celui qui est analysé, et l'on obtient ainsi le volume de décharge selon la formule de Strickler-Manning:

$$Q = A V = A K R^{2/3} S^{1/2} ; \text{ d'où:}$$

V: vitesse moyenne du courant en m/s

Q: débit en m<sup>3</sup>/s

A: la zone de sa section en m<sup>2</sup> (variant selon le calage)

R: Rayon hydraulique;  $R=A/p$  (en m; varie selon le calage)

p: Périmètre mouillé (en m; varie selon le calage)

S: Pente de la ligne d'énergie, en supposant un régime uniforme; elle est égale à la pente longitudinale (adimensionnel)

K: Coefficient de rugosité de Manning-Strickler (adimensionnel)

Sur l'équation précédente, la pente S est définie comme la différence entre le plus bas niveau des eaux et la plus grande élévation de terrain rencontrés dans la cellule et dans chacune de ses voisines. La distance de parcours du flux entre les



cellules est considérée comme égale à  $R$  (largeur du pixel) pour les cellules latérales et  $2\sqrt{R}$  pour les diagonales, comme le montre la Figure 31.

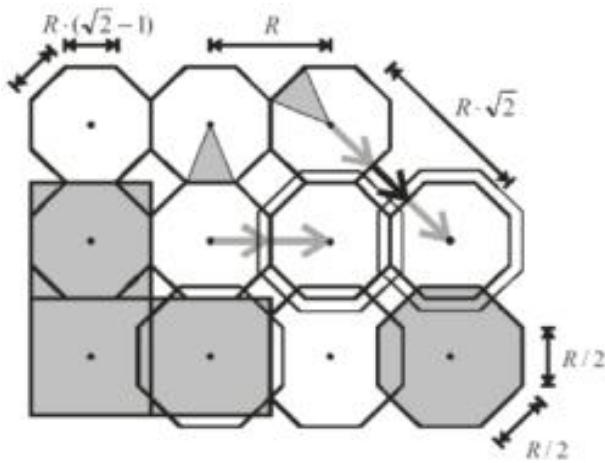


Figure 31. Modèle de cellules utilisé pour le calcul du volume de décharge.

À la fin de chaque itération, le programme remet, vers les cellules correspondantes, les volumes de décharge calculés, de façon à ce qu'il n'existe pas de perte de volume d'eau. Comme il a été indiqué, il y a deux manières de mettre de l'eau dans le modèle d'élévation. Si on utilise l'option Élévation de l'eau (ce qui est connue comme la méthode de l'image du réseau de drainage), l'algorithme fait que le niveau de l'eau dans les cellules du lit reprenne sa valeur initiale après chaque itération. Ceci implique que le niveau de l'eau se maintient constant sur le lit jusqu'à ce que le temps de simulation se termine sur un équilibre entre le niveau d'inondation de toute la surface et le niveau original du lit. Avec l'option Hydrogramme (comme celle utilisée dans le cas de Maga pour des raisons pratiques dérivées du manque de données fiables), l'eau qui alimente le modèle atteint un niveau maximum défini par l'hydrogramme extrême choisit. On peut définir optionnellement des points d'entrée et sortie de l'eau et, en fonction de ceux-ci et de ses hydrogrammes de sortie, définir la quantité d'eau écoulée durant la simulation. Cependant, à partir des bords, le modèle assume une pente continue sur la surface de l'eau. Suite à cela, l'eau du modèle coule conformément aux volumes de décharge calculés. Un amoncellement d'eau ne peut pas se produire sur les bords.

Il faut tenir compte qu'il s'agit d'un modèle hydraulique bidimensionnel simplifié, intégré dans un système d'information géographique. Les simplifications réalisées affectent principalement l'hydraulique des canaux ouverts, laquelle peut être décrite de manière très générale avec les facteurs de production disponibles pour le processus. La précision est limitée à la résolution offerte par le modèle d'élévation dans le lit, épurée de quelques sections transversales particulières, mais pas pour toute la rivière. Une autre limite est le fait que les algorithmes ne prennent pas en compte le transfert des impulsions, ce qui fait que certains phénomènes comme le dénivellement de l'eau dans les méandres de la rivière ne sont pas décrits correctement.

### 3.4.3 Sélection de l'évènement utilisé dans la simulation

Par rapport aux entrées d'eau dans le réservoir de MAGA, le schéma de la Figure 32 résume les bassins versant dont les rivières apportent de l'eau: Mayo Tsanaga, Mayo Boula et Mayo Guerléo (Tableau 10). Cependant, bien que l'application des formules et les calculs soient considérés comme corrects, le calcul des aires doit être remis en cause, à moins que Le Competing-Bet (2006) ne possède une meilleure information qui n'est pas incluse dans le rapport. La Figure 32 montre les bassins hydrographiques apparaissant dans la base de données de l'USGS (African HYDRO1km), on observe ici que les bassins appartient aux mayos Tsanaga, Boula et Guerléo, avec une surface estimée à  $3.363,5 \text{ km}^2$ , correspondent au 50% du bassin total ( $6.698 \text{ km}^2$  de l'USGS; Figure 11). Il semblerait donc que ce calcul ne serait qu'approximatif. Par ailleurs, la rugosité du terrain a été estimée en utilisant la carte de couverture et d'utilisation de la terre, au moyen de l'assignation des valeurs du facteur "Manning" montrées dans le Tableau 11 et dans la carte de la Figure 34.

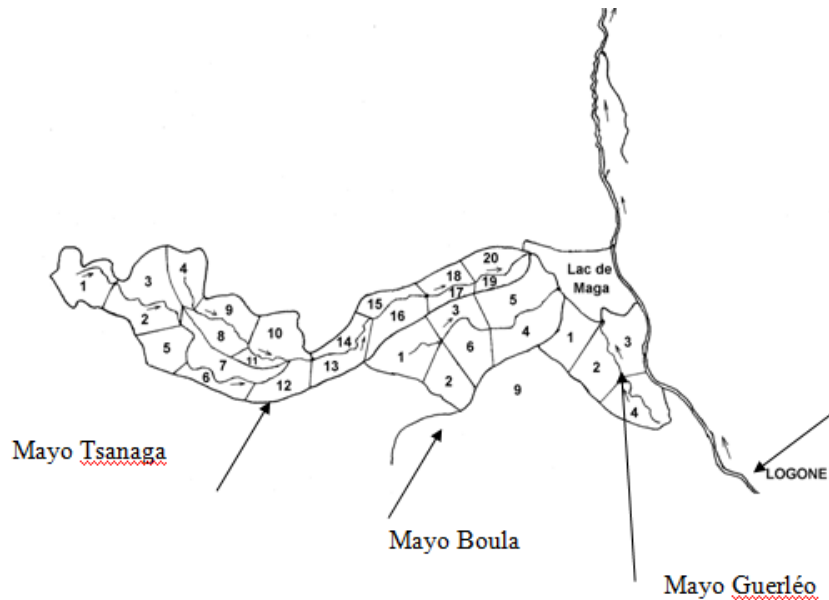


Figure 32. Schéma du système fluvial du lac Maga et les bassins et sous-bassins versant correspondants.

Tableau 10. Débits estimés pour différentes périodes de retour (Source: Le Competing-Bet; 2006).

Rivières ou Bassins Versants	Superficie totale du bassin versant en km <sup>2</sup>	Débits principaux retenus par les rivières m <sup>3</sup> /s	T= 10 années (m <sup>3</sup> /s)	T=100 ans, quel que soit le coefficient d'équilibre (m <sup>3</sup> /s)	T= 100 ans, en prenant compte le coefficient d'équilibre de 0,62 m <sup>3</sup> / s
Mayo Tsanaga	1792.7	216	951	1,626	1008
Mayo Boula	890.2	35	121	200	124
Mayo Guerléo	670.6	56	192	316	196
Total	3353.5	307	1263	2142	1328

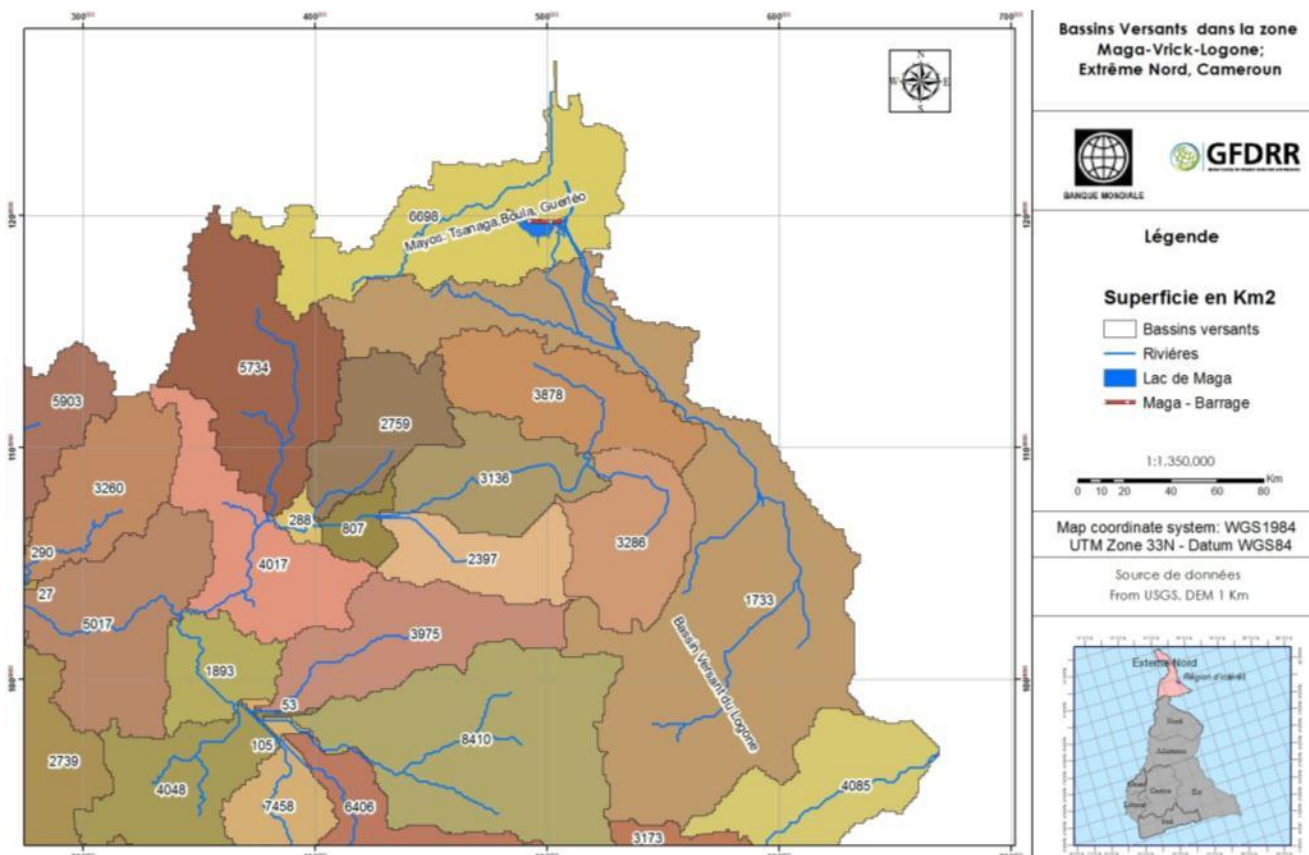


Figure 33. Sous-bassins dans la région septentrionale de l'Extrême Nord (Source: USGS, Afrique Hydro 1km).

