



Cartographie des zones à risques d'inondation en zone soudano-sahélienne : cas de Maga et ses environs dans la région de l'extrême-nord Cameroun

**Olivier LEUMBE LEUMBE^{1*}, Dieudonné BITOM², Lionnelle MAMDEM², Denis TIKI²
et Achille IBRAHIM²**

¹ *Chargé de Recherche à l'Institut National de Cartographie, Cameroun*

² *Faculté des Sciences de l'Université de Ngaoundéré, Cameroun*

* Correspondance, courriel : leumbeleumbe@yahoo.com

Résumé

Une étude des facteurs du milieu mis à contribution dans le processus d'inondation de la zone de Maga et ses environs a démontré que les conditions naturelles de ce milieu sont très favorables au processus d'inondation. En effet, sur le plan morphologique, la plaine du Logone est bordée de part et d'autre par des reliefs élevés qui empêchent l'écoulement des nombreux cours d'eau qui convergent donc dans la plaine. Sur le plan pédologique, la texture des sols est dominée par les sables et les argiles. Ainsi, le sol sableux favorisent une remontée rapide de la nappe phréatique tandis que les sols très argileux induisent une imperméabilisation de ces derniers ; d'où un ruissèlement intense. De plus, ces sols sont très pauvres en matières organique et l'essentiel des nutriments indispensables pour assurer une bonne production agricole est apportée par les inondations ; d'où la délicatesse de l'approche visant la réduction des effets de ce phénomène dommageable sur les populations. Sur le plan climatique, les précipitations sont relativement faibles, mais tombent très brutalement sur de très courtes périodes. Enfin, les pressions anthropiques sans cesse croissantes sur le milieu amplifient les conséquences des inondations sur les populations. La télédétection et les SIG ont été mis à contribution pour la cartographie des zones à risque d'inondation dans le site d'étude. C'est ainsi que 32,31% de la superficie totale de la zone de Maga et ses environs sont soumis à un risque fort d'inondation, 19,75% à un risque moyen et 47,94% à un risque faible. Les solutions efficace envisageables pour la prévention des risques dans la zone concernent l'aménagement de la digue de retenue d'eau de Maga et la lutte contre l'érosion des berges de cours d'eaux de la région de l'Extrême Nord du Cameroun.

Mots-clés : *risque d'inondation, région soudano-sahélienne, Maga, prévention des risques.*

Abstract

Mapping of flood risk areas in sudano-sahelian zone : Maga and surrounding area case in the far north region of Cameroon

A study of environmental factors of flooding in Maga area and its surroundings has shown that the natural conditions of this environment is very favorable to the flooding process. Indeed, morphologically, the plain of the Logone is lined on both sides by high reliefs that prevent the flow of many rivers thus converge on the plain. On the soil map, soil texture is dominated by sands and clays.

Thus, the sandy soil favor a rapid rise in the water table while the heavy clay soils induce waterproofing of the latter; where intense trickling. In addition, these soils are very poor in organic matter, and most of the nutrients essential for good agricultural production is provided by the floods, where the delicacy of the approach to reducing the effects of this damaging phenomenon populations. In terms of climate, rainfall is relatively low; but fall very sharply over very short periods. Finally, the ever-increasing human pressure on the environment amplify the impact of floods on the population. Remote sensing and GIS have been involved in the mapping of areas at risk of flooding on the site Thus, 32.31% of the total area of Maga area and its surroundings are subjected to a high risk of flooding, 19.75% medium risk and 47, 94% at low risk. The effective options for risk prevention in the area related to the layouts of the dam of retained water Maga and the fight against the erosion of the banks of rivers in the region of the Far North of Cameroon.

Keywords : *flood risk, sudano-sahelian region, Maga, risk prevention.*

1. Introduction

La Région de l'Extrême Nord Cameroun où les ressources en eau sont presque exclusivement tributaires des pluies qui assurent la recharge des nappes d'eau souterraine et le remplissage des lacs [1, 2] a été le théâtre au cours des mois d'aout et septembre 2012 de crues exceptionnelles du Logone et des nombreux cours d'eau saisonniers qui parcourent le site. Ces crues provoquées par les fortes précipitations enregistrées sur le bassin versant sur une très courte période ont entraîné des inondations dans l'ensemble de la Région. Ce processus est favorisé par la morphologie du bassin et la nature des sols très peu apte à gérer les quantités d'eaux qui tombent dans la plaine [3-9]. La zone de Maga et ses environs a été particulièrement touchée et les populations ont frôlé le pire avec la menace de rupture de la digue de retenue d'eau du lac Maga. C'est dans ce contexte que la présente étude est réalisée, avec pour objectif de cartographier à partir du couplage des données de télédétection et d'un système d'information géographique les zones à risque d'inondation de la zone de Maga et ses environs. Le but visé est de comprendre le processus à l'origine des inondations dans la Région de l'Extrême Nord du Cameroun afin de proposer des méthodes simples et adaptées pour une prévention efficace du phénomène. La télédétection et les SIG sont des outils particulièrement performants pour l'étude des risques naturels, en particulier la surveillance des phénomènes d'inondations [10-12]; car ils permettent d'identifier les zones affectées, d'hierarchiser le risque et contribuent à la mise en place de plans de préventions des risques [13-17]. La gestion optimale des inondations nécessite donc au préalable une bonne connaissance des causes du phénomène et une bonne cartographie de son extension [18].

2. Cadre naturel de l'étude

La localité de Maga est située dans la Région de l'Extrême Nord du Cameroun, département du Mayo-Danay. La zone d'étude couvre une superficie de 2000 km² et est comprise entre 10°32'57'' et 11°58'00'' de latitude Nord et entre 14°34' et 15°10'13'' de longitude Est (*Figure 1*).

