

Évolution des berges du fleuve Chari de Mandjaffa à Milezi (1970- 2008) à N'Djamena

Development of the Chari River Bank from Mandjaffa to Milezi (1970-2008) at N'Djamena

DOUDJE KERTEMAR, TCHINDJANG MESMIN & MOUPENG BEDJAOUÉ

Abstract : The Chari River banks at N'Djamena lay on the land sandy - clay of Holocene. It presents from upstream and downstream of Milezi alluvial plain oversized (500 - 1500 m wide) in which the Chari current develops an unsuited system of mobile meandering. This paper focuses on the geomorphic adjustments of this river banks system belonging to a low energy environment. It is seen as a response of the stream to the spatio-temporal variations of water and sediment discharges and / or a significant change in a component of its internal geometry. The changes in these independent and dependent variables of the riverbed are induced by intrinsic factors (evolutionary process inherent in water) and / or extrinsic (climate change, anthropogenic interventions direct and indirect).

Before understanding the modes and rates of change in these banks, we firstly try to clarify the influence of the geomorphological framework and liquid flow rates on the physical structure and the functioning of this fluvial hydro-system. Thereafter, one will considered geomorphological changes in two aspects: the morpho-sedimentary dynamics related to seasonal variations in flows, and, finally, the effects of human activities on the evolution of the Chari banks.

The study of Holocene fluvial dynamics shows that the morphological structure of the current floodplain was definitively acquired in the Quaternary with the establishment of a coating sandy – clay with an average of 1.5 to 2 m thick. Geomorphological modifications induced by flows characteristics are associated with important solid sediment transportation on the river bed. These results are complementary to the previous work extended to the entire Chad basin.

Key words : Chari, Erosion, Flow, Hydro-system, N'Djamena

Résumé : Les berges du fleuve Chari à N'Djamena sont inscrites dans des terrains sablo – argileux de l'Holocène récent. D'amont en aval de Milezi, une plaine alluviale surdimensionnée (500 – 1500 m de largeur) accueille le fleuve Chari qui y développe un système de méandres mobiles peu adaptés. Cette contribution va s'atteler à analyser les ajustements géomorphologiques des berges de cet hydro-système appartenant à un milieu de faible énergie. Ces ajustements sont considérés comme une réponse du cours d'eau aux variations spatio-temporelles des débits liquides et solides et / ou à une modification notable d'une des composantes de sa géométrie interne (profil en long et en travers, tracé en plan). Les changements subis par ces différentes variables indépendantes et dépendantes du lit fluvial sont induits par des facteurs intrinsèques (processus d'évolution inhérent au cours d'eau) et / ou extrinsèques (changements climatiques, interventions anthropiques directes et indirectes).

Avant d'appréhender les modes et les rythmes d'évolution des berges, on précisera, dans un premier temps, l'influence du cadre géomorphologique et des débits liquides sur la structure physique ainsi que sur le fonctionnement de cet hydro-système fluvial. Par la suite, seront examinés les changements géomorphologiques sous deux angles : l'évolution morpho- sédimentaire liée aux variations saisonnières des débits et enfin, les effets des activités anthropiques sur l'évolution des berges du Chari.

L'étude de la dynamique fluviale holocène montre que la structure morphologique actuelle de la plaine alluviale a été définitivement acquise au Quaternaire avec la mise en place, d'un revêtement sablo-argileux épais en moyenne de 1,5 à 2 m.

Mots clés : Chari, Ecoulement, Erosion, Hydro-système, N'Djamena

Doudje Kertemar, doctorant, Université de Yaoundé I, doudjekjeanbap1@yahoo.fr

Tchindjang Mesmin, Université de Yaoundé I, mtchind@yahoo.fr

Moupeng Bedjaoué, Université de N'Djamena m_bedjaoue@yahoo.fr

INTRODUCTION

Le lac Tchad est un grand lac d'eau douce situé dans le Sahel, à l'intersection des frontières du Tchad, du Niger, du Nigeria et du Cameroun. Le Quaternaire du bassin du lac Tchad est caractérisé par des crises climatiques épisodiques qui se traduisent par une alternance de phases pluviales et de phases sèches mettant en évidence des processus d'érosion, de transport et de sédimentation dans le bassin. Plusieurs études sur les paléoclimats et les formations sédimentaires ont été réalisées dans le bassin du lac Tchad. Ainsi en est-il des travaux de PIAS (1970), SERVANT (1973), MALEY (1980) et SCHNEIDER (1989) qui montrent que les sédiments sont essentiellement continentaux et leur genèse est liée aux modifications climatiques quaternaires. La présente étude a pour but d'examiner les berges du fleuve Chari entre Mandjaffa et Milezi en amont et en aval de la confluence des fleuves Chari et Logone à N'Djamena (fig.1). C'est dans cette section des berges du fleuve que se sont produites les inondations en 1967 et 2012 (fig. 1).