Tableau 11. Assignment du facteur de Manning par type d'occupation des terres

Nombre	Occupation	Facteur de Mannig	Facteur de Strickler
1	Terres sans utilisation apparei	0.04	25.0
2	Broussailles denses	0.41	2.4
3	Cultures	0.06	16.7
4	Prairie	0.15	6.7
5	Broussailles peu denses	0.30	3.3
6	Broussailles	0.41	2.4
7	Bosquets	0.80	1.3
8	Corps d'eau	0.00	0.0
9	Marais, zones humides	0.04	25.0
10	Prairies boisées	0.17	5.9

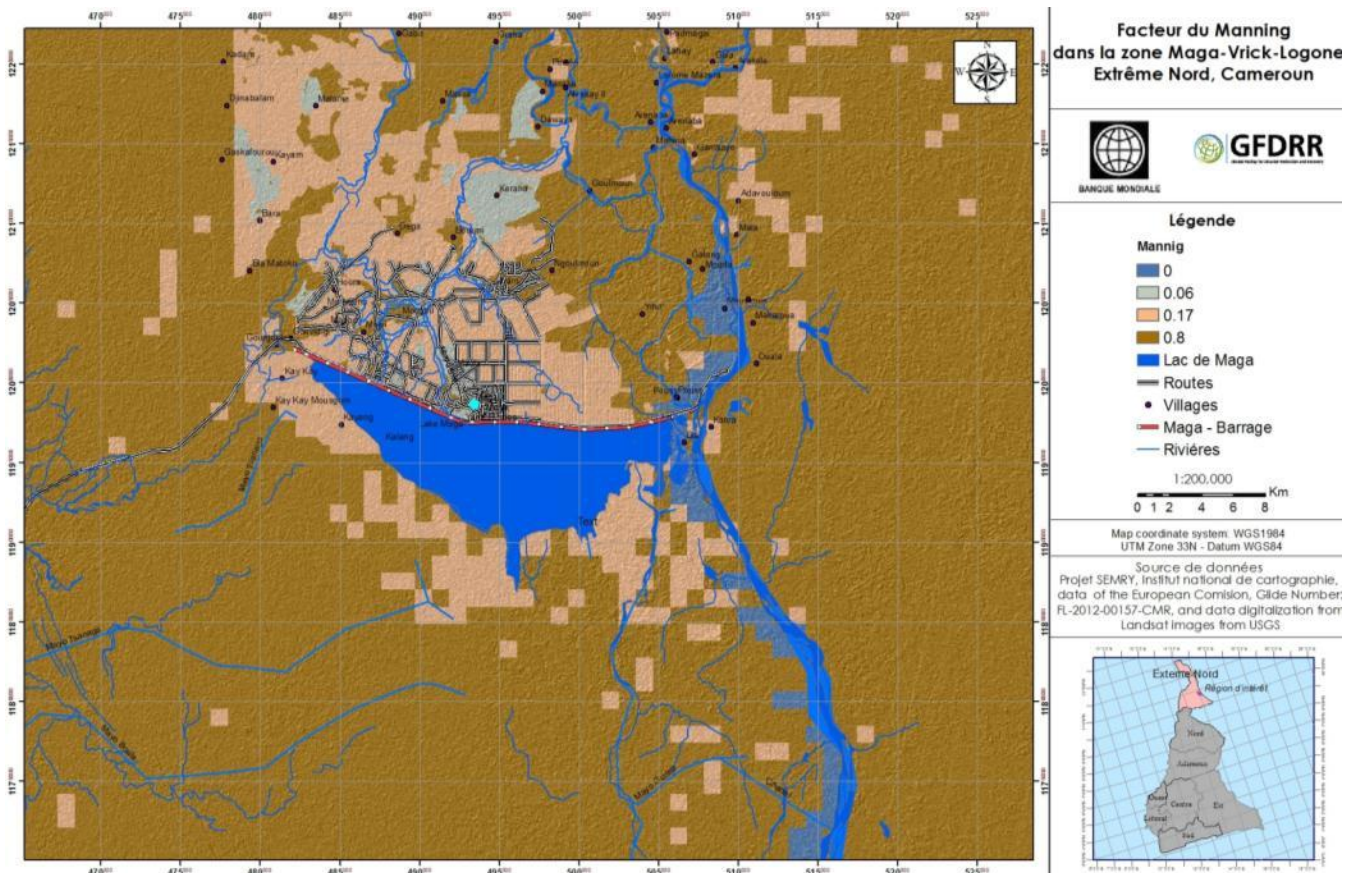


Figure 34. Estimation de la distribution spatiale du facteur de Manning autour du réservoir de Maga.

Par ailleurs, bien que l'OMM rapporte (Tableau 12) des évènements extrêmes au Cameroun, il n'y a pas assez d'information pour bien caractériser les types d'orages respectifs. Cependant, en se basant sur des suppositions et en utilisant la formule de l'étude de Le Competing-Bet (2006), un calcul préliminaire indique que l'évènement enregistré entre juillet et septembre 2012 correspond approximativement à une période de retour d'environ 50 ans (Tableau 13). Étant donné que l'on ne dispose pas des données météorologiques sur les orages, on a décidé d'utiliser un hydrogramme synthétique pour un évènement un peu plus grand que celui-ci. La Figure 35 présente la définition d'un orage le plus rapproché de celui de juillet-septembre 2012, s'étalant sur 60 jours.

Tableau 12. Evènements extrêmes reportés au Cameroun (Source: OMM, et Le Competing-Bet, 2006)

Récurrance	Annuelle	Décennale	Centennale
Fréquence	0.5	0.1	0.01
N'Djamena	60.5	80	110
Maroua-Salak	71.8	95	130
Bongor Préfecture	74.5	103	142



Tableau 13. Calcul approximatif de la période de retour correspondante à l'événement de l'année 2012 (Basé sur données OMM, et Le Competing-Bet, 2006).

PPT (mm)	Jour	mm/jour	
255.90	9.00	28.43	
233.00	14.00	16.64	
442.40	16.00	27.65	
165.80	10.00	16.58	
1097.10	49.00	60.87	
<b>Approxx.</b>		2.54	mm/hr
$I_{Max}(t, T = 50ans) = 1864,80t^{-0,794}$		124.28	mm/hr
1864.80	30.00	125.26	mm/hr

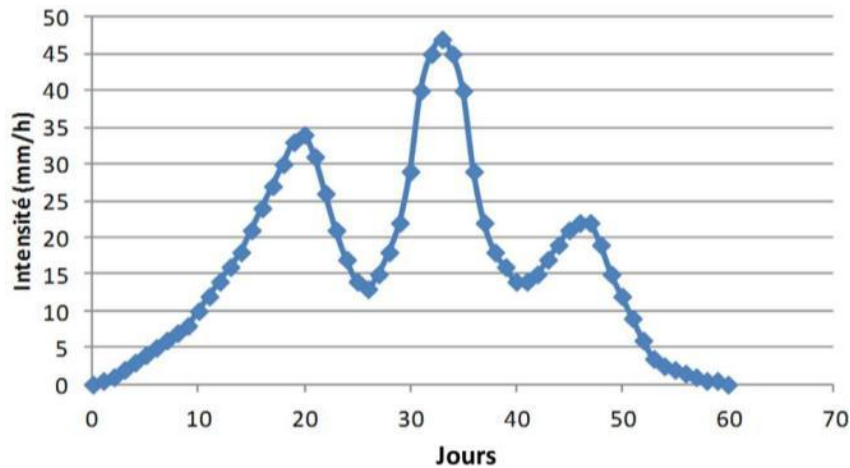


Figure 35. Hydrogramme synthétique utilisé pour la modélisation de la rupture du barrage de Maga.

Les résultats de la modélisation de la rupture on a tenu compte des suppositions suivantes: i) Rupture ou faille totale de l'évacuateur de Vrick; ii) Vidange soudaine du réservoir de Maga; ii) L'hydrogramme ne tient pas compte l'apport des pluies dans le réservoir ni dans le reste du bassin versant. L'approche d'un événement de rupture totale, suivant un événement moyen (i.e. réservoir à moitié vide), est représentée dans la Figure 35. Une rupture totale du barrage suivant un événement exceptionnel (réservoir plein), est représenté dans la Figure 36. Le modèle a permis aussi de faire une estimation de la profondeur de l'eau sur le terrain (Figure 37). Finalement, dans la Figure 38 apparaît un scénario qui superpose le scénario de rupture totale, dans le cas extrême (réservoir plein) et les inondations de juillet-septembre 2012, relevées par la Commission Européenne.

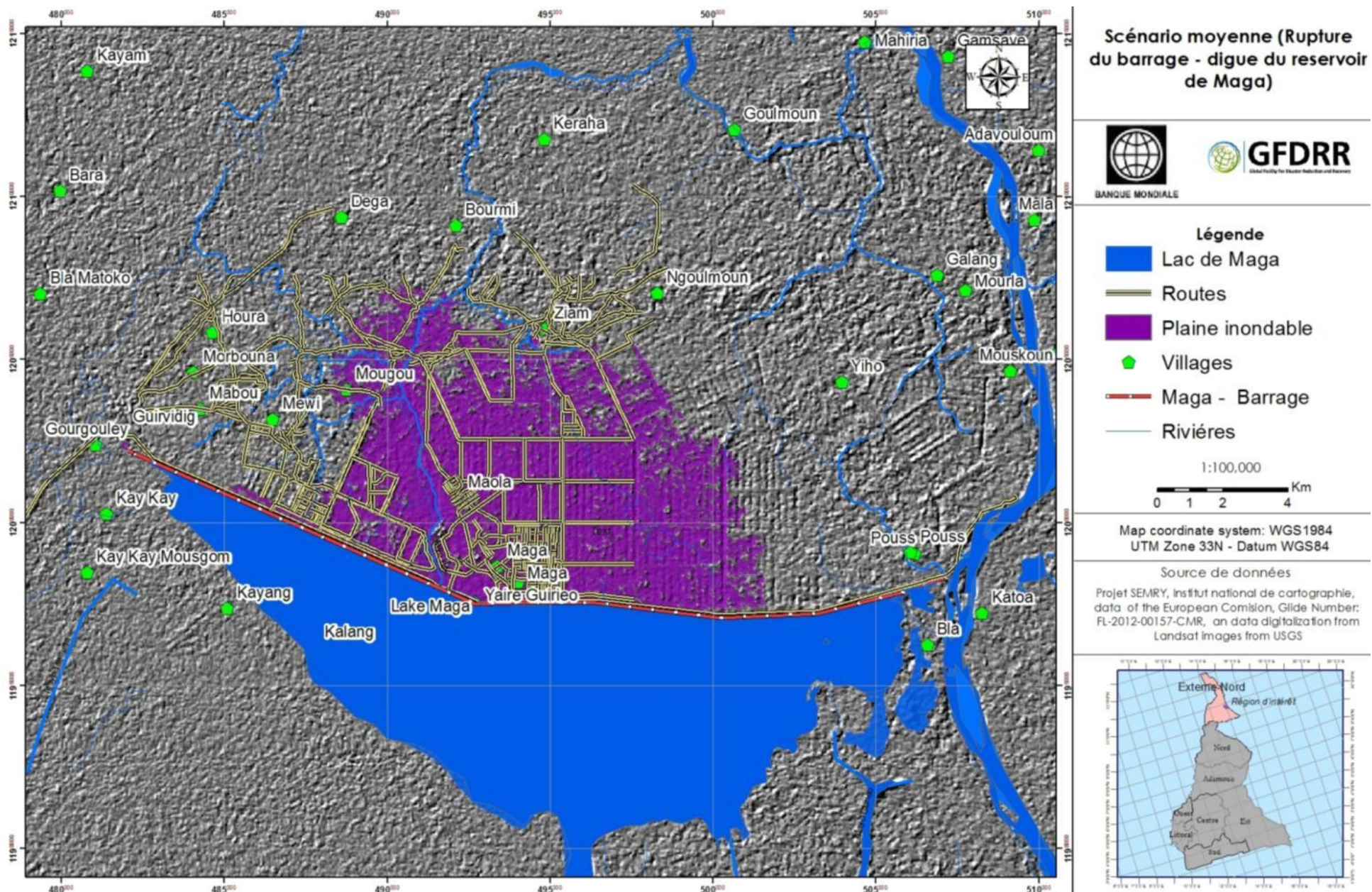


Figure 35. Scénario hypothétique de rupture totale et soudaine; cas d'un événement avec le réservoir à moitié vide.



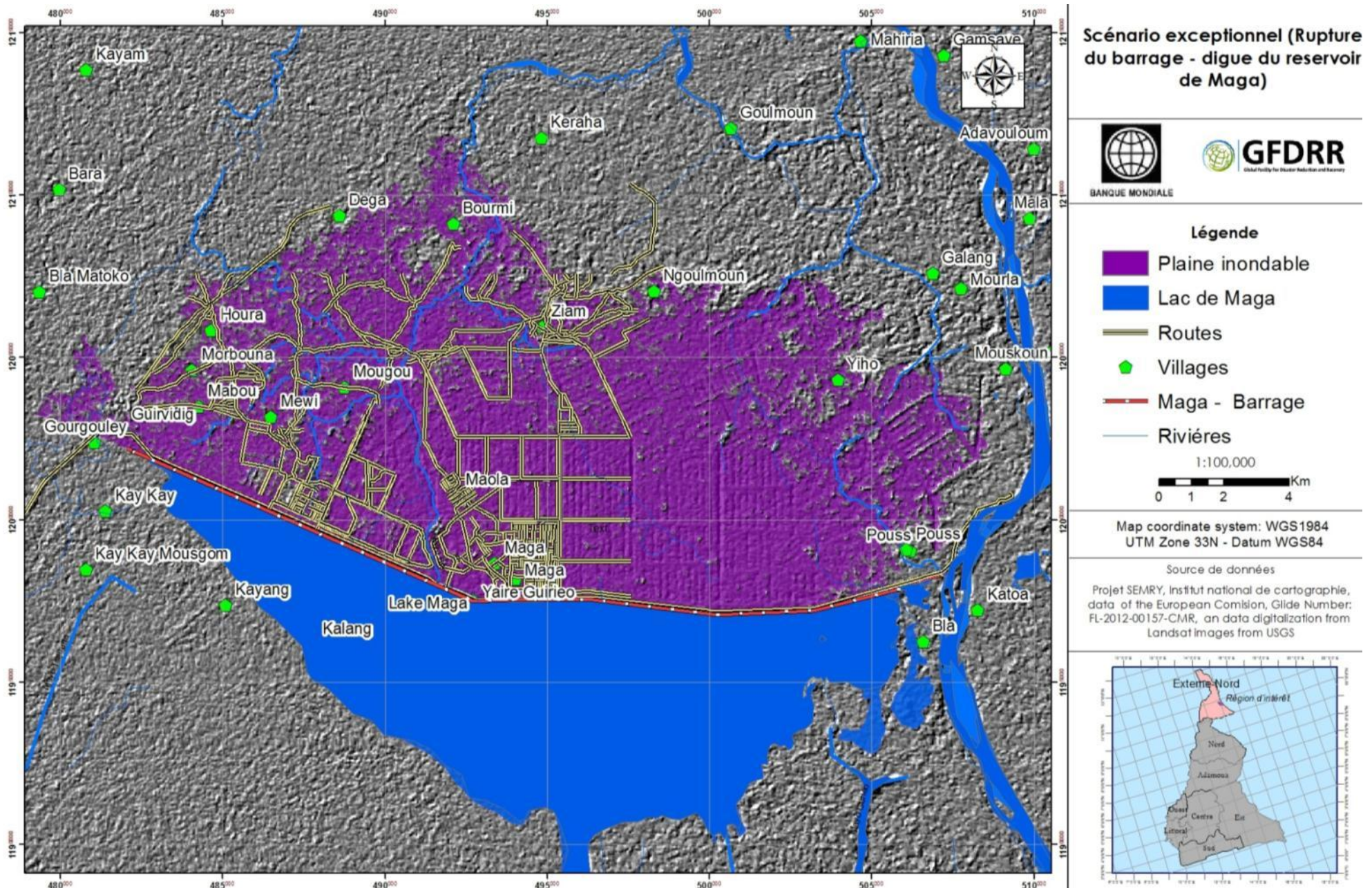


Figure 36. Scénario hypothétique de rupture totale et soudaine; cas d'un évènement exceptionnel (i.e. réservoir plein).