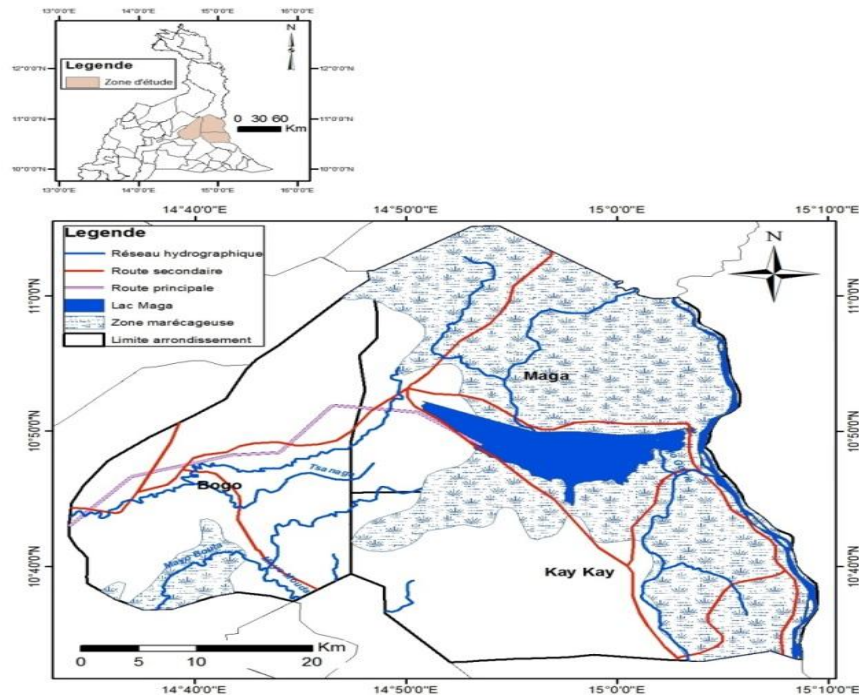


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le climat y est de type sahélo-soudanien, caractérisé par une longue saison sèche qui commence au début du mois d'octobre et se termine à la fin du mois d'avril, voire début mai et une courte saison de pluie, de juin à septembre marquée par des épisodes pluvieux violents. La pluviométrie varie entre 530 à 630 mm/an avec des maxima en août (250 mm) et septembre. La température moyenne est de 28°C ; les mois les plus chauds sont mars, avril et mai avec une valeur de maxima de 32°C. L'évapotranspiration annuelle est de 1800 mm. La morphologie est dominée par une plaine inondable qui fait partie d'une vaste unité géomorphologique que l'on retrouve également au Nigeria, au Niger et au Tchad [21]. La partie camerounaise de la plaine du Tchad n'est qu'une petite parcelle de l'immense bassin péritchadien dont l'altitude moyenne est de 280 m [20, 8, 9]. Les groupements floristiques sont constitués d'une savane arbustive (faiblement arborée), de steppes herbacées avec des *Graminées* (les *Poassées*) très marquées dans les plaines inondables et d'une végétation clairsemée dans les zones dégradées [22]. Sur le plan géologique, des alluvions récents et anciens de nature diverses occupent tout le secteur [20]. Sur le plan pédologique, on y retrouve des sols peu évolués, des vertisols, et des sols ferrugineux tropicaux, des sols hydromorphes et des sols halomorphes [20, 23]. Sur le plan humain, les peuplements sont composés de Massa, de Toupouri, de Musgum, de Mousey, de Peulhs, de Kanuri, de Kéra, etc. Les principales activités sont l'agriculture, l'élevage et la pêche. Cependant, ces populations occupent le lit majeur du Logone et du lac de Maga (très poissonneux) à la recherche des zones fertiles et propices à leurs activités [23].

3. Matériel et méthodes

Le risque est exprimé suivant la formule non mathématique $\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$. L'aléa est composé des éléments naturels du milieu qui lorsqu'ils sont réunis peuvent concourir au danger, et la vulnérabilité constitue l'ensemble des dégâts que peuvent subir l'homme aussi bien dans son intégrité physique que par rapport à ses biens.

Des données multi-sources ont été utilisées dans le cadre de ce travail. Pour l'aléa, il s'agit de la topographie, de l'hydrographie, des données sur les sols et de la pluviométrie. Le traitement des données SRTM sous le logiciel ArcGIS 10.1 a permis l'extraction des détails sur la morphologie du terrain. Des séries chronologiques de hauteurs de pluies journalière, mensuelle et annuelle de 1910 à 2000 provenant des pluviomètres situés sur la zone d'étude et sur les sites environnant a permis la spatialisation des précipitations. Le réseau hydrographique a été produit par numérisation manuelle de la carte topographique à l'échelle 1/200 000. Les données sur la nature des sols sont issues d'un échantillonnage serré réalisé sur le terrain, suivi des analyses physico-chimique en laboratoire. Quant à la vulnérabilité, elle est produite à partir du traitement d'une image Landsat ETM+ de résolution 30 x 30 m acquise sur le site la 05 janvier 2007. Le schéma global mis à contribution est le suivant (**Figure 2**) :

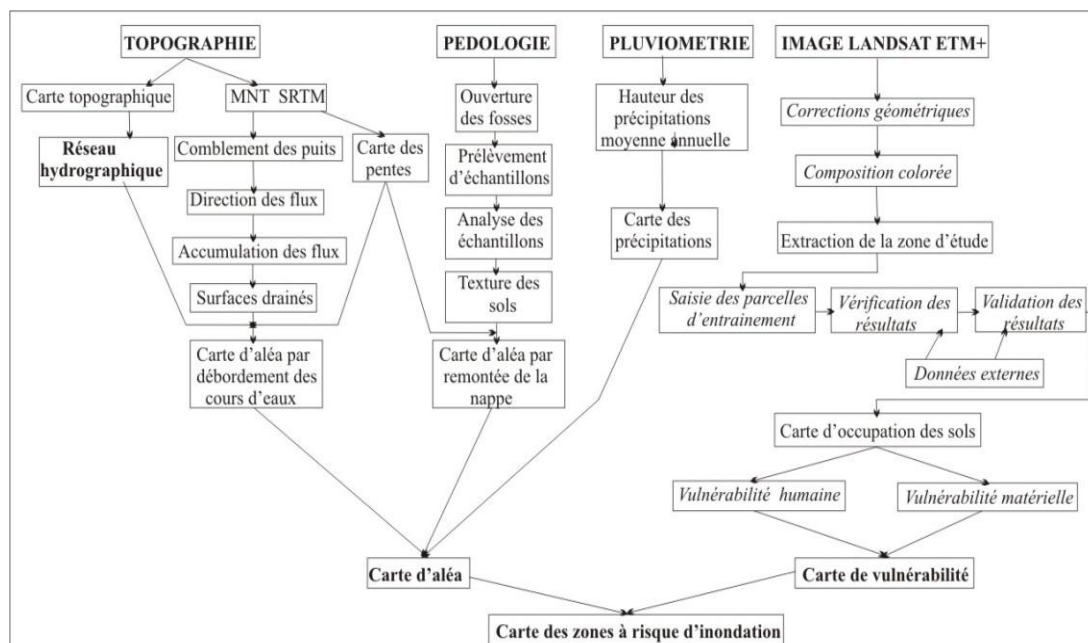


Figure 2 : Schéma méthodologique

4. Résultats

4-1. Facteurs du milieu responsables des inondations dans la zone de Maga et ses environs (carte d'aléa)

L'inondation naturelle d'un territoire donné se produit lorsque l'eau tellurique est en excès et ne peut plus être évacuée. Le processus d'inondation dans la zone de Maga et ses environs survient par débordement direct de cours d'eau, et par stagnation ou ruissellement des eaux pluviales dues à une capacité insuffisante d'infiltration et de drainage des sols lors de pluies exceptionnelles. Dans ce dernier cas, la nature des sols et leur distribution spatiale joue un rôle prépondérant [24, 25, 7] car, lorsque l'infiltration de l'eau dans un sol est durablement diminuée, le risque de ruissellement de surface est accru. En effet, dans la zone de Maga et ses environs, le ruissellement est important car les sols sont imperméables, la couverture végétale faible, la pente forte sur les rebords du bassin et très faible dans la plaine. Les sols deviennent alors très sensibles à l'érosion et d'importantes quantités de particules solides et organiques sont transférées dans les paysages par les inondations.

4-1-1. La morphologie de la zone d'étude

Elle est limitée à l'Ouest par les monts Mandara à la frontière avec le Nigéria. Ce massif qui culmine à 1494 m d'altitude est caractérisé par des versants raides et des incisions vigoureuses des rivières qui les compartimentent. Il s'agit donc d'une montagne qui s'élève en périphérie du massif, directement au-dessus des basses terres bordières (Figure 3).