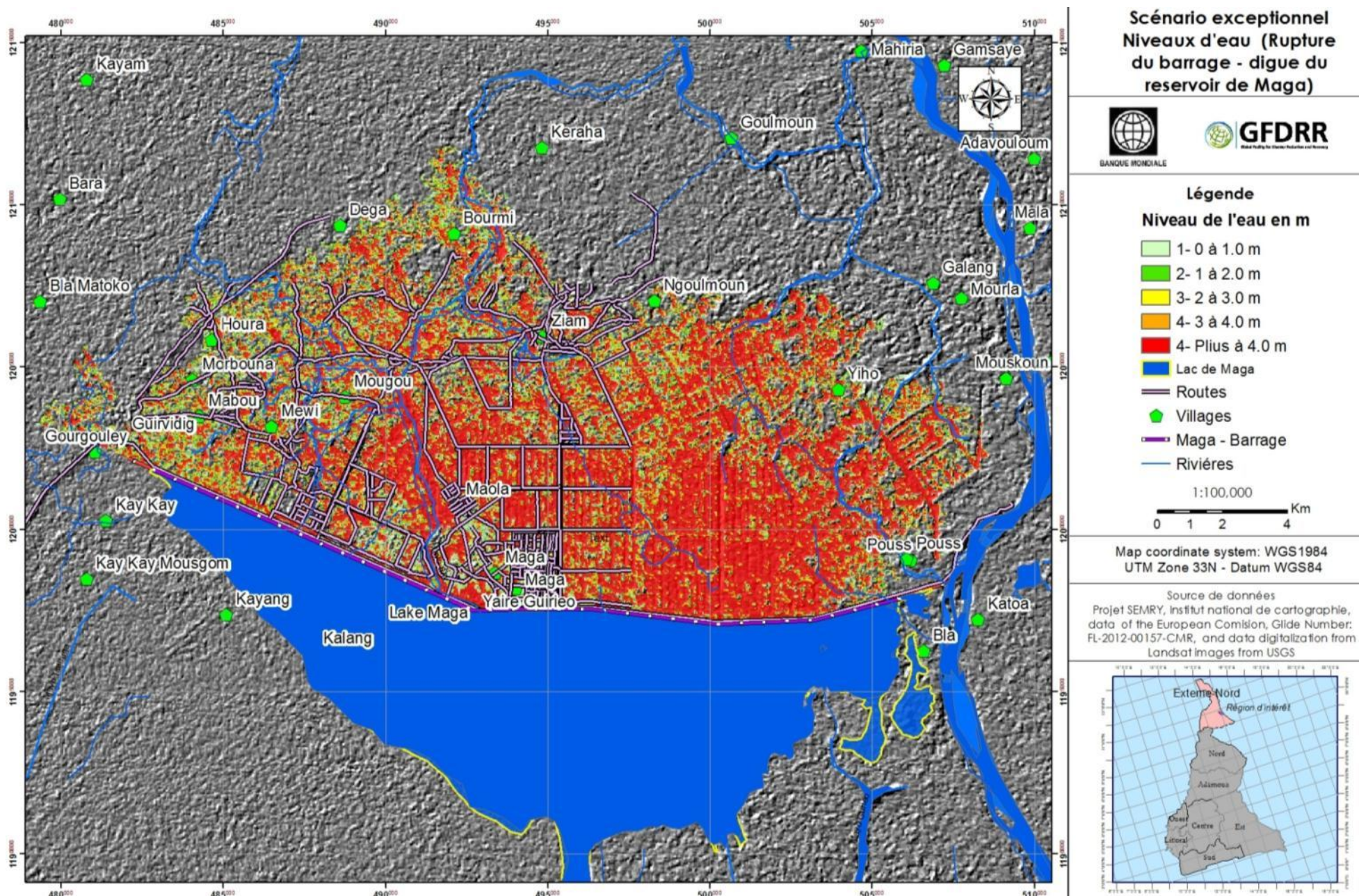


Figure 37. Scénario hypothétique simulant la rupture soudaine et totale du barrage de Maga, avec indications de la profondeur des inondations résultantes à l'aval.



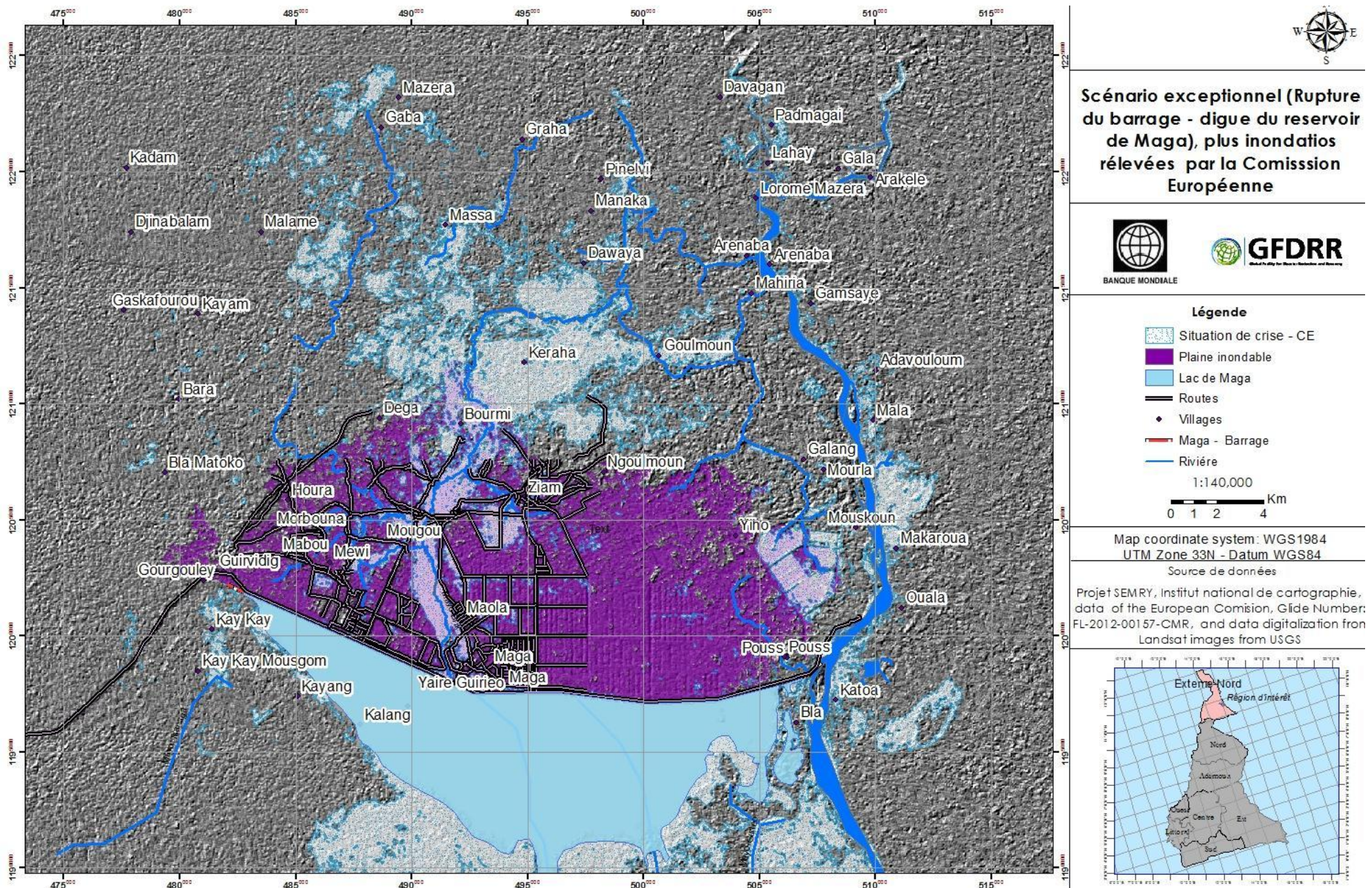


Figure 38. Scénario superposant un cas de rupture totale extrême (i.e. réservoir plein), avec les inondations de juillet-septembre 2012, relevées par la Commission Européenne.



## IV - CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

### 4.1 De manière générale et dans le court terme

En résumé et de manière générale, afin de mieux préparer les actions qui seront décrites par la suite, il est recommandé de réaliser les activités suivantes sur le court terme:

- À partir des images satellitaires Aster (30m), compléter le modèle numérique de terrain, les paramètres topographiques de base (e.g. pentes, relief), la mosaïque, la délimitation précise des bassins versants et du système de drainage naturel
- Utiliser des données des images satellitaires météorologiques NASA-Japon "TRMM" (microwave sensor imagery) pour obtenir les profils pluviométriques, la production synthétique des courbes PADF (précipitation-aire-durée-fréquence) et des scénarios déterministes d'inondations
- Avec des données pluviométriques numérisées au Centre National de Météorologie (Douala), réaliser des analyses statistiques (i.e. Gumbell) de consistance, homogénéité et récurrence; déterminer des maxima et minima, périodes de retour, variabilité climatique, etc.
- Avec des données limnimétriques fiables (même synthétiques) obtenues au Centre National d'Hydrologie, réaliser des analyses statistiques (i.e. Gumbell) de consistance, homogénéité et récurrence; déterminer des maxima et minima, périodes de retour, variabilité climatique, etc.
- Avec des images (gratuites) MODIS et Landsat, réaliser une classification préliminaire de l'utilisation des terres et l'évolution à travers le temps ; en comparant avec la capacité des terres, déterminer les conflits de surutilisation et sous-utilisation et formuler des recommandations pour l'aménagement du territoire
- Réviser et analyser les données historiques des décharges hydrauliques et du comportement des structures d'évacuation des crues et d'alimentation des systèmes d'irrigation; recommander des critères à être pris en compte lors de leur ré-conception, réhabilitation, restauration et reconstruction.
- Effectuer la compilation et l'analyse spatio-temporelles de l'information et données disponibles en géomorphologie, géologie, sismicité, volcanisme et climatologie et l'appliquer à une évaluation préliminaire des menaces naturelles hydrométéorologiques, climatiques et de la géodynamique; ensuite, avec de l'information sur l'occupation des terres, initier une analyse de la vulnérabilité; production d'un atlas et des modèles et scénarios.
- Réaliser une étude sédimentologie pour analyser l'état actuel de l'envasement du réservoir, les sources et transport de sédiments, faire des projections sur les volumes arrivant dans le future et proposer des mesures et options de contrôle, tant dans le réservoir lui-même (e.g. dragage, vidanges régulées, etc.), comme à l'extérieur (e.g. bassins de sédimentation à l'amont, pratiques de conservations des sols dans le bassin versant, etc.)

### 4.2 Intégration des solutions partielles dans une stratégie de développement intégré

Il faudra tenir compte du fait que ces ouvrages font face à une série de problèmes liés à la rusticité de l'infrastructure originelle, au déficit d'entretien, aux conditions climatiques extrêmes et à la rareté des matériaux de construction ayant des caractéristiques géotechniques acceptables. Il n'est pas pertinent de donner la priorité à une structure ni à une chronologie en particulier, car il s'agit d'un ensemble d'ouvrages interdépendants et complémentaires qui exigent une reconstruction intégrale, surveillance, un entretien et un contrôle de qualité à tous les niveaux du processus. Toutefois, dans une perspective de réhabilitation définitive, des solutions sont retenues et dont la majeure partie figure dans les rapports de Le Competing-Bet (2006) et d'Ere-Développement (2012). Les paragraphes suivants fournissent des détails sur les actions prioritaires mentionnées ci-dessus, dans le cadre de la définition d'une stratégie intégrale et globale. En ce qui concerne le barrage et les digues, les recommandations prioritaires sont résumées comme suit:

- i. Réhabilitation, réparation et renforcement (*retrofit*) des éléments les plus endommagés, fragiles et vulnérables ; vérification de leur stabilité sur le court et long terme; remise à niveau de service des ouvrages de prise, d'évacuation et de régulation (déversoir), ainsi que de leurs systèmes de commande et ses accessoires
- ii. Reconstruction partielle des éléments géotechniques les plus endommagés, fragiles et vulnérables et réalisation des traitements pour réduire l'érosion, les ravinements, le ruissellement sur les talus et l'action éolienne, le vandalisme et la disfonctionnalité mécanique et hydraulique des vannes.
- iii. Déconstruction total, par sections progressives et en suite, reconstruction complète et modernisée de toutes les composantes physiques et hydrauliques
- iv. Dans tous les cas, les matériaux dont le barrage et la digue sont composés, peuvent être réutilisés en grande partie et après une vérification et contrôle de qualité. La réparation de ces ouvrages sera une tâche complexe, car la décision

de vidanger le lac doit tenir compte de l'utilisation de l'eau pour l'agriculture, la pêche, le transport lacustre et de la nécessité de préserver la présence de ne pas endommager la biodiversité animale et végétale, comme par exemple les hippopotames du lac.