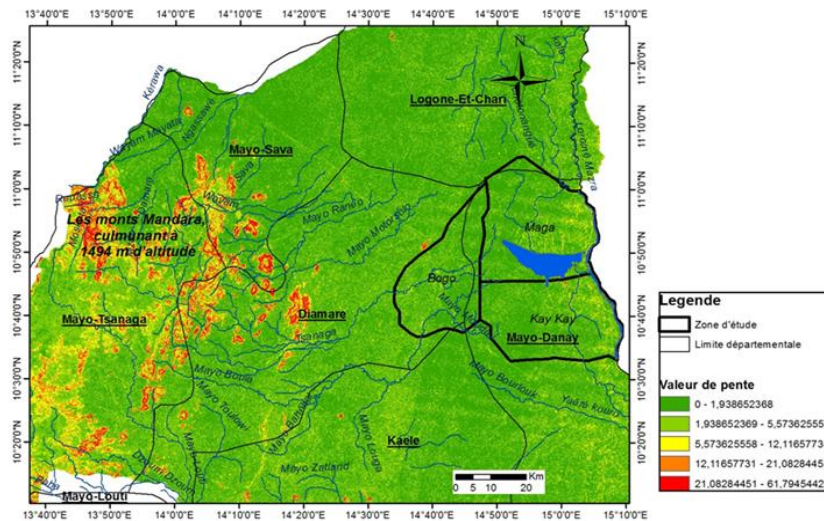


Figure 3 : Morphologie de la Région de l'Extrême Nord Cameroun

Les plaines qui s'étendent des pédiments ou glacis d'accumulation jusqu'au grand cordon dunaire Yagoua-Limani sont des secteurs d'ennoyages dans lesquels se succèdent glacis, terrasses et remblais, et des ergs ou placages de sables éoliens. Le cordon dunaire plus qu'il ne clôt réellement les plaines tchadiennes, a depuis son établissement gêné les écoulements descendus des Mandara et de la pédiplaine de Kaélé (Figure 3 et Figure 4).

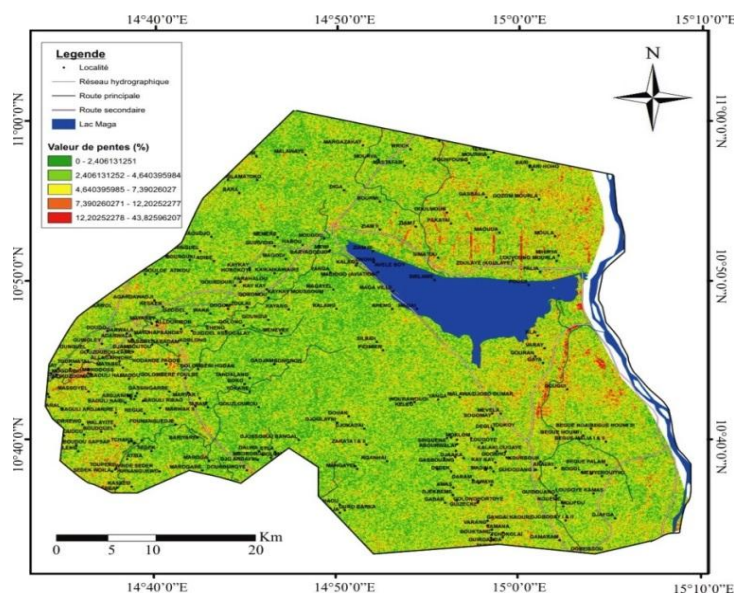
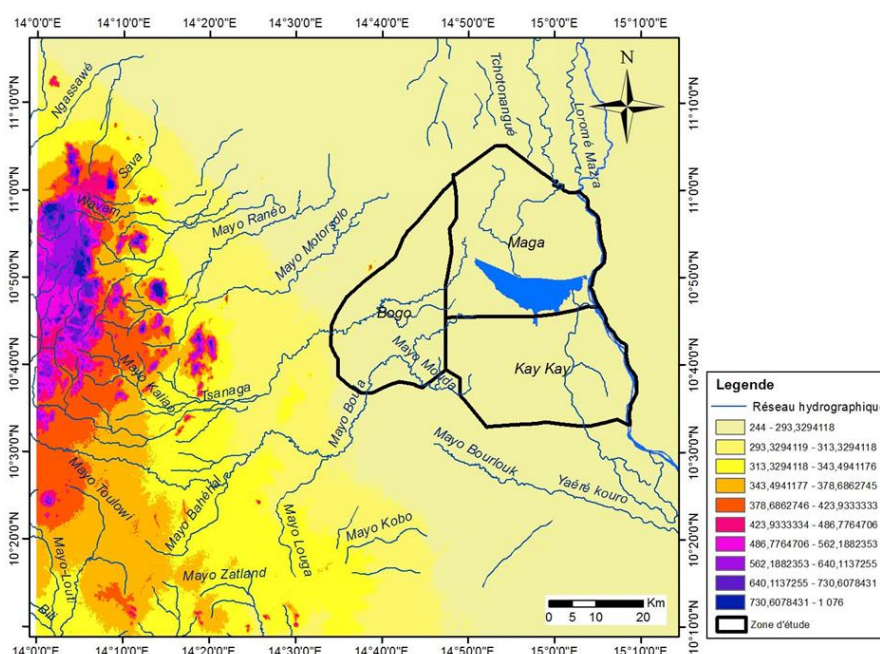


Figure 4 : Carte des pentes de la zone de Maga et ses environs

4-1-2. L'hydrographie

L'hydrographie des mayos (cours d'eau) issus des monts Mandara montre une organisation commune liée à leur caractère montagnard et torrentiel et à des conditions climatiques tropicales sèches. En zone montagneuse, les pentes sont très fortes et le ruissellement y est intense. Entre la zone montagneuse et la plaine de piémont proprement dite, les pentes sont plus douces (entre 2‰ et 4‰). Ce cours moyen constitue une première régulation des divers débits de crues provenant de la zone montagneuse. La dernière partie de ces cours d'eau se situe dans la plaine alluvionnaire. La pente est inférieure à 2‰ (Figure 5).



Des débordements sont fréquents et provoquent parfois des changements de cours. Les cours des plus petits mayos se dégradent dans la plaine après quelques centaines de mètres de parcours. D'autres butent sur le cordon dunaire et, sans pouvoir le franchir, inondent les dépressions amont pendant la saison des pluies.

4-1-3. Les précipitations

Il s'agit en effet d'une zone de transition entre les régions désertiques au nord et celles où règne un climat soudanien de plus en plus humide vers le sud. La totalité de la zone est soumise à un climat tropical au sens large, dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- une seule saison des pluies centrée sur un maximum au mois d'août, avec des totaux moyens annuels variant entre 400 à 1000 mm ;
- une saison sèche d'autant plus rigoureuse et longue (sept mois et plus) que l'on se dirige vers le nord et que l'on s'éloigne des monts Mandara (Figure 6 et Figure 7).

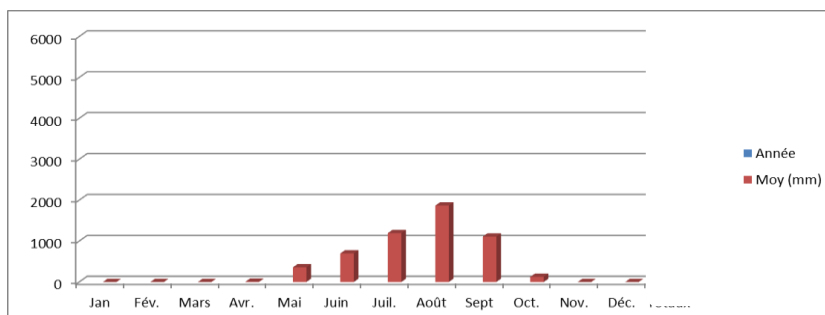


Figure 6 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la zone de Maga et ses environs