- v. Protocoles de sécurisation du barrage et des digues (Maga, Logone) par la régulation des tirants maxima d'eau, contrôle de la capacité des évacuateurs, renforcement, nettoyage et recalibrage des canaux (Djafga, Vrick, etc.) et renforcement pour résister au batillage, houle et turbulences.
- vi. Restauration du réseau de lectures limnimétriques, pluviométriques et climatologiques et l'information pour une gestion intégrale et plus holistique des ressources hydriques et des bassins versants
- vii. Entretien et protection des installations (enherbement, curage, mesures contre l'envasement du lac, etc...)
- viii. Entretien de la piste routière Guirvidig-Maga-Pouss-Yagoua et de ses ouvrages hydrauliques au passage des ruisselements de surface ou à la traversée des débits de régulation du niveau du réservoir (déversoirs, évacuateurs)
- ix. Enfin, mise en place au moyen et long terme, d'un programme de développement rural durable qui couvre les secteurs clés de la zone, toute en considérant l'amélioration et optimisation des ouvrages et activités d'irrigation, l'évaluation et études hydrologiques, hydrauliques et électromécaniques pour exploiter l'énergie hydroélectrique à partir des débits de l'eau d'irrigation, l'infrastructure, les services publiques, l'eau potable et l'assainissement, la santé publique, le tourisme naturel et culturel, la diversification des activités socioéconomiques locales et régionales, et la réduction de l'action destructive des hommes et des troupeaux (e.g. communication sociale, sensibilisation, dissuasion, gestion locale du risque, etc.) sur les ouvrages.

### **4.3 Information cartographique, hydrologique et hydraulique**

L'étude d'hydrologique réalisée s'est fondée sur une perspective hypothétique avec différentes suppositions; c'est ainsi que des scénarios sur la précipitation et les maxima utilisés ont été utilisés. Cependant, il faut souligner que l'étude n'a utilisé que des données de base très générales pour appuyer les modèles. On a constaté que l'information hydrologique, hydraulique, cartographique et géologique disponible est rare dans les institutions publiques et que des données limnigraphiques n'existent pas dans la région de l'Extrême-Nord. Un autre problème concerne l'information topographique, qui n'existe qu'à l'échelle 1:200.000 et sans format numérique pour la région Extrême Nord. Par ailleurs, les bassins versants ne sont pas bien définies et il n'existe pas d'information détaillée ni sur l'occupation des terres, ni la monographie de la région.

Grâce aux données recueillies auprès du projet NASA-Japon, on a enquêté et obtenu un modèle Aster de l'USGS pour la région, avec 30 mètres de pixel. Ce modèle existe pour tout le Cameroun et il serait important que les institutions camerounaises puissent y avoir accès (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>). Par manque de temps, la correction et le réajustement hydrologique n'a pas été possible, donc le MNT a été utilisé avec des imperfections d'origine. Toutefois, le modèle peut valablement servir, en attendant la construction d'un modèle plus précis. Par ailleurs, la Commission Européenne a fourni à l'équipe de l'information numérique pour la région. Bien qu'elle ne soit pas exhaustive, elle fournit quelques données sur l'occupation des terres, ainsi que sur l'emplacement de routes, des rivières et canaux. Les résultats de l'étude permettent d'aider à la prise des décisions pour orienter et alerter la population en cas de rupture du barrage.

Cependant, il est important, à court terme et particulièrement durant la saison des pluies (i.e. juin à septembre), de mettre en place un système d'observation directe sur le barrage et le réservoir, de suivi de la pluviométrie, des niveaux des eaux dans le réservoir (avec la restauration des échelles limnimétriques) et d'alerte-alarne continue. En se basant sur des hypothèses, deux scénarios ont été retenus pour ce qui est d'une possible rupture partielle ou totale du barrage. Toutefois, les deux scénarios sont à prendre avec précaution car l'information hydrométéorologique et cartographique n'est pas suffisante. Il est important d'affiner le modèle numérique du terrain, en incluant le réaménagement hydrologique existant, redéfinir correctement le réseau de drainage et les bassins hydrographiques, obtenir des données complémentaires du capteur TRMM, nécessaires pour calculer les courbes PADF, et obtenir l'information stockée à l'Institut Météorologique du Cameroun (Douala) pour pouvoir réaliser des analyses statistiques et redéfinir les modèles hydrologiques appliqués. Pour une conception hydraulique des œuvres de décharge et de canaux, on peut utiliser les équations et les données fournies par Le Competing-Bet (2006), tout en adoptant une position de prudence à cause de l'incertitude des données.

### **4.4 Problèmes géotechniques des ouvrages**

À condition de garantir une validation physico-mécanique (au moyen, par exemple, d'essais de laboratoire et des tests de remblais sur le site), un procédé de compactage adéquat et un contrôle de qualité minutieux doivent être définis pour



évaluer les matériaux qui forment le barrage de Maga et la digue de Logone et les sites d'emprunt choisis. Il faudra s'assurer qu'ils ont des propriétés géo-mécaniques suffisantes pour atteindre les résistances au cisaillement et l'imperméabilité requises.

1. Il est recommandé d'analyser la faisabilité de rehausser la hauteur de la crête du barrage et des digues jusqu'à l'altitude 316 m INC dans le but de récupérer la capacité d'emménagement du réservoir. Il est clair que cette option doit s'accompagner des études détaillées sur les implications de l'augmentation de la surface inondable autour du lac actuel et des besoins du redimensionnement des corps et de la géométrie du barrage, des ouvrages et mécanismes hydrauliques et des digues annexes.
2. De la même manière, il faudra analyser la faisabilité de rehausser le déversoir de Logone-Pouss autour de la cote 314 m, tout en tenant compte des interactions avec le barrage, digues, ouvrages et mécanismes hydrauliques annexes
3. Les ouvrages en terre doivent être dotés des éléments de drainage adéquats pour réduire les sous-pressions et pressions interstitielles, tant dans leur fondation comme dans leurs corps à l'aval.
4. Sur la longueur de près de 60 km de l'ensemble du barrage de Maga et de la digue de Logone, il faut absolument réaliser un zonage des trajets à intervenir. Il n'est pas raisonnable de généraliser une solution unique pour les ouvrages à cause de la variabilité et diversité des sols, leur capacité portante, conditions environnementales, hydrogéologiques, interaction avec la rivière Logone, la population locale, la profondeur du tirant, pressions et actions érosives de l'eau, la disponibilité de matériaux de construction, etc. Une campagne rapide de reconnaissance du sous-sol doit être entreprise (e.g. sondages SPT, résistivité électrique, réfraction sismique; profondeur maximale d'environ 12 m; essais de laboratoire et quelques tests de percolation «in situ»)
5. Les structures doivent contenir des instrumentations d'auscultation géotechnique (e.g. tassomètres, piézomètres, géodésie), hydraulique (jauges, débits, décharges, vitesses), hydrométéorologique (stations météorologiques et limnométriques), d'auscultation de l'envasement du réservoir, de la situation environnemental et de la qualité de l'eau
6. Bien que la situation puisse sembler assez compliquée, elle n'est pas nécessairement difficile à gérer. Il est clair qu'il faudra investir des ressources relativement importantes, surtout à cause des contraintes logistiques, mécaniques et de transport, mais la technologie à utiliser est classique et ne porte pas des complications extraordinaires.
7. Sur l'ensemble de la longueur du barrage de Maga et de la digue de Logone), au moins deux catégories d'ouvrage pourraient être définies pour concevoir leurs paramètres principaux respectifs: les digues de moins de 3 m et le barrage, de plus de 3 m:
  - a. Digues de moins de 3 m d'hauteur (Figure 39):
    - Il faudra reconstituer celles existantes, s'assurer de leur géométrie et des côtes (fondation, crête) exactes pour évaluer les besoins en matériaux pour leur donner la forme et la constitution appropriées
    - Il est recommandé de reconstituer le corps des ouvrages encore existants avec les mêmes matériaux et en apporter d'autres, de manière à le remodeler, avec au moins 1 m de bordure libre au-dessus de la crue maximale prévisible du réservoir de Maga et du Logone (idéalement au moins 100 ans de période de retour)
    - La crête doit être d'environ 3 m de largeur, revêtue de goudron ou de terre-ciment stabilisée pour réduire l'érosion et permettre la circulation de véhicules d'entretien. Un caniveau longitudinal, sur le bord aval, peut aussi être incorporé
    - Le talus à l'amont doit être recouvert d'un enrochement ou *rip-rap*, constitué par une couche de blocs d'un diamètre d'au moins 50 cm
    - La digue, y compris les parements à l'amont et à l'aval, doit être composée avec des matériaux compactés, avec une pente d'au moins 2H:1V pour donner du «corps», éviter ainsi qu'elle soit affectée par les gradients hydrauliques et pour réduire les filtrations et la formation de renards. La protection contre le ravinement peut se faire au moyen de la végétation endémique. Les matériaux doivent avoir une proportion minimale de 25% passant la maille No. 200 (divisant les sables des limons et argiles); un degré de compactage au Proctor 95% doit être garanti, avec une dispersion minimale.
  - b. Digues et barrage de plus de 3 m (Figure 40):
    - Il faudra reconstituer les structures existantes, s'assurer de leur géométrie et des côtes (fondation, crête) exactes pour évaluer les besoins en matériaux pour leur donner la forme et la constitution appropriées
    - Il faudra leur donner une bordure libre (surélévation) d'au moins 1,5 m pour tenir compte des houles (calculées à partir du «fetch»), battillage et des crues exceptionnelles dans le lac (minimum 100 ans de période de retour)
    - La crête doit avoir un minimum de 4 m de largeur et doit être revêtue de goudron pour réduire l'érosion et permettre la circulation des véhicules d'entretien; un caniveau longitudinal, sur le bord aval, doit être incorporé

- Le talus à l'aval doit être conçu de manière à ce qu'il soit constitué avec des matériaux compactés, avec une pente d'au moins 2H:1V pour lui donner du «corps» et du poids, lui donner ainsi de la stabilité gravitaire, éviter qu'il soit affecté par des gradients hydrauliques excessifs et pour réduire les filtrations et la formation de renards

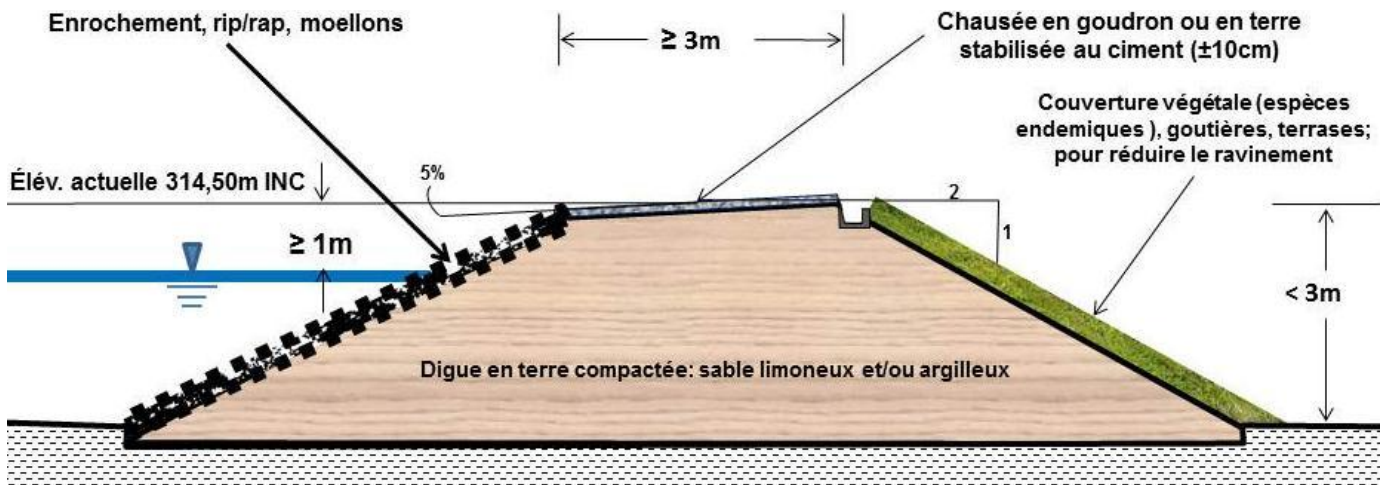


Figure 39. Schéma typique des digues en terre compactée de moins de trois mètres d' hauteur. Les proportions et l'échelle ne sont pas nécessairement fidèles; le diagramme doit être pris seulement comme point de repère.

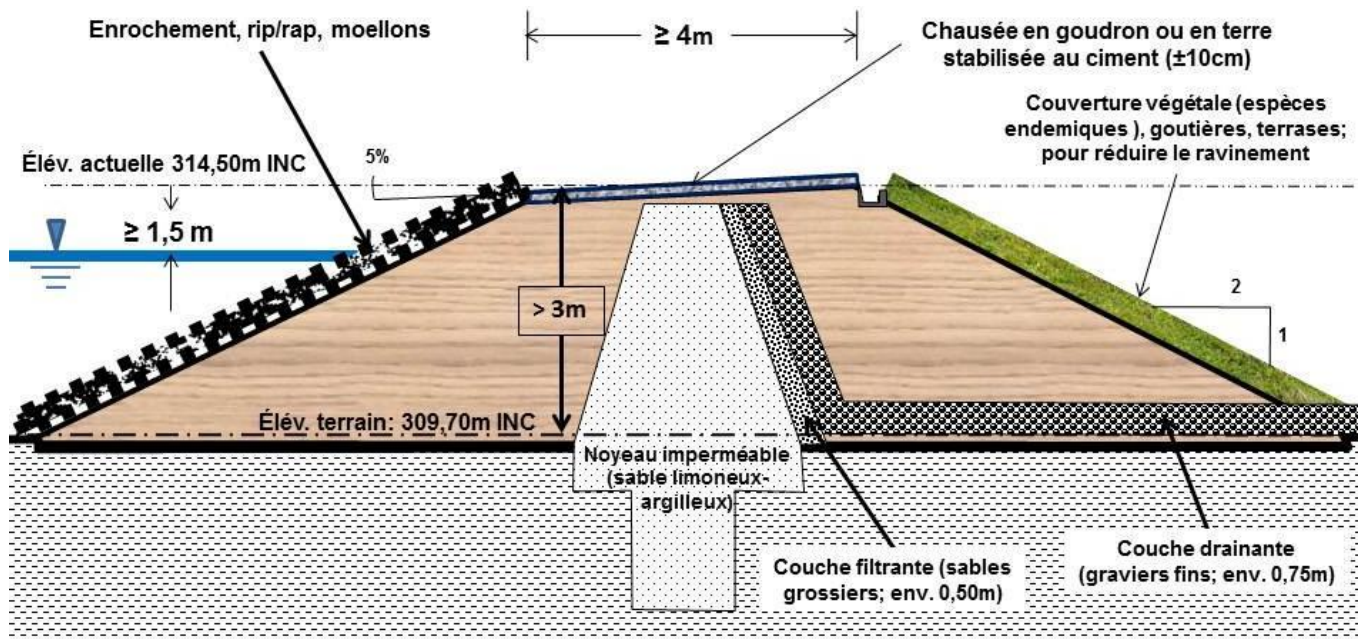


Figure 40. Schéma typique pour le barrage en terre compactée, avec noyau imperméable de plus de trois mètres d' hauteur. Les proportions et l'échelle ne sont pas nécessairement fidèles.

- Le corps de l'ouvrage doit être pourvu d'un noyau imperméable (argile limoneuse ou sableuse; au moins 50% passant le tamis No. 200; compacté au Proctor 95%; un coulis de bentonite-ciment est envisageable au cas où il y aurait insuffisance de matériaux appropriés), démarré avec un fossé d'environ 2 m de profondeur dans la fondation et 50 cm de largeur (à peu près la même largeur de la pelle d'une pelleteuse mécanique, tout en évitant le collapse des parois). Un «nettoyage» préalable de la surface (e.g. 0,50 m) au bulldozer est recommandable
- Le corps à l'aval doit avoir des dispositifs de filtration (pour éviter la migration des particules du noyau; sable grossier propre; environ 50 cm de largeur) et de drainage (graviers fins propres) sur le noyau et la fondation (matelas (au cas où il n'y aurait suffisamment de matériel disponible, l'on peut envisager les substituer avec un géotextile non-tissé drainant de 200 à 300 gr/m<sup>2</sup>). Si nécessaire, l'on peut envisager aussi d'ajouter encore une couche/géotextile filtrante-drainante à la mi-hauteur pour contrôler les débits d'infiltration et éviter davantage la formation de renards



- Le contrôle de l'érosion des ouvrages est primordial et peut être réalisé à l'aide de toutes mesures praticables et faisables, suivant les conditions climatiques locales: enrochements, végétation, gouttières, terrasses, etc.
- Il faudra vérifier, par des calculs et des essais «in situ», la menace de renards, tassements différentiels, sous-pression, débordements et houle.
- Les injections artisanales de ciment ne semblent pas très efficaces sur le long terme; leur coût est relativement élevé et pour des charges hydrauliques inférieures à 5 m, elles ne sont pas obligatoires
- La protection contre l'érosion dans le parement à l'amont au moyen d'une géo-membrane, bien que très efficace pour des ouvrages de cette dimension, n'est envisageable que s'il existe la possibilité de rabattre au préalable le niveau du réservoir, à cause des procédés d'emplacement et s'il est possible de le protéger contre les rayons ultraviolette et du vandalisme
- Il faudra vérifier, au moyen d'une analyse paramétrique de sensibilité, la stabilité aux glissements à l'amont et à l'aval, en condition de réservoir plein et de vidange rapide, et avec séisme (e.g. contraintes pseudo-statiques de 2,5% g, 5% g ; 8% g).
- Il est nécessaire de vérifier la disponibilité de sites d'emprunt de matériaux de construction (noyau, filtres, drains, enrochement, *rip-rap*, chaussée supérieure, agrégats pour le béton, etc.), les conditions des fondations, et les aspects environnementaux.

## 4.5 Compléments et appui de la durabilité des solutions

### 4.5.1 La gestion et le renforcement institutionnel

Il est recommandable de considérer des actions visant l'évaluation des capacités et des besoins techniques, en ressources humaines, matérielles et techniques de la SEMRY et d'autres institutions locales et régionales. Ceci devrait se réaliser dans le cadre d'une proposition du renforcement des structures de gestion administrative et opérationnelle et de l'entretien des digues, du barrage et des structures et mécanismes et hydrauliques du complexe Maga-Logone-Vrick. La mise en place de ces structures doit devenir fonctionnelle au plus tôt possible, en commençant par la suivie des études préalables et pendant la reconstruction des ouvrages et de leur surveillance. Il est prioritaire de doter la SEMRY des capacités pour suivre et interpréter les conditions hydrométéorologiques et climatiques extraordinaires, la gestion des ressources hydriques, la sécurité et la gestion du risque. Les actions doivent être inspirées par les objectifs suivants:

- i. Renforcement institutionnel de la SEMRY y compris une amélioration du système d'information hydrologique
- ii. Renforcement des capacités d'entretien des infrastructures hydrauliques y compris la digue-barrage de Maga, la digue de Logone et les ouvrages connexes
- iii. Gestion régionale de ressources en eau, incorporant des moyens de dialogue, coordination, concertation et gestion commune entre le Tchad et le Cameroun sur le fleuve Logone
- iv. Gestion du risque et des désastres y compris le développement d'un système intégré d'alerte et d'alarme.
- v. La solution de l'ensemble des circonstances conjuguées autour de la faiblesse institutionnelle et du cadre légal, financier et instrumental de la SEMRY

Le renforcement des capacités pour la gestion de l'eau et la gestion du risque consisteront, entre autres, à rechercher et poursuivre la solution des problèmes principaux, tels qu'identifiés dans la Figure 41. Les capacités techniques et institutionnelles limitées conduisent à une connaissance insuffisante, tant des menaces naturelles (i.e. géodynamiques, hydro-climatiques) que celles des ressources naturelles (i.e. sols, eaux, biodiversité) dans les bassins versants. Parmi les conséquences dérivées de cette condition, on peut noter les conflits actuels de sous ou surutilisation des ressources naturelles, la situation socioéconomique et environnementale précaire de la population et les options restreintes pour réduire la pauvreté, à cause de la dépendance quasi-totale du seul système Maga-Vrick-Logone. De ce fait, la faiblesse dans la gestion du risque et des ressources hydriques génère un niveau de vulnérabilité élevé, ne permettant pas de créer des conditions solides pour le développement. Il faut donc commencer par le renforcement des institutions et de ses instruments respectifs de gouvernance (Figure 41).

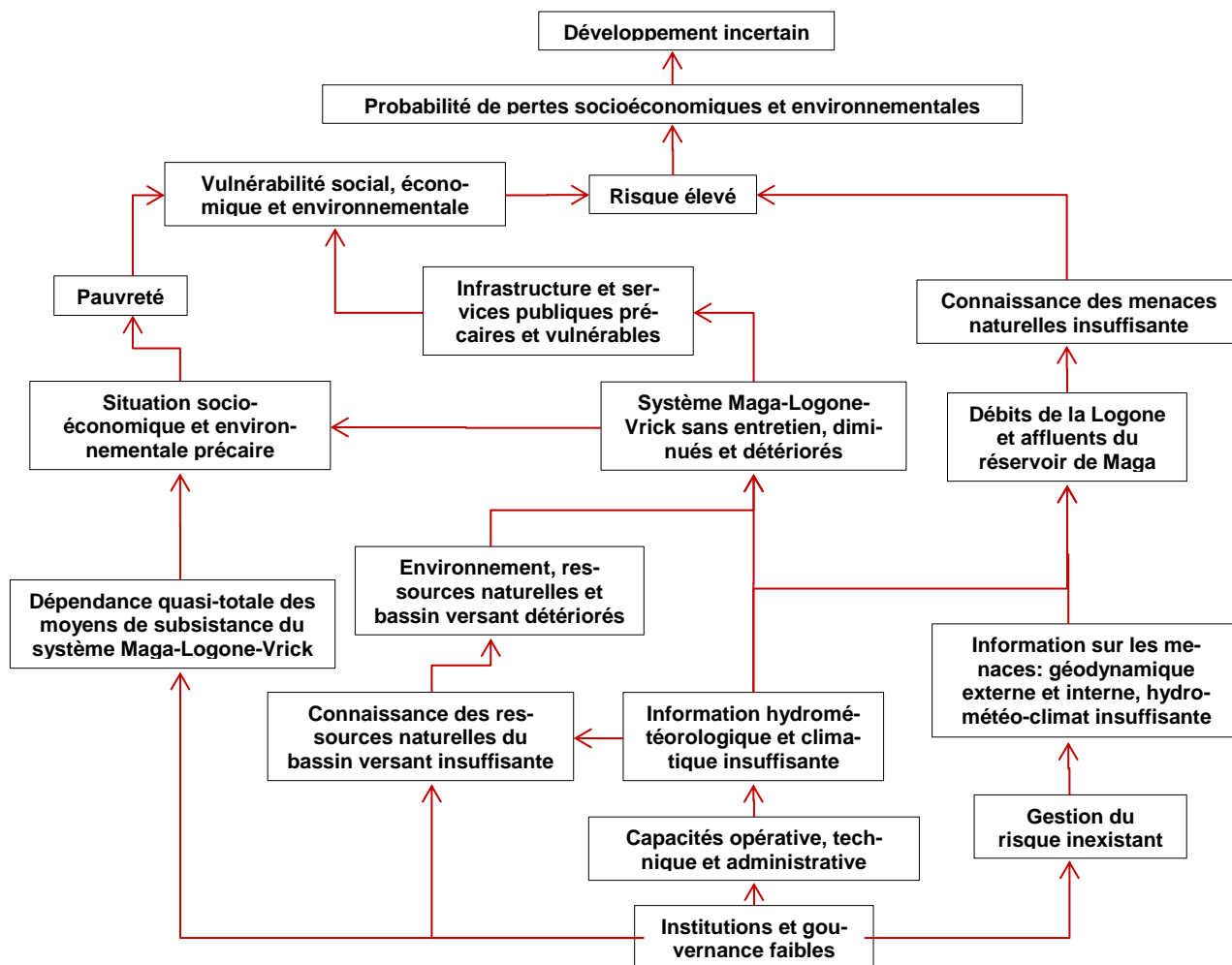


Figure 41. La faiblesse institutionnelle et de la gouvernance sont à l'origine des incertitudes dans le processus de développement locale et régionale dans l'Extrême Nord de Cameroun.

#### 4.5.2 La gestion du bassin versant et des ressources hydriques

L'objectif principal est de contribuer à l'amélioration de la qualité de la vie des communautés de la région Extrême Nord de Cameroun. De manière spécifique, il s'agit de ce qui suit:

- Améliorer la gestion et l'accès aux ressources hydriques de la population locale
- Promouvoir l'organisation communautaire, la création de capacités de gestion participative (population, décideurs, secteur privé) et durable du point de vue sociale, technique et économique du système de Maga-Vrick-Logone
- Introduire et renforcer le concept de bassin versant dans la connaissance et la gestion des ressources hydriques, ses sources, fragilités, menaces (e.g. lorsqu'il y en a trop, ou trop peu d'eau) et ses utilisations diverses, voire conflits d'utilisation: eau potable, assainissement, irrigation, transport aquatique, pêche, biodiversité, hydroélectricité, eaux souterraines, situations frontalières et transnationales, etc.
- Introduire la gestion du risque, tant au niveau local comme régional pour mieux connaître les menaces naturelles, réduire la vulnérabilité et éviter les pertes récurrentes qui empêchent le développement durable dans la région

L'axe clé vise le développement durable, suivant les conditions sociales, économiques, culturelles et environnementales de la Région de l'Extrême Nord, par l'utilisation rationnelle des ressources hydriques, la prise en compte des aspects biophysiques et socioéconomiques et l'aménagement du territoire. La formulation et la mise en marche d'une stratégie transversale et d'un plan d'action est le pas préalable. Ensuite, la création d'une cellule de coordination, pour mettre en marche les actions correspondantes, serait nécessaire pour garantir une délégation adéquate des responsabilités et de l'autorité, en évitant la centralisation et la sectorisation des processus.