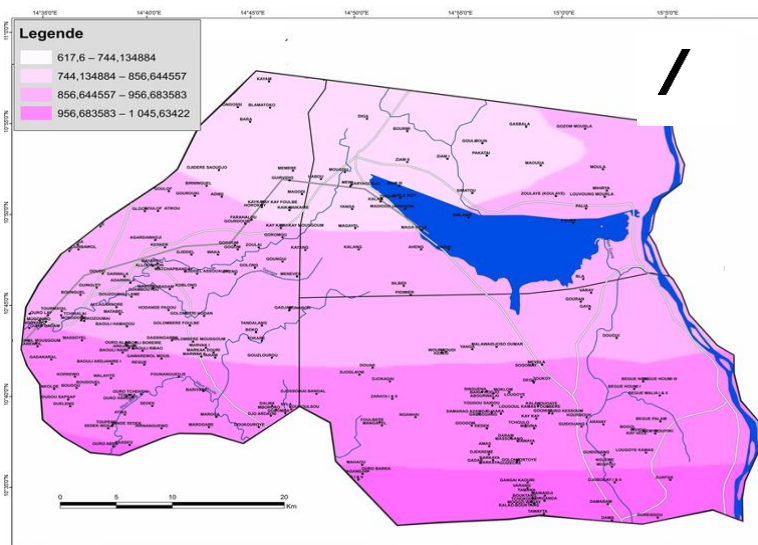


Figure 7 : Carte de répartition des précipitations de la zone de Maga et ses environs

4-1-4. La nature des sols

La fréquence, le volume et l'intensité relativement élevées des précipitations tombant sur les sols de Maga et ses environs favorisent le ruissellement dans la mesure où le sol est très rapidement saturé en eau.

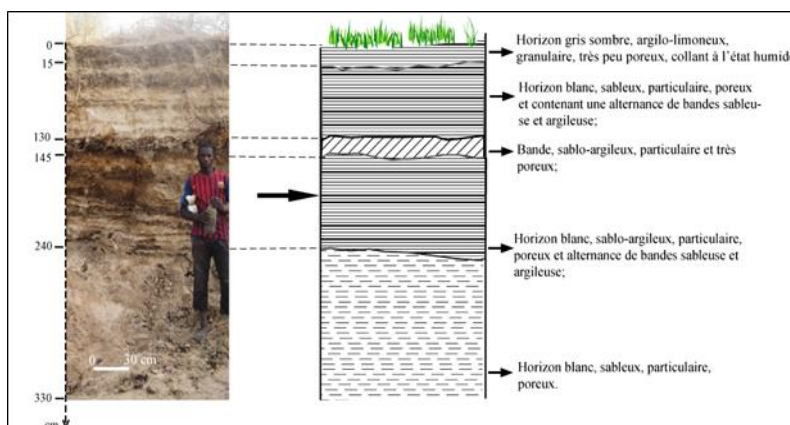


Figure 8a : Sol gris de la localité de Douak

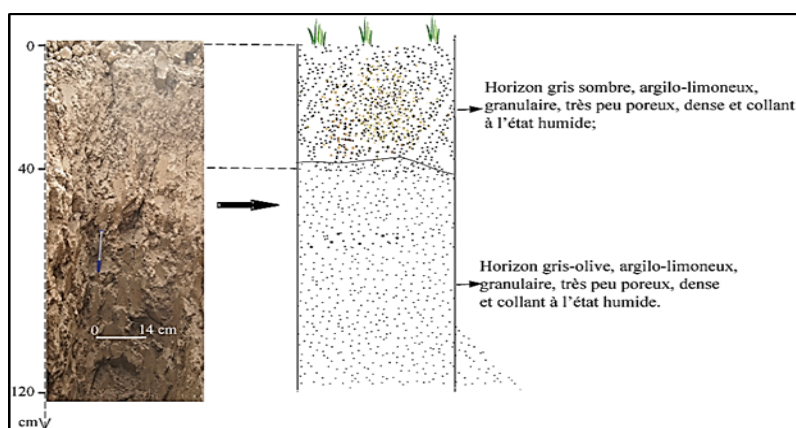


Figure 8b : Sol hydromorphe de la localité de Dawaya

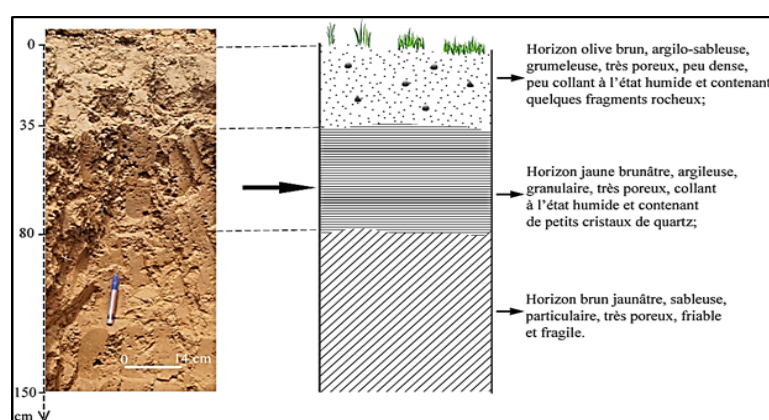


Figure 8c : Sol gris olive de Begué

Sur le plan morphologique, les sols sableux (*Figure 8a*) de la zone de Maga et ses environs sont situés à proximité des cours d'eau. Ils présentent une alternance de bandes humifères et de bandes sableuses, attestant d'une succession de périodes relativement peu inondée (favorable à la formation d'horizon pédologique), et de période très inondée (favorable à une accumulation de matériau sableux). Dans ces sols, la montée du niveau des eaux dans les cours d'eau à l'instar du Logone, se fait concomitamment à la montée du niveau de la nappe phréatique dans ces sols ; et lorsque les cours d'eau entre en crue, les sols environnants sont déjà saturés. Sur le plan physique, les sols hydromorphes (*Figure 8b*) et les vertisols (*Figure 8 c*) sont très argileux (*Tableau 1 et Figure 9*) et se saturent après les premières pluies ; dès lors, les excédents d'eau ne sont plus absorbés.

Tableau 1 : Caractérisation physique des sols de Maga et ses environs

Unités de sol	Puits	Horizons (cm)	Analyse granulométrique (%)			Hum (%)	Stabilité structurale		Acidité/alcalinité	
			A	L	S		DMP (mm)	Agrégats stables (%)	pHe	pHKCl
Sols gris	BR1	25-120	47,25	10,63	39,52	9,53	1,48	82,20	7,98	6,26
Sols brun grisâtre	PD1	0-35	21,25	36,84	39,76	2,04	0,81	85,44	8,58	6,26
		35-120	23,75	28,19	43,18	3,41			9,11	6,16
Sols gris olive	MG1	0-50	50,28	29,84	15,32	5,60	0,53	4,27	6,40	5,44
		65-150	35,25	47,65	12,63	7,30	0,68	22,45	8,47	6,29
Sols brun jaune	MNG1	0-30	21,05	31,26	46,04	2,25	0,28	18,72	7,27	5,24
		30-60	35,50	20,51	42,29	6,39	0,37	47,12	7,03	5,23
		60-160	25,00	21,31	51,18	3,73	0,33	23,89	7,45	6,45
Sols hydromorphes	BAL1	0-25	20,25	26,99	50,12	14,95	0,83	26,04	6,07	4,79
		25-120	38,35	37,24	22,40	13,25	0,36	38,04	7,37	5,83

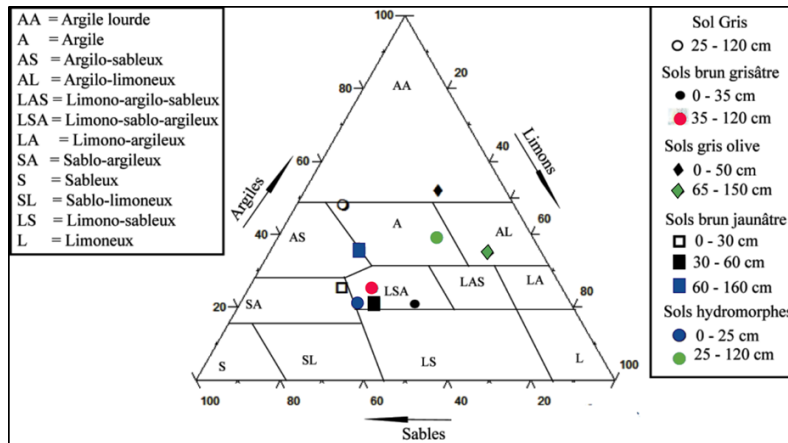


Figure 9 : Projection dans un abaque pour la détermination de la texture des sols

Sur le plan chimique, les sols de Maga et ses environs, présentent dans l'ensemble un taux de matière organique inférieure à 1% (Tableau 2); et un taux de calcium très élevé, qui imperméabilise d'avantage les sols.

Tableau 2 : Caractérisation chimique des sols de Maga et ses environs

Unités de sol	Puits	Horizons (cm)	Matière Organique				Bases échangeables (méq/kg)					T (cmol/kg)	S/T (%)
			Mot (%)	Cot (%)	Nt (%)	C/N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S		
Sols gris	BR1	25-120	0,49	0,28	0,29	9,79	0,99	0,44	0,0	0,0	1,55	32,42	7
Sols brun grisâtre	PD1	0-35	0,61	0,35	0,04		0,64	0,09	0,0	0,0	0,8	15,70	5
		35-120	0,51	0,29	0,55	5,38	0,06	0,05	0,0	0,6	0,84	19,24	4
Sols gris olive	MG1	0-50	0,91	0,53	0,80	6,63	1,49	0,22	0,0	0,0	1,83	26,30	7
		65-150	0,74	0,43	0,08		1,44	0,28	0,0	0,1	1,85	26,42	7
Sols brun jaune	MNG1	0-30	0	0	0,27		0,53	0,04	0,0	0,0	0,60	13,69	4
		30-60	0,83	0,48	0,61	7,90	0,83	0,09	0,0	0,0	1,01	17,20	6
		60-160	0	0	0,12		0,62	0,05	0,0	0,0	0,74	15,41	5
Sols hydromorphes	BAL1	0-25	0,71	0,41	0,04		0,90	0,15	0,0	0,0	1,24	34,75	4
		25-120	0,51	0,29	0,09	33,00	0,64	0,18	0,0	0,0	0,85	16,88	5

4-2. Carte d'aléa

La compilation des éléments du milieu naturel a permis la réalisation de la carte d'aléa de la zone de Maga et ses environs. Il en ressort que dans son ensemble la zone d'étude est naturellement sensible au risque d'inondation (Figure 10).

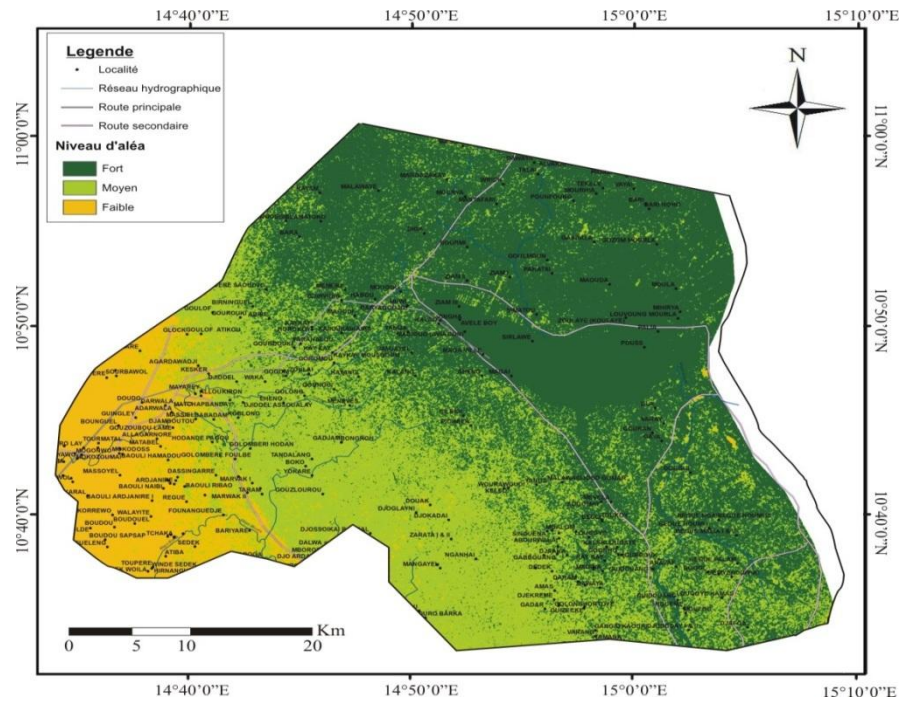


Figure 10 : Carte d'aléa aux inondations de la zone de Maga et ses environs

4-3. La vulnérabilité

Le changement d'usage des sols, des milieux agricoles ou forestiers vers des milieux urbains ou péri-urbains accentue l'imperméabilisation des sols et par conséquent du processus d'inondation. Cependant, la problématique de la gestion des inondations dans la zone est d'autant plus délicate qu'en l'absence d'inondation, la Région de l'Extrême-Nord est soumise au risque de famine. La vulnérabilité est déduite de la carte d'occupation des sols (Figure 11).

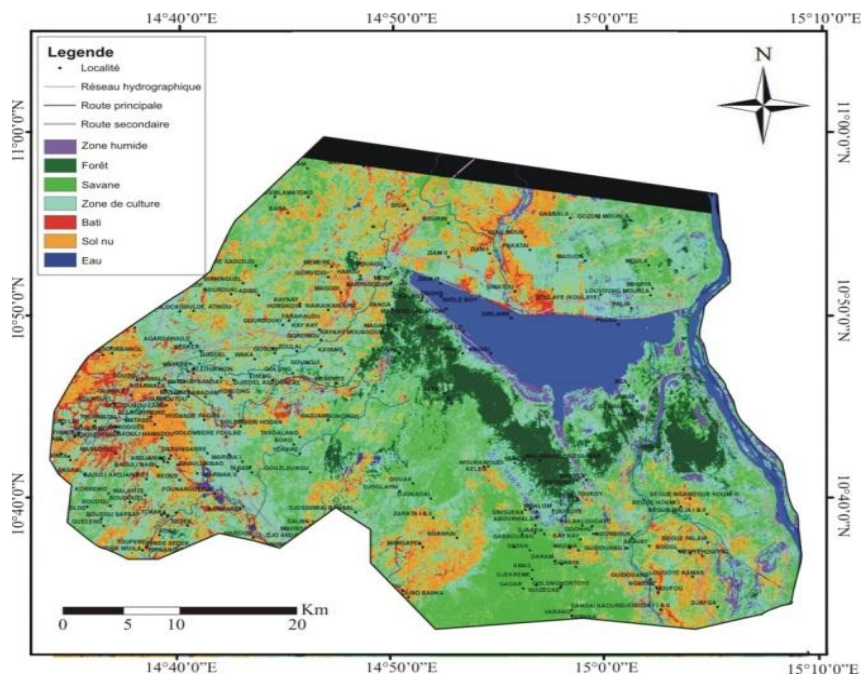


Figure 11 : Carte d'occupation des sols de la zone de Maga et ses environs

4-4. La carte des zones à risques d'inondation de Maga et ses environs

Les zones à risque fort d'inondation dans la zone de Maga et ses environs représentent environ 32,31% de la superficie totale de la zone d'étude. Les zones à risque moyen constituent 19,75% tandis que les zones à risque faible représentent 47,94% (**Figure 12**).