Le Plan de Gestion du Bassin Versant implique au moins (de manière schématique): a) Un diagnostic –problèmes, territorialité-temporalité, aspects socioéconomiques, culturels et environnementaux, besoins, opportunités, menaces/vulnérabilité, coût/bénéfice des actions-, b) la formulation –agenda/chronogramme, buts, budget, acteurs concernés-, c) la mise en marche –contrôle, administration, audits-, et puis c) suivi et évaluation de la performance -actions, options, indicateurs, moyens de vérification, produits, impacts, effets-.

#### **4.5.3 Production d'énergie hydroélectrique par une microcentrale intégrée au barrage de Maga**

La plus part du temps la ville de Maga et les localités environnantes sont dépourvues de l'énergie électrique de la SONEL. Compte tenu des prix de plus en plus élevés des combustibles fossiles et de l'irrégularité de l'offre électrique disponible, il est donc envisageable de produire l'hydroélectricité à partir des eaux de la retenue de Maga qui servent à alimenter les canaux d'irrigation du périmètre rizicole. Ceci n'empêche pas la possibilité d'introduire aussi d'autres sources complémentaires d'énergie renouvelable (e.g. biocombustibles, biomasse, éolienne, solaire, etc.). Dans ce cas il devienne possible de profiter au maximum de ces énergies qui à présent ne sont pas utilisées. Il est donc recommandé d'étudier l'installation des micro-turbines sur les prises des canaux d'irrigation de Maga, dont la production servirait, entre autres, pour assurer l'alimentation en eau potable, satisfaire la demande domestique basique (éclairage, frigo, fer à repasser, TV, internet, téléphone, etc...), conserver les denrées agricoles et alimentaires périssables (semences, fruits, légumes, volailles, viande, etc.), augmenter la productivité agricole par l'intermédiaire de réseaux d'irrigation par aspersion ou par ruissellement qui nécessitent la mise en place des pompes, doter des cliniques de santé plus efficaces, mettre en place des petites industries agricoles, alimentaires et artisanales diverses.

Plusieurs options de microcentrales hydroélectriques sont à étudier; l'équipement doit s'adapter aux conditions de très basses chutes (1 à 6 m) et des débits subsidiaires des besoins de l'irrigation, avec des puissances comprises d'environ 10 à 100 KW. Ces groupes présentent aussi des avantages techniques et économiques par rapport aux groupes classiques, par exemple une durée de vie élevée, leur simplicité de réalisation, opération et d'entretien par rapport au génie civil et électromécanique, l'utilisation d'un maximum des ressources locales en main d'œuvre et en matériaux, l'absence de l'utilisation de combustibles, la possibilité de distribuer l'énergie en basse tension, etc.

#### **4.5.4 La gestion intégrale du risque dans l'Extrême Nord de Cameroun**

##### **a. Principes de base d'une politique régionale pour la gestion du risque**

Le risque appartient à la catégorie des éléments intenses ou à peine perceptibles qui sont toujours présents et peuvent parfois s'avérer inévitables. Cependant, le risque peut être géré de façon satisfaisante. Un désastre est le produit d'un processus de dégradation construit et entretenu socialement et politiquement, c'est-à-dire, de la matérialisation du risque comme conséquence de sa mauvaise gestion. La gestion du risque est un processus qui permet de comprendre comment se présente la vulnérabilité, comment elle augmente et s'accumule et comment on peut la résoudre, suivant la manière qu'elle interagit avec les menaces, tant naturelles qu'anthropiques (Glossaire, dans l'Annexe). Pour ce faire il faut d'abord l'identifier puis connaître ses causes et ses conséquences, moyennant une évaluation objective prenant en compte la perception individuelle, à travers le temps, sur l'ensemble du territoire et en interprétant ses expressions d'intensité en y considérant les incertitudes présentes. La gestion du risque est composée de quatre piliers fondamentaux, lesquels peuvent être adaptés pour leur formulation et application en tant que politique régionale dans l'Extrême Nord de Cameroun. De manière schématique, ces quatre piliers peuvent être définis de la manière suivante:

➤ Identification du risque:

- Évaluation des causes et des conséquences, et de ces facteurs aggravants conduisant aux désastres
- Connaissance et perception objective des variables: Menaces, vulnérabilité; distribution spatiale et temporelle des intensités, incertitudes.

➤ Réduction du risque:

- Actions pour mitiger l'impact des menaces sur la société et l'environnement
- Valorisation et mise en place des mécanismes de prévention et mitigation structurale et non-structurale pour réduire l'influence des facteurs qui causent et intensifient les dégâts
- Réduction de la vulnérabilité

➤ Transfert/rétention du risque:

- Établissement des seuils du risque «accepté» vs. risque «acceptable»
- Définition des conditions et des seuils de rétention et transfert du risque

- Prise des décisions fondées sur les analyses comparatives des bénéfices et des coûts des mesures de mitigation
- Identification d'options "ex-ante" de protection financière et financement du risque
- *Gestion des urgences et des désastres:*
  - Actions basés au moyen des plans, protocoles et préparatifs préétablis
  - Systèmes d'alerte-alarme, consignes de réponse, intervention, réponse et réhabilitation
  - Faire face aux urgences et aux désastres de manière efficace
  - Sauvegarde de la vie humaine, rétablissement de la qualité de vie
  - Éviter la reconstruction de la vulnérabilité.

Une fois le risque évalué, il faut le réduire, d'abord en essayant de diminuer l'impact des menaces et en suite en réduisant les causes de la vulnérabilité jusqu'à ce qu'il puisse devenir acceptable du point de vue social, économique et environnemental. Puisqu'il est parfois impossible d'annuler le risque, des mesures doivent être prises pour protéger la population, ses biens et ses atouts, ainsi que pour le transférer, à travers le temps à des tiers, moyennant des instruments tels que les assurances, réassurances et d'autres mécanismes de protection financière et sociale. Finalement, la gestion des urgences et des désastres doit assurer la protection ultime, lorsque il faut faire face à l'imminent et à l'inévitable. Il faut savoir répondre avec des actions préparées à l'avance: Surveillance, alerte, alarme, réponse, réhabilitation (immédiate) et reconstruction (à moyen et long terme), tout en évitant la reproduction des conditions préalables de la vulnérabilité et en fournissant, au contraire, un nouvel état de résilience durable.

L'Extrême Nord a besoin de commencer, au plus vite, à réduire la vulnérabilité de sa population et de ses moyens de subsistance. Il faut toujours comprendre que la pauvreté ferme et exacerbe le cercle vicieux des désastres; si les désastres restent chroniques, il est impossible de planifier le développement et de se libérer de la pauvreté. Mais il est tout aussi impossible d'avancer tant que les institutions et ses liens avec les collectivités locales persistent à être faibles, épisodiques et centralisés. L'agenda de développement doit permettre à la gestion du risque de devenir une pratique quotidienne et transversale, au moyen de la participation du gouvernement et de la population. La gestion du risque doit être incorporée dans les processus de planification et dans les politiques d'investissement public et privé.

Le développement durable et la gestion du risque, appuyés par ses bastions les plus efficaces: la réduction de la vulnérabilité et l'aménagement du territoire, sont des objectifs inséparables pour nos pays. Il n'est pas possible de parler de l'un sans tenir compte de l'autre. Le moyen le plus dynamique pour surmonter ces obstacles est de considérer à la gestion du risque comme un investissement et non comme un coût, inoculé aussi dans la culture des preneurs des décisions politiques, managériales, entrepreneuriales, mais aussi dans le quotidien de la population.

#### **b. Analyse des menaces naturelles dans la région de Maga**

Il est important de rappeler l'ensemble des menaces naturelles auxquelles cette région est exposée et qui doivent être analysées. De manière schématique, le diagramme de la Figure 42 illustre la classification, par leur origine, des menaces naturelles auxquelles l'Extrême Nord est exposé. Compte tenu des la disponibilité faible de données et d'informations, ainsi que du temps disponible dans la présente mission, il n'a pas été possible de faire une caractérisation sommaire des menaces géodynamiques à partir de l'information trouvée sur l'internet.

En ce qui concerne la menace sismique au Cameroun, la Figure 43 montre un extrait de la Carte Globale de Menace Sismique, représentée dans ce cas par l'accélération maximale du terrain (% g) avec 10% de probabilité de dépassement pour 50 ans de période de retour (Source: USGS-NEIC; Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP); <http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/global/>). Il est à noter que la menace sismique dans l'Extrême Nord n'est pas négligeable et compte pour au moins une accélération du terrain équivalente au moins à environ 0,11% g. Les menaces sismiquement induites d'instabilité des pentes dans les montagnes voisines (i.e. source de sédiments) et la susceptibilité à la liquéfaction des sols alluviaux, devront aussi être prises en compte.



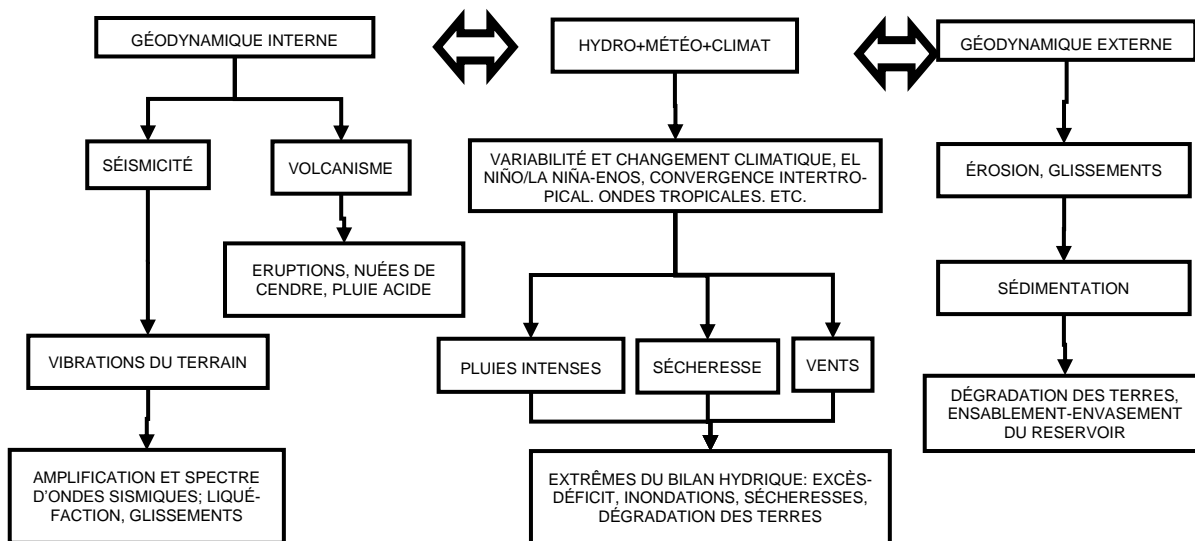


Figure 42. Les menaces naturelles dans la région de l'Extrême Nord, Cameroun. Classification suivant leur origine.

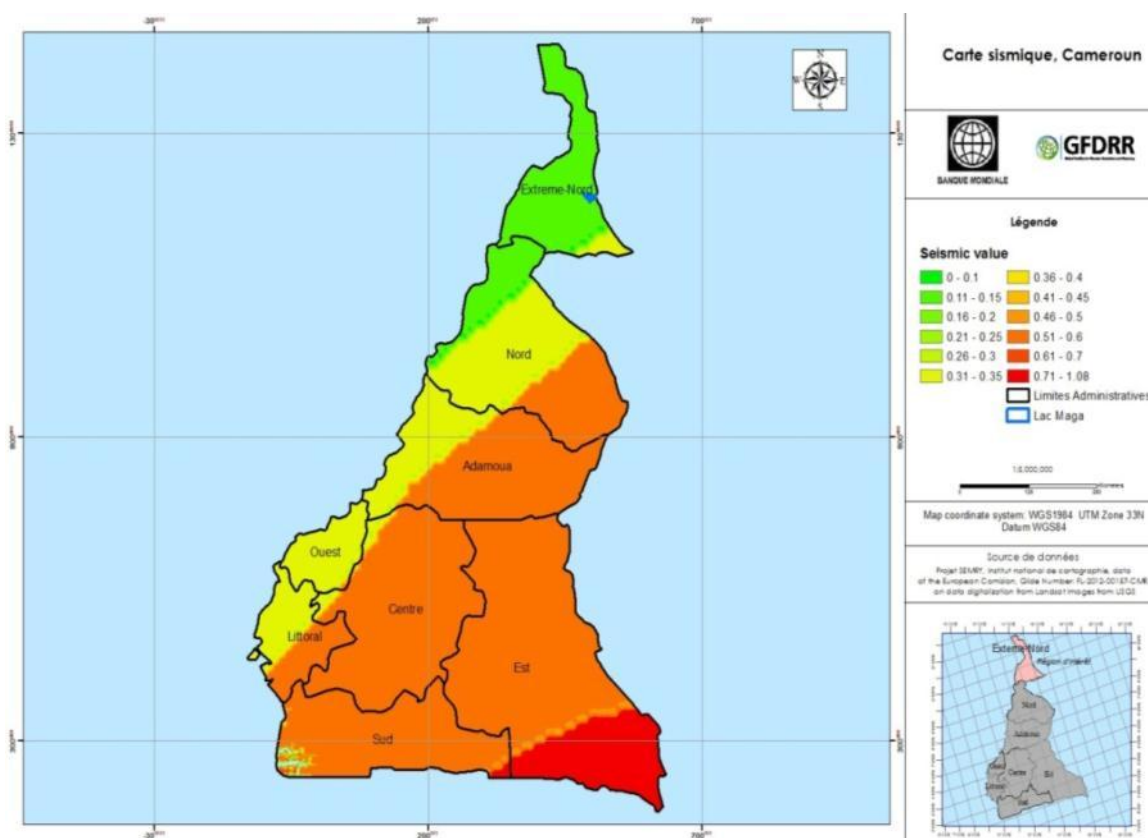


Figure 43. Menace sismique au Cameroun. Accélération du terrain (% g) avec 10% de probabilité de dépassement pour 50 ans. Source USGS-NEIC; Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP); <http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/global/>

Sur la menace volcanique, à présent il n'y a pas d'analyse spécifique pour l'Extrême Nord du Cameroun; il n'existe que d'informations volcanologiques générales. De celles-ci il peut être extrait le fait que cette région se trouve impliquée par les unités volcaniques de la Ligne Volcanique du Cameroun (LVC), consistant d'une série d'appareils volcaniques, dont certains sont encore actifs (Figure 44). Une des particularités de la LVC est que 4 des zones se retrouvent dans l'océan Atlantique et 4 sur le continent lui-même. Les quatre zones dans l'océan forment les îles d'Annobon, São Tomé, Príncipe et Bioko. Sur le continent, les quatre zones forment les monts Cameroon, Manengouba, Bambouto et Oku. Chacun de ceux-ci est entouré d'un "champ volcanique" composé de fissures et de cônes volcaniques. Dans l'Extrême Nord, les foyers volcaniques de Mandara, Biu, Garoua et Ngoundéré sont à prendre en considération. L'information disponible peut être trouvée sur l'internet, dans les liens [http://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne\\_du\\_Cameroun](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_du_Cameroun) et <http://www.simplegeo.ca/2012/02/ligne-volcanique-du-cameroun-volcans-et.html>.