- Les zones à risques faible concernent les secteurs pour lesquels l'établissement humain usuel permanent est conseillable ;
- Les zones à risques moyen regroupent les secteurs où l'établissement humain permanent reste possible, mais des précautions spécifiques sont recommandées ;
- Les zones à risques fort délimitent les secteurs sur lesquels l'établissement humain permanent est déconseillé sauf si des précautions importantes sont prises.

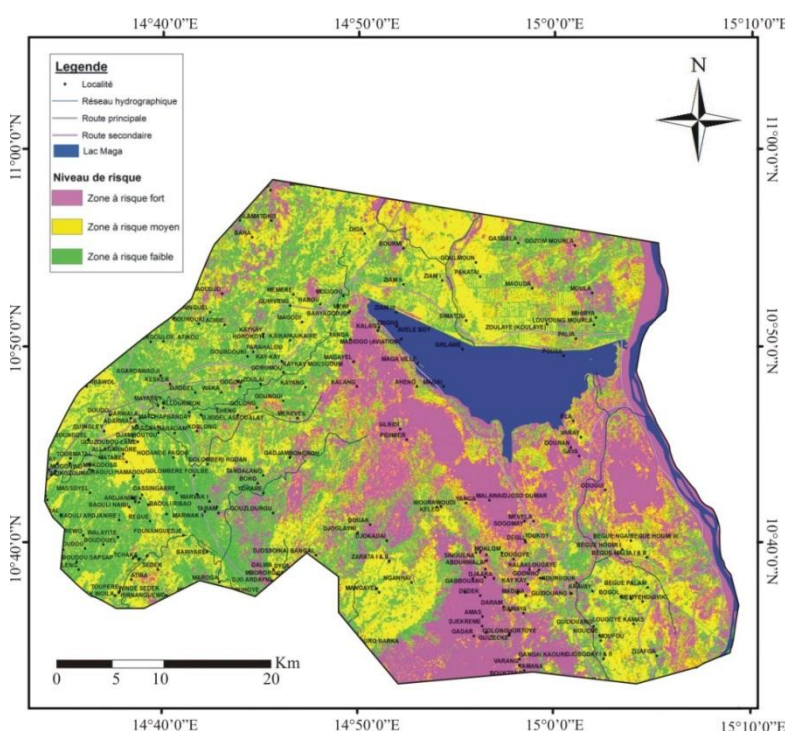


Figure 12 : *Carte des zones à risques d'inondation de Maga et ses environs*

5. Discussion

5-1. Les facteurs responsables des inondations dans la zone de Maga et ses environs par ordre d'importance relative décroissant

5-1-1. La nature des sols

Dans la localité de Maga et ses environs, les vertisols occupent près de 50 % de la surface étudiée et sont utilisés pour la riziculture et la culture du mil. Cependant, après la fermeture des fentes de dessiccation, ces sols sont rapidement inondés, car ils sont compacts et présentent des propriétés physiques le long du profil qui favorisent un intense ruissellement de surface.

Les études menées sur les vertisols formés dans les plaines inondables confirment leur caractère argileux avec la prédominance de particules fines [26, 20, 23, 4]. Par ailleurs, dans la zone d'étude, ils sont faiblement acides à basiques ($\text{pH} = 6,7$ à $7,9$) en profondeur, peu humifères avec une capacité d'échange cationique très élevée ($32,42$ méq/100g). Comparativement aux études menées au Niger [4], il ressort que ces sols présentent des teneurs en Ca et Mg élevées et une somme des bases échangeables élevée. Le taux des agrégats stables est également élevé le long du profil et montre que les agrégats sont bien stables et ne favorisent pas l'infiltration de l'eau dans le sol, d'où un intense ruissellement de surface et un régime d'humectation et de dessiccation lent. Comme de nombreux auteurs l'on remarqués, l'eau se concentre dans les horizons de surface parce-que l'horizon d'accumulation est très compact et à une très faible porosité [20, 27, 25, 7]. Les sols hydromorphes quant à eux occupent près de 20 % du secteur d'étude. Ils sont intensément pâturés en saison sèche et sont généralement utilisés pour la riziculture, la culture du maïs. Ces sols sont constamment inondés surtout ceux qui sont situés en bordure du Logone et dans les dépressions. Les sols hydromorphes formés sur les plaines inondables et dans les dépressions ont fait l'objet de plusieurs études [28, 20, 29, 30]. Ces dernières n'interceptent pas efficacement les précipitations qui tombent sur le sol et ne favorisent pas aussi l'infiltration de l'eau dans le sol [27, 30, 7].

Les profils présentent des horizons gris à brun jaunâtre sombre et brun sombre grisâtre avec des taches d'hydromorphies traduisant une inondation constante [28-30]. Ils sont peu poreux et compacts en profondeur, à texture argileuse à limono-sablo-argileuse et à structure grumeleuse en profondeur. Sur le plan analytique, ces sols basiques et très peu humifères montrent un taux d'humidité très élevé le long du profil, ce qui confirme la présence d'eau de manière temporaire ou permanente dans ces sols [28-30]. Leur texture est marquée par les minéraux sableux (51,47 %) en surface et une fraction argileuse qui atteint 39,13 % en profondeur. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus sur des sols au Niger [4], au Sénégal [29] et au Tchad [30]. Enfin, la faible stabilité structurale traduit une infiltration partielle de l'eau dans le sol à travers les fentes de dessiccation dans lesquelles pénètrent l'eau pluviale en début de saison pluvieuse [31, 32, 30, 25, 8, 9]. En somme, le sol peut stocker de l'eau en remplissant partiellement (présence d'air) ou totalement (absence d'air) sa porosité. Cette capacité de stockage dépend de la composition granulométrique des éléments solides du sol (texture) et du mode d'arrangement de ces éléments avec la matière organique (structure). Pour une masse de sol sec donné, le stock en eau d'un sol argileux et bien structuré sera plus élevé que celui d'un sol sableux et compact. L'eau non stockée s'écoule en profondeur (verticalement ou latéralement) pour alimenter les nappes souterraines.

La porosité d'un sol conditionne l'infiltration verticale de l'eau depuis les parties supérieures vers les parties inférieures. Tout ralentissement de l'infiltration entraînera une stagnation et une accumulation de l'eau dans la porosité. Si ce phénomène se produit dès la surface, l'eau ne pourra pas s'infiltrer et s'écoulera par ruissellement en suivant la pente topographique. Au-dessus d'une nappe phréatique plus ou moins mobile latéralement, l'eau qui s'infiltré depuis la surface remplit progressivement la porosité et sature le sol en remontant vers la surface. Enfin, l'alternance des processus de dessiccation et d'humectation d'un sol favorise la formation d'une couche superficielle plus ou moins indurée en fonction des caractéristiques microtopographiques. Le manque d'absorption de l'eau par les sols est une des principales causes de la genèse des inondations dans la zone de Maga et ses environs. Lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol, on parlera de ruissellement « hortonien ». En revanche, un sol, partiellement ou totalement saturée en eau par une nappe souterraine superficielle, génèrera du ruissellement « par saturation ». Ces deux cas sont combinés dans la zone d'étude et sont à l'origine des inondations catastrophiques qui y sont décrits

5-1-2. La pluviométrie

D'après les études antérieures menées dans les plaines inondables du grand Yaéré [33], les premières pluies saturent les sols argileux dès le mois de mai, qui en gonflant ferment les fentes de dessiccation et deviennent imperméables. A partir du mois d'août, les apports des mayos (rivières) (0,5 à 1 milliard de m³) provoquent les premiers écoulements sous forme de minces filets, suivant les fines dépressions dans la plaine. Aux mois de septembre et octobre, les débordements du Logone apportent la masse d'eau la plus importante (3 à 4 milliards de m³). Si les eaux de pluie sont abondantes, elles remplissent les marées et forment les premières inondations dans les bas-fonds. Puis il se crée une lame d'eau de 0,7 à 1,2 m qui couvrira la plaine durant trois à quatre mois. L'extrême pluie conduit à un apport important provenant des Mayo Tsanaga et Mayo Boula et des débordements du Logone conduisant à un écoulement maximum et pouvant entraîner de graves inondations. Par ailleurs, la persistance de la pluie favorise la saturation des horizons superficiels du sol ce qui augmente le coefficient de ruissellement [34].