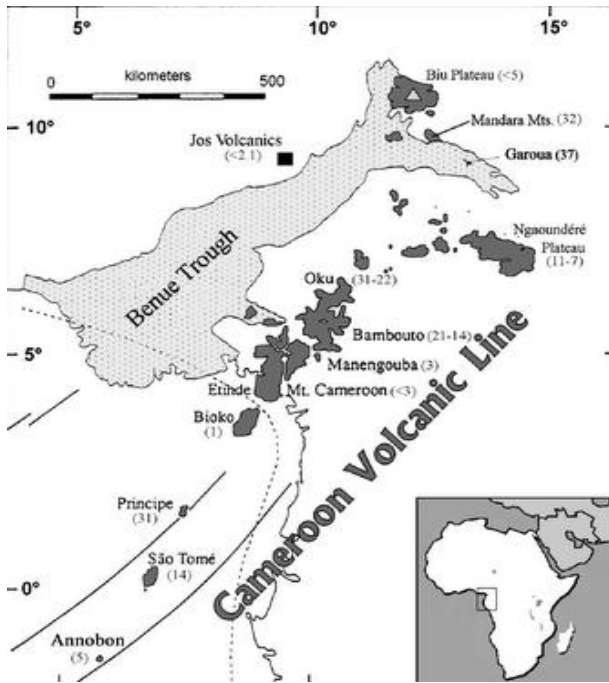


Figure 44. La Ligne Volcanique de Cameroun (LVC). Source: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne\\_du\\_Cameroun](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_du_Cameroun) et <http://www.simplegeo.ca/2012/02/ligne-volcanique-du-cameroun-volcans-et.html>

Finalement, d'après la Carte Géomorphologique de Cameroun (Seignobos, Iyébi-Mandjek et al. 2000), il est possible d'identifier plusieurs unités de dépôts sédimentaires continentaux de nature alluviale (deltas fluviaux intérieurs), des unités anciennes et récentes (Holocène) aux caractéristiques torrentielles, au sud-ouest du lac de Maga et au nord-est de Maroua (Figure 45). Ceci indiquerait que les processus de la géodynamique externe sont actifs et que de nouvelles arrivées de sédiments à caractère torrentiel sont possibles. Ceci pourrait affecter le lac de Maga et accélérer encore plus le taux d'envasement. Il est donc recommandé d'analyser cette circonstance de manière plus détaillée.

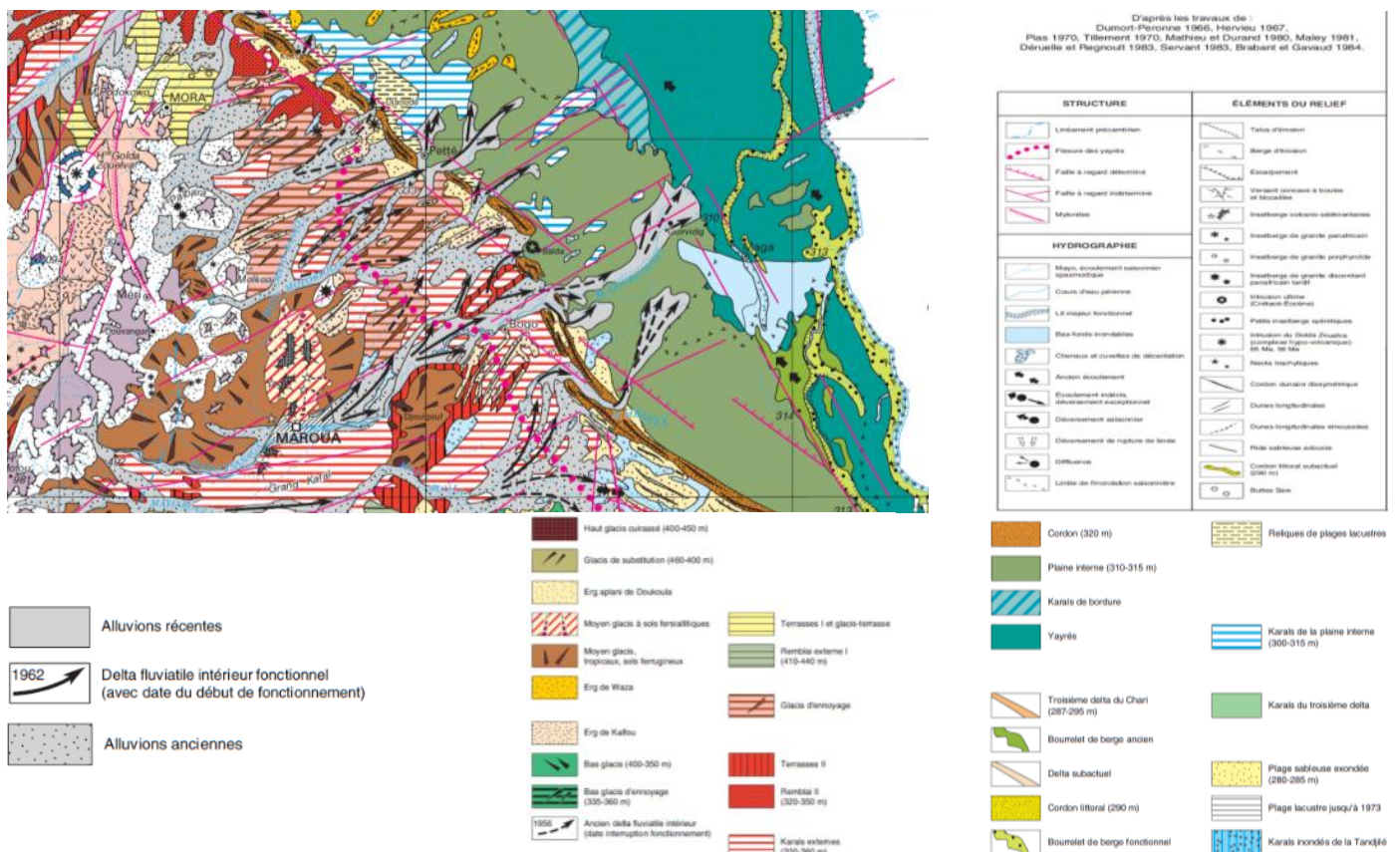


Figure 45. Carte géomorphologique des environs de Maga et Maroua (Seignobos, Iyébi-Mandjek et al. 2000)



### c. La gestion du risque, l'aménagement du territoire et le zonage des menaces naturelles

La réalisation d'une étude intégrale des menaces naturelles dans l'Extrême Nord du Cameroun (Figures 42, 43, 44 et 45) est impérative. Il est nécessaire de connaître, avec détail, la distribution spatiale et temporelle des intensités respectives. Il s'agit donc de construire, avec la détermination quantitative de la vulnérabilité, la base fondamentale de l'étude du risque. Cette connaissance devra ensuite s'appliquer aux priorités de la réduction du risque, de la protection financière, environnementale et sociale et dans la constitution d'instruments de gestion d'urgences et désastres. En ce qui concerne les instruments de la mitigation non-structurale, l'établissement de codes de construction et une politique pour l'aménagement territorial se base sur le zonage des menaces naturelles.

De tout ceci reste une dernière réflexion. Il faudrait prendre en compte que les digues de «protection fluviale» risquent parfois de générer, auprès des décideurs et de la population, des sentiments de sécurité fondés sur des éléments incertains, voire faux, de résistance structurelle-hydraulique. Ceci est particulièrement critique lorsque la structure, par manque de garantie d'entretien adéquat, n'est pas capable, sur le long terme, de résister aux contraintes sismiques, la sappe de la rivière, la détérioration par intempérie, les facteurs anthropiques et le vandalisme. La sécurité réelle qui puisse en apporter la digue es questionnable, difficile à justifier du point de vue du rapport qualité-durabilité-coût. Par ailleurs, l'excès de confiance de la population et des décideurs, pourrait conduire à des conditions d'augmentation de l'exposition et donc de la vulnérabilité. Il est recommandé de considérer s'il convient de continuer la promotion de la tendance actuelle de générer un «polder»<sup>1</sup> dans la zone de Maga et ses alentours, laquelle pourrait se voir, de plus en plus, entourée des digues de «protection» qui n'ont pas une garantie de résistance ni de durabilité suffisantes. Un travail assidu pour déceler les critères de la gestion du risque, appliqués à la condition actuelle et à leur évolution future des enjeux et de l'aménagement du territoire, ceci en partenariat avec les autorités nationales et régionales ainsi qu'avec la population locale, semble prioritaire urgent et critique.

## V - BIBLIOGRAPHIE

- ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM): <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- Ere Développement 2010. Rapport d'étude, digue du Logone. Phase 1. Province de l'Extrême Nord. Ministère de la planification, de la programmation du développement et de l'aménagement du territoire; République du Cameroun
- ERE Développement. 2012. Rapport d'étude de la digue de la Logone. Phase 2. Extrême Nord. Ministère de la planification, de la programmation du développement et de l'aménagement du territoire. République du Cameroun
- Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP); <http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/global/>
- Le Competing-Bet. 2006. Études en vue de la réhabilitation définitive de la digue-barrage de Maga et ses ouvrages annexes. Province de l'Extrême Nord. Ministère de la planification, de la programmation du développement et de l'aménagement du territoire; République du Cameroun. 6 volumes.
- Seignobos, C ; Iyébi-Mandjek, O; 2000. Atlas de la Province de l'Extrême Nord de Cameroun. Ministère de la Recherche Scientifique et Technique ; Institut National de Cartographique. Agence Française pour le Développement.
- Province volcanique de Cameroun. Source: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne\\_du\\_Cameroun](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_du_Cameroun) et <http://www.simplegeo.ca/2012/02/ligne-volcanique-du-cameroun-volcans-et.html>

---

<sup>1</sup> Polder: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Polder> : «...étendue artificielle de terrain, dont le niveau est inférieur à celui des corps d'eau environnants (e.g. mer, marais, estuaires, lacs, zones littorales, fleuves, etc.). La surface est entourée de digues...»

## ANNEXE: Glossaire<sup>2</sup>

Aléa	Pour les objectifs de cette étude, il s'agit d'un synonyme de « menace », mais dont l'étude met l'accent sur la modélisation probabiliste
Alerte	L'alerte consiste d'un état d'esprit quasi-permanent de veille qui permet d'identifier des situations et des circonstances pouvant évoluer vers des dangers potentiels. Il peut dériver sur une annonce ou dispositif d'information ( <i>Alarme</i> ) émis, au moyen de protocoles préétablis, dans le but de prévenir la population et les preneurs des décisions sur un événement potentiellement nuisible, prévisible et significatif pour leur sécurité.
Alarme	L'alarme est un mécanisme permettant de manifester l'existence et matérialisation imminente d'une situation potentiellement destructive. L'état d'alarme est déclaré afin de permettre aux organismes de réponse, d'attention des urgences et à la population d'activer des procédures établies au préalable pour réduire, voire éliminer, les dégâts humains. Également, l'alarme peut être un dispositif qui a pour but de démarrage des procédures, préalablement établies, pour que puissent être prises des mesures et des précautions, spécifiques à chaque circonstance dangereuse (par exemple des menaces naturelles), suivant la nature de l'événement menaçant -origine, célérité de matérialisation, récurrence-, l'intensité prévisible, l'extension spatiale de son influence et la potentialité de génération de dégâts suivant la fragilité et la valeur des éléments exposés. En étant rattachée à un système, l'alarme permet l'activation des protocoles associés à un plan de contingences ou d'urgences, selon le cas. La conception de l'alarme doit assurer que l'information s'origine et arrive de manière adéquate, précise et en temps, pour permettre une réaction efficace de tous les acteurs concernées.
Besoins	Interventions humanitaires de redressement et du développement nécessaires pour combler l'écart entre les déficits ou pertes identifiés et la situation à laquelle aspirent les affectés/concernés dans une situation post-conflit ou post-désastre. La somme des besoins localement identifiés ou perçus peut être synthétisée dans un cadre de redressement pour un secteur ou un pays.
Besoins (évaluation des...)	D'abord initiée par des agences humanitaires, cette évaluation implique la définition des besoins de base et de ce qui manque pour les satisfaire (sur la base de standards, en tenant compte des vulnérabilités, risques et capacités), et l'estimation de l'assistance externe nécessaire (externe à la communauté, à la province ou au département, ou au pays) pour pallier à ces déficits. Les évaluations des besoins pour le redressement (d'urgence ou intégral) et à des fins de développement impliquent une vision plus large des besoins couvrant des points relatifs à l'institutionnel, aux politiques et à l'infrastructure.
Capacité de faire face aux désastres	Différents moyens par lesquels les femmes et les hommes utilisent leurs capacités et s'organisent pour utiliser des ressources disponibles pour faire face à différentes conséquences négatives d'un désastre. Cela implique la gestion de ressources, aussi bien en temps normal que pendant des crises ou dans des conditions adverses. Le renforcement des capacités de faire face développe en générale la résistance face aux effets de menaces tant naturelles que provoquées par l'homme. Elle concerne le genre du fait que les femmes et les hommes pourraient avoir des capacités de faire face similaire ou différente selon leur capacité d'accéder aux ressources disponibles et d'utiliser ces ressources
Capacité de gestion du risque	Combinaison de toutes les forces et ressources disponibles au sein d'une communauté, société ou organisation, qui peuvent réduire le niveau de risque ou les effets d'un désastre. Cela inclut également le développement de ressources institutionnelles, financières, politiques et autres, telles que la technologie à différents niveaux et secteurs de la société.
Catastrophe	Similaire à « désastre », mais plutôt indicative de la condition de pertes maximales probables et/ou extrêmes
Changement climatique	Le climat d'un lieu ou une région change si, pendant une période longue (en général des décennies, ou plus longtemps) il y a des tendances irréversibles importantes du point de vue statistique dans les indicateurs et au delà de doutes raisonnables. Les changements climatiques peuvent découler de processus naturels et/ou anthropogènes persistants dans l'atmosphère. À noter que la définition du changement climatique utilisée dans le cadre de la Convention des Nations Unies sur le Changement Climatique est plus restreinte, puisqu'elle ne concerne que les changements directement ou indirectement attribuables aux activités humaines. En somme, le changement climatique serait associé à l'augmentation des gaz et vapeurs à effet de serre, bien que l'effet de serre existe de manière naturelle. À cause de ceci, il parait que la température mondiale est en voie d'augmentation. Il n'y a pas encore des connaissances suffisantes pour comprendre l'ampleur des effets régionaux et locaux.
Dégâts (dommages)	Impact négatif sur les biens, le capital, l'infrastructure, ou toute autre type de structure physique (y compris les naturelles) découlant d'un événement externe tel qu'un désastre.
Désastre	Impact, trouble grave dans le fonctionnement d'une communauté ou d'une société, lorsque les pertes humaines, matérielles, économiques ou environnementales doivent être confrontées avec des ressources originellement destinées au développement. Un désastre est la matérialisation du risque. Il résulte de la combinaison convolutive d'une menace et la manifestation de la vulnérabilité, lorsque les capacités ou mesures préventives sont insuffisantes pour réduire les conséquences négatives du risque.
Développement des capacités	Efforts visant le développement de compétences humaines ou d'infrastructures sociétales au sein d'une communauté ou organisation, nécessaires pour réduire le niveau de risque.

<sup>2</sup> Inspiré, en partie, par la terminologie de l'ISDR-OCHA.



Dimensions du désastre relatives au genre	Effets et rôles différents pour les hommes et les femmes lors d'un désastre. Une analyse plus complexe qui tient compte du genre prendra également en considération les impacts différents des désastres sur des groupes distincts, particulièrement les vieillards, les bébés et les enfants, et les personnes ayant des handicaps spéciaux ou physiques.
Genre-sexe	Rôles, responsabilités, besoins, fonctions et intérêts spécifiques des femmes et des hommes, en général socialement induits et culturellement spécifiques, mais différents des concepts du sexe qui se réfèrent aux différences biologiques entre les hommes et les femmes, ou à l'orientation sexuelle.
Genre-sexe (analyse relative au...)	Processus d'évaluation des différences spécifiques socialement induites entre les hommes et les femmes qui sont apprises, changent avec le temps, et varient au sein et entre les pays.
Genre-sexe (évaluation des besoins tenant compte du...)	Processus dans lequel les besoins spécifiques aux femmes, aux filles, aux hommes et aux garçons sont identifiés.
Gestion du risque	<p>Processus systématique de réalisation des décisions administratives, d'organisation, de compétences opérationnelles, de capacités et d'application intégrale de politiques et stratégies pour réduire l'impact des menaces naturelles et de la détérioration environnementale d'origine anthropogénique. Cela inclut toutes les formes d'activité, y compris l'application des résultats de la recherche scientifique, l'observation et surveillance des processus naturels menaçants et des mesures structurelles et non structurelles, pour éviter (prévenir) ou limiter (mitigation et préparation) les effets adverses des menaces. La Gestion du Risque (GR) établit le lien de la chaîne des processus, moyennant ses outils, mécanismes et méthodologies pour minimiser, à l'avance, la perte vies humaines lors d'un désastre et pour préparer la réhabilitation, la plus rapide, efficace et sûre, des conditions de qualité de vie de la population. Il est suggéré d'incorporer les définitions suivantes sur la gestion intégrale du risque, synthétisées d'après Mora 2009 and CAPRA 2009<sup>3</sup> :</p> <p>➤ <u>Identification du risque:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Évaluation de ces causes, de ces conséquences et de ces facteurs aggravants</li> <li>• Connaissance, quantification objective et perception de ces variables: Menaces, vulnérabilité; distribution spatiale-temporelle des intensités, incertitudes, etc.</li> </ul> <p>➤ <u>Réduction du risque:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actions pour mitiger l'impact des menaces sur la société et sur l'environnement</li> <li>• Valorisation et mise en place des mécanismes de prévention et de mitigation suivant les facteurs qui causent ou intensifient les dégâts</li> <li>• Réduction de la vulnérabilité, moyennant des considérations sur le bénéfice et les coûts des mesures</li> </ul> <p>➤ <u>Transfert/rétention du risque:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Établissement des seuils de risque «accepté» vs. «acceptable»</li> <li>• Définition des conditions-seuils de rétention vs. Transfert du risque</li> <li>• Prise des décisions fondées sur des analyses comparant les bénéfices et les coûts respectifs</li> <li>• Identification et éventuelle application "ex-ante" des instruments et des options de protection financière</li> </ul> <p>➤ <u>Gestion des urgences et des désastres:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actions basées sur des plans préétablis et de la préparation</li> <li>• Mécanismes d'alerte-alarmer, consignes de réponse, et processus de réhabilitation</li> <li>• Faire face aux urgences et aux désastres de manière efficace</li> <li>• Sauvegarder la vie humaine, rétablir promptement la qualité de vie et les moyens de subsistance</li> <li>• Éviter la reconstruction de la vulnérabilité.</li> </ul>
Gestion de l'urgence (ou du désastre)	Organisation et gestion des ressources et responsabilités dans le traitement de tous les aspects des urgences, en particulier la préparation, la réponse et la réhabilitation. La gestion de l'urgence implique des plans, structures et arrangements établis pour initier des démarches normales d'agences du gouvernement, de volontaires et du secteur privé d'une manière intégrale et coordonnée, pour répondre au spectre entier des besoins relatifs à l'urgence. Ce processus est aussi connu comme la gestion du désastre.
Menaces	Événement ou circonstance physique, processus naturel ou activité humaine qui dans le cas d'avoir atteint ou dépassé une intensité spécifique, implique un danger potentiel de perte de vie humaine, de blessure ou de dégât aux biens sociaux ou économiques, ou de dégradation de l'environnement. Parmi les menaces comptent des conditions latentes pouvant représenter des dangers à venir, d'origine diverses : processus naturels (géologiques, hydrométéorologiques, biologiques) ou provoqués par l'homme (dégradation de l'environnement, dangers technologiques). Les menaces peuvent être individuelles, composées, séquentielles ou combinées dans leurs origines et effets. Chaque menace est caractérisée par son lieu, son intensité, sa fréquence et sa probabilité d'occurrence et récurrence.
Mitigation	Mesures structurelles et non structurelles appliquées pour limiter l'impact adverse de menaces naturelles, technologiques et environnementales.

<sup>3</sup> CAPRA : <http://www.ecapra.org>

Pertes	Moyens économiques, y compris les moyens de subsistance (revenus, salaires, bénéfices, et rentes), réduits suite à des dommages causés par un événement externe, par exemple un désastre.
Réhabilitation	Génération de processus pour le redressement post-crise (qu'il s'agisse d'un désastre ou d'un conflit). La réhabilitation implique des mesures visant le retour de la communauté affectée, le plus rapidement possible à une qualité au moins proche de celle d'avant le désastre, relatives à la gouvernance, la subsistance, les abris, l'environnement et le social, y compris la réintégration des populations déplacées et la sécurité humaine
Risque	<p><u>Définitions littérales :</u>  PETIT LAROUSSE; 2009 ; <u>Risque:</u>  nom masculin. (italien <i>risco</i>, du latin populaire <i>resecum</i>, ce qui coupe)  • Possibilité, probabilité d'un fait, d'un événement considéré comme un mal ou un dommage : Les risques de guerre augmentent.  • Danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé : Courir le risque d'un échec. Un pilote qui prend trop de risques.  • Fait de s'engager dans une action qui pourrait apporter un avantage, mais qui comporte l'éventualité d'un danger : Avoir le goût du risque.  • Préjudice, sinistre éventuel que les compagnies d'assurance garantissent moyennant le paiement d'une prime.  Synthèse : "...Éventualité d'un événement ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage..."</p> <p><u>Définitions spécifiques. Risque:</u>  • Possibilité des dégâts susceptibles de se produire sur des éléments exposés, suivant leurs caractéristiques, situation, conditions et contexte spatio-temporel; les causes et les conséquences ne sont pas toujours prédictibles  • Probabilité combinée de ce que l'apparition d'une situation en espace et dans un temps spécifiques, soit suffisamment intense pour produire des dégâts dus : à l'intensité de l'événement et à la fragilité des éléments exposés: économie, vie humaine, environnement</p>
Risque acceptable	Niveau de perte qu'une société ou communauté considère acceptable compte tenu des conditions sociales, économiques, politiques, culturelles, techniques et environnementales existantes. En termes d'ingénierie, le risque acceptable est également utilisé pour évaluer des mesures structurelles et non structurelles appliquées pour ramener les dégâts potentiels à un niveau où le danger pour les personnes et les biens peut être réduit en utilisant les codes et/ou « pratiques acceptées » basées, entre autres, sur une estimation probabiliste et une estimation de la relation Bénéfice/Coût de ces mesures.
Subsistance	Les capacités, actifs (y compris des ressources tant matérielles que sociales) et activités nécessaires en tant que moyens de subsistance. Une subsistance est durable quand elle peut faire face et se relever des pressions et chocs, et garder ses capacités et actifs dans le présent et dans le futur, tout en ne minant pas la base des ressources naturelles ou les moyens financiers par lesquels une personne/famille vit. Cela inclut les moyens de s'entretenir ainsi que les ressources –les ressources disponibles à partir de la richesse ou des réserves– dont on peut tirer parti en cas de nécessité. Cela consiste en moyens de s'entretenir d'une famille ou d'un groupe, leur source de revenus, des ressources pour la survie –minimum (ou marginale) pour subsister– pour les facilités socialement acceptables nécessaires pour vivre « décemment ». Dans des situations post-conflit ou post-désastre, la restauration de l'emploi et le recouvrement de la subsistance sont des priorités du gouvernement dans le cadre du redressement d'urgence ; ils font donc partie de la réponse d'urgence en aidant les personnes affectées à dépendre moins de l'aide externe.
Subsistance (évaluation des moyens de...)	Des méthodologies pour évaluer l'impact d'une crise (post conflit ou post désastre) sur les moyens de subsistance, les opportunités de redressement et les capacités aux niveaux de la famille, de la communauté et de l'économie locale, avec une perspective de genre. Cela inclut la conversion des résultats d'évaluations en options de réponse stratégique (interventions aux niveaux de projets, programmes et politiques). Cela fait spécialement référence aux efforts déployés par la FAO et l'OIT avec le kit d'outils d'évaluation intégrale des moyens de subsistance.
Variabilité climatique	Ensemble de processus atmosphériques avec comportement cyclique et en relation avec la physiographie et l'hydrométéorologie ; il est possible de le décrire physique et mathématiquement. Il s'agit des aspects et paramètres régissant le climat, avec individualités et différences, et c'est ce que précisément est appelé <i>variabilité</i> climatique. Par exemple, les cyclones tropicaux (i.e. dépressions, tempêtes, ouragans), en tant que vortex de basse pression, varient chaque saison en intensité, nombre et trajectoire. Il n'y a pas, jusqu'à présent, aucune évidence hors de doute que l'homme en soit capable de l'influencer
Vulnérabilité	Probabilité de ce qui, en fonction de l'intensité lors de la matérialisation de la menace, il puisse se produire des dommages sur des biens, services et personnes, suivant leur degrés d'exposition et fragilité, et qui se manifeste sur la qualité de la vie humaine (morts, blessés, affectés, déplacés, trauma psychosocial), la valeur socioéconomique et l'impact sur l'environnement.