5-1-3. La morphologie du bassin

Les facteurs topographiques agissent également sur le processus de ruissellement qui modifie la morphologie et les propriétés physico-chimiques de la surface de ces sols. En effet, la fréquence, le volume et l'intensité élevés, voire exceptionnels, des précipitations tombant sur les sols de la plaine durant une très courte période favorise le ruissellement dans la mesure où le sol est très rapidement saturé en eau ou bien l'est déjà. L'inclinaison de la pente des versants d'un bassin hydrographique favorise des débits importants. En effet, la plaine du Logone est limitée à l'Ouest par les monts Mandara à la frontière avec le Nigéria. Ce massif qui culmine à 1494 m d'altitude est caractérisé par des versants raides et des incisions vigoureuses des rivières qui les compartimentent. Il s'agit donc d'une montagne qui s'élève en périphérie, directement au-dessus des basses terres bordières. Cependant, une fois dans la plaine dont la pente moyenne est de 2‰, l'évacuation des eaux est bloquée par l'existence d'un cordon dunaire et les barres à l'aval clôt réellement la plaine et gênent les écoulements descendus des Mandara et de la pédiplaine de Kaélé.

5-1-4. L'hydrographie

Malgré la faible pluviométrie de l'ordre de 630 mm/an, ces sols, situés sur les plaines inondables (<310 m) en bordure du Logone et du lac de Maga, se trouvent exposés aux effets des apports des Monts Mandara et du débordement du Logone en cas de pluies extrêmes. La fonction de « Réservoir pour l'eau » présente des aspects statiques et dynamiques.

5-1-5. L'occupation des sols

Les précipitations ne sont pas interceptées efficacement à cause de la faible intensité du couvert végétal [27, 32, 7]. L'évolution des paysages associée au changement d'usage des sols a des incidences directes sur la genèse des inondations. La pression démographique transforme les sols par une exploitation des terres plus intensifiée.

6. Proposition de solutions pour la prévention des risques d'inondations dans la zone de maga et ses environs

En raison de la pauvreté des sols de la plaine en matière organique, l'essentiel des nutriments nécessaires pour assurer la production agricole dans la région de l'Extrême Nord est apportée par les eaux qui inondent la plaine ; d'où la complexité de la gestion des inondations dans la plaine du Logone. Donc il est primordial de déterminer le seuil d'inondation indispensable pour l'agriculture dans la plaine, de manière à n'agir que sur les excédents d'eaux, au risque d'induire une crise alimentaire dans la zone.

6-1. Entretien de la digue de Maga

Dans la localité de Maga, au sud-est de la plaine, une digue de 27 km de long, construite en 1979 retient dans une dépression les eaux du Mayo Tsanaga et du Mayo Boula essentiellement. Il s'agit de 6 000 000 m³ d'eaux qui devait être stockées en saison de pluies, à l'effet d'assurer l'irrigation des plantations de riz de la SEMRY en saison sèche. Quatre ouvrages de prise d'eau aménagés sur la digue servent à irriguer par gravité les périmètres rizicoles de la Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture dans la ville de Yagoua (SEMRY). Au stade de fonctionnement optimum de la rizière, les eaux devaient être vidées avant les apports de la prochaine saison de pluies. Cette digue de Maga peut être une solution durable, écologique et économique au problème d'inondation dans la plaine, à conditions d'assurer pleinement sa fonction d'irrigation et que les apports de sédiments qui comblent progressivement le lac soient maîtrisés.

6-2. Maîtrise de l'érosion des berges des cours d'eau

L'érosion des berges (*Photo 3*) est un phénomène résultant de l'action mécanique de l'eau qui arrache les particules de terre constitutives de la berge, entraînant sa dégradation et son recul. Les particules ainsi arrachées sont drainées et déposées dans le lac Maga, contribuant ainsi à son ensablement.



Photo 3 : *Erosion des berges des cours du Mayo-Boula*

Cependant pour envisager des solutions adaptées, il est indispensable de disposer de données topographiques fines, notamment pour la zone, une carte topographique à l'échelle 1/25 000 au moins. Mais dans l'attente de la mise à disposition de ces données sur le relief, un reboisement des berges des cours d'eaux est indiqué pour la maîtrise de cette érosion.

6-3. Construction d'ouvrage de protection

Pour être efficace, l'emplacement des ouvrages de protection devront être rigoureusement définis. En effet, de tels dispositifs doivent être implantés en harmonie parfaite avec la morphologie du paysage, à l'effet de limiter les contraintes subies, au risque d'exacerber le processus érosif et d'en accroître les conséquences. C'est le cas de cette digue mal positionnée qui va entraîner la rupture d'un pont (*Photo 4*).

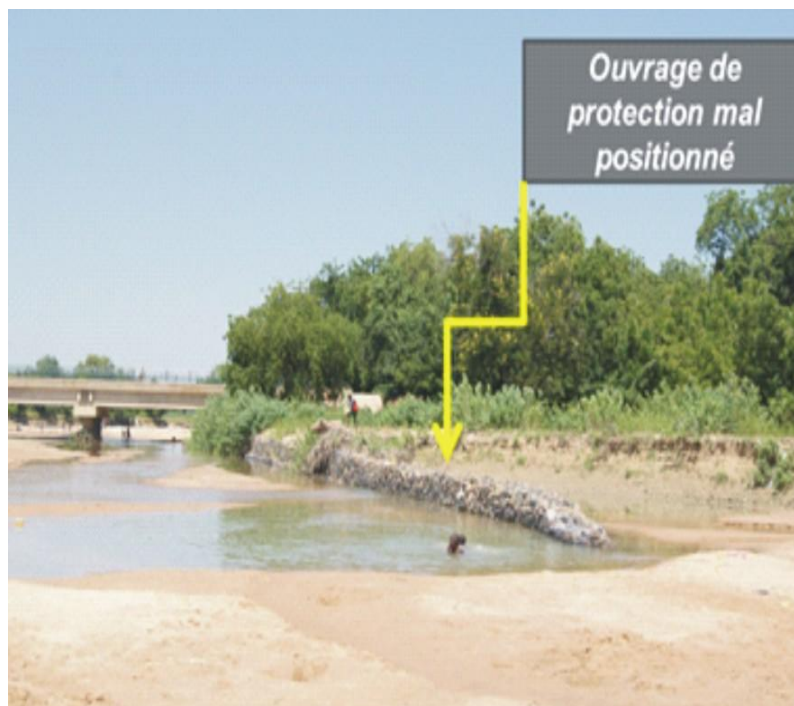


Photo 4 : *Ouvrage de protection dans la zone de Maga*

7. Conclusion

Dans la zone de Maga et ses environs, les conditions naturelles du milieu sont particulièrement propices au processus d'inondation. Ce milieu est d'autant plus sensible que les sols sont imperméables, la couverture végétale faible, la pente forte en amont (mont Mandara) du bassin versant et très faible (2‰) dans la plaine ; et les précipitations violentes et concentrées sur quatre mois seulement. Par ailleurs, le changement d'usage des sols dans ce milieu qui se traduit par la transformation des espaces naturels en milieux agricoles, urbains ou péri-urbains accentue davantage l'imperméabilisation des sols et par conséquent, accroît les conséquences liées au phénomène d'inondation. Une approche globale qui prend en compte tous les facteurs du milieu naturels et la vulnérabilité des populations concernées semble être la solution la plus efficace pour aboutir à une gestion durable de cet environnement à risque.

Références

- [1] - P. MILLEVILLE et G.SERPANTIE, Dynamiques agraires et problématique de l'intensification de l'agriculture en Afrique soudano-sahélienne. *C.R. Fr*, 80, n° 8 (1994), pp. 149-152.
- [2] - PANA, Rapport Programme d'Action National d'Adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (Burkina Faso) - Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie - Secrétariat Permanent du Conseil National pour l'Environnement et le Développement durable (2007), 84 p.
- [3] - P. BRABANT, M. GAVAUD, les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun (province du Nord et de l'Extrême-Nord). 46 cartes, ORSTOM-MESRES-IRA, Paris n° 103 (1985), 285 p.
- [4] - M. A. GARBA, Les grands types de sols du Niger. Quatorzième Réunion du Sous-Comité Ouest et Centre Africain de Corrélation des Sols — INRAN (2000), pp. 151-167.
- [5] - S. MORIN, Géomorphologie : Atlas de la province de l'Extrême Nord-Cameroun. éd. Seignobos C. et Iyebi-Mandjek O., IRD-MINREST, Paris (2000), pp.7-15.
- [6] - M. RAUNET, Quelques clés morphologiques pour le Nord Cameroun à l'usage des agronomes. Rapport projet ESA/SC. Cameroun (2003), 24 p.
- [7] - J. P. MONTOROI, Rôle des sols sur la genèse des inondations-Problèmes actuels de la protection contre les inondations. IRD (2012), 6p
- [8] - B. A. IBRAHIM, Etude morphologique, physico-chimique et cartographique des sols de Bogo (Extrême-Nord Cameroun). Mém. Master en Géosciences et Environnement. Univ. Ngaoundéré (2014), 63p.
- [9] - D. TIKI, Etude morphologique, physico-chimique et cartographique des sols de Maga (Extrême-Nord Cameroun). Mém. Master en Géosciences et Environnement. Univ. Ngaoundéré (2014), 71p.
- [10] - C. PUECH, Suivi des inondations en Afrique du Nord à l'aide de la télédétection satellitaire. In 9ème Conférence régionale Afro-asiatique de la CIID, Alger (1995), 7p.
- [11] - P. MAUREL, D. RACLOT, C. PUECH, Apports de la télédétection à très haute résolution spatiale à l'étude du risque d'inondation, Actes du Colloque SIRNAT, Sophia-Antipolis (2001).
- [12] - F. BONN and R. DIXON, monitoring flood extent and forecasting excess runoff riskwith Radarsat-1 data. *Natural Hazards*, vol 35 (2005), pp. 377-393.
- [13] - L. MARINELLI, R. MICHEL, A. BEAUDOIN, Flood mapping using ERS tandem coherence image : a case study in southern France, *Proceedings of the third ERS Symposium, ESA SP-414, Vol. 1* (1997), pp. 531-536.
- [14] - I. SANDHOLT et F. BJARNE, Flood monitoring in the Senegal river valley: first results based on SAR PRI data. ERS-ENVISAT Symposium "Looking down the Earth in the New Millenium". Gothenburg, Sweden 16-20 October 2000.
- [15] - H. YESOU et P. CHASTAN, Contribution des données d'observation de la Terre à la gestion des crues lentes, Rapport Final WP3, Programme Eau et Feu, ESA (2000), 35p.
- [16] - C. PUECH et D. RACLOT, Using geographical information systems and aerial photographs to determine water levels during floods, *Hydrological Processes*, Vol. 16 (8) (2002), pp 1593-1602.
- [17] - G. FLOUZAT, C. PUECH et D. DARTUS, Les observations par satellite pour l'analyse et le suivi du fonctionnement des hydro-systèmes, *Bulletin de la SFPT*, n° 172 (2003), pp. 3-10.
- [18] - S. WADE, J. P. RUDANT, K. BA et B. NDOYE, Télédétection et gestion des catastrophes naturelles : applications à l'étude des inondations urbaines de saint louis et du ravinement lié à l'érosion hydrique à niouro-du-rip (Sénégal), *Revue Télédétection*, vol. 8, n° 3 (2008), p. 203-210.
- [19] - J. B SUCHEL, Les climats du Cameroun. Thèse Doct. d'État. Univ. St-Étienne, vol 4 (1987), 1188 p.
- [20] - J. BARBERY, M. GAVAUD, Notice explicative de la Carte Pédologique du Cameroun. ORSTOM-IRAF-ONAREST (1980), Paris n° 88, 58 p.

- [21] - D. SIGHOMNOU, Gestion intégrée des eaux de crues - Cas de la plaine d'inondation du fleuve Logone. WMO-GWP (2003), 18 p.
- [22] - P. MILLEVILLE et G.SERPANTIE, Dynamiques agraires et problématique de l'intensification de l'agriculture en Afrique soudano-sahélienne. C.R. Fr, 80, n° 8 (1994), pp. 149-152.
- [23] - C. SEIGNOBOS et H. K. MOUKOURI, Potentialités des sols et terroirs agricoles: Atlas de la Province de l'Extrême-Nord Cameroun (2000), pp-3.
- [24] - N. SAKISS, N. ENNABLI, M. SLIMANI, Les inondations du 21/22/23 et 24 janvier 1991 dans le Centre et le Sud de la Tunisie, INM. Ministère de l'agriculture, Tunis (1990), pp. 16-23.
- [25] - A. IHIRWE, P. LE GALLO, L. JANSEN, L. POTHIER, Nature des sols et sous-sols des bords de Loire ou les risques d'inondation à Orléans liés à la constitution des sols (2010), pp. 1-2.
- [26] - P. DUCHAUFOUR, Pédogenèse et classification des sols. Masson, Paris-New York-Barcelone-Milan, (1977), 492 p.
- [27] - S. DAVID, L. SAVOUYAUD, Cartographie hydrogéomorphologique des zones inondables en région Paca. Ingénierie Pour l'Eau sol et Environnement (Ipseau). Etude N° 03-113-13 SD- ver (2004), 42 p.
- [28] - CPCS, Classification des sols. Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, AFES (1967), 96 p.
- [29] - K. MAMADOU, Les grands types de sols du Sénégal. Quatorzième réunion du Sous-Comité Ouest et Centre Africain de Corrélation des Sols. ISRA-CNRA, Bambey (2000), pp. 77-94.
- [30] - J. F. VIZIER, Les phénomènes d'hydromorphie en régions tropicales à saisons contrastées - Application à une meilleure caractérisation des concepts de gley et de pseudogley - Association Française pour l'Etude du Sol (2010), pp. 225-238.
- [31] - R. S. MURRAY, C. D. GRANT, The impact of irrigation on soil structure. School of Earth & Environmental Sciences. The University of Adelaide (2007), 33 p.
- [32] - R. ARMAND, étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. Thèse de Doct Univ de Strasbourg (2009). 197 p.
- [33] - G. LIENOU, F. DELCLAUX et P. NOUPA, La plaine du lac Tchad dans L'Extrême-Nord Cameroun : de la sécheresse et des processus d'adaptation des populations à la restauration des inondations. 6^{ème} Edition, Journées Scientifiques du 2IE (2011), pp. 1-2.