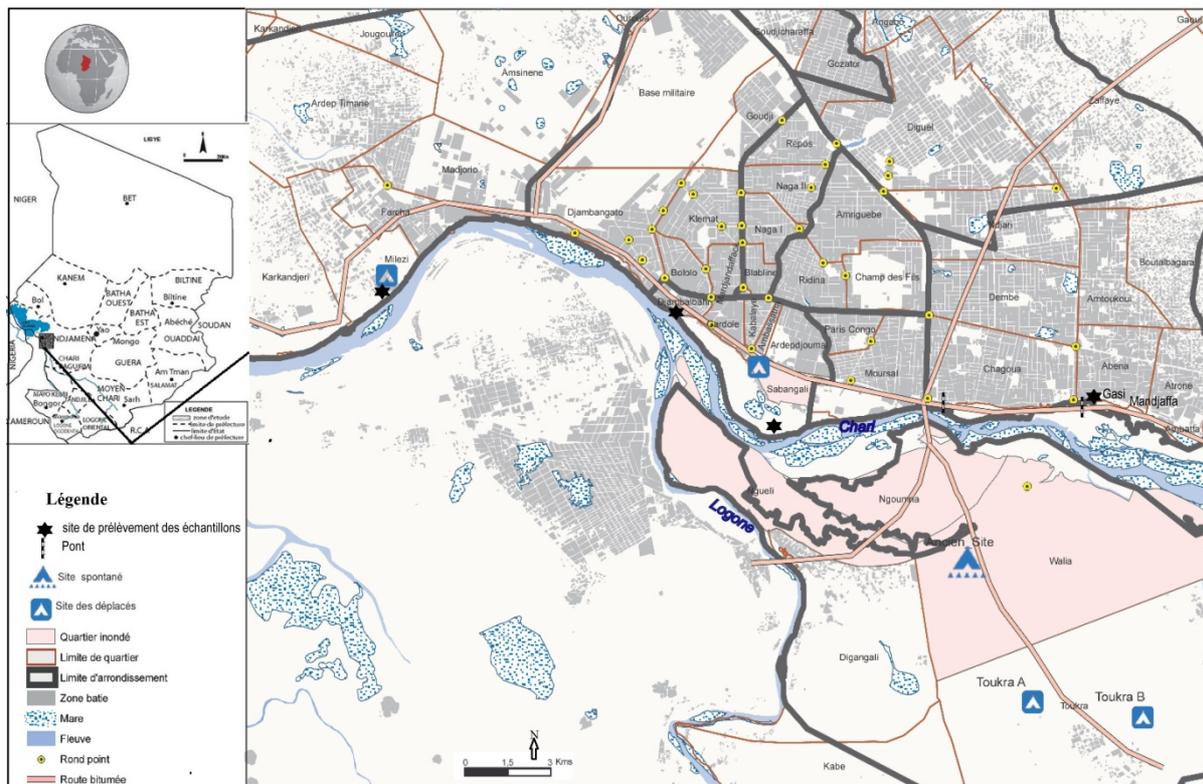


Figure 1 : Zone étudiée (sources : CNAR, 2004 ; UP, RGPH, UNOCHA 2012 ; modifié).

Cet article se consacre aussi à l'étude des formations sédimentaires du Quaternaire récent de la région de N'Djamena. Il vise à comprendre localement ces formations dans leur nature lithologique, leur organisation dans les horizons superficiels. Pour y parvenir, des observations de terrasses ont été effectuées sur les berges du Chari et à l'intérieur de la plaine alluviale. Lesdites observations ont été complétées par des données issues des études antérieures référencées dans ce texte. La pratique de terrain a permis de confirmer les informations relevées sur les documents photographiques et satellitaires. Cet article s'organise autour de deux principaux aspects : les facteurs réels des dynamiques actuelles du paysage morphologique du Chari, leurs influences sur le manteau d'altérites et celles des activités anthropiques.

LES BERGES HOLOCENES DU CHARI ET LES FACTEURS D'EROSION

Lithologie des berges

Les berges de la terrasse holocène ont fait l'objet de nombreuses investigations (BCEOM, 1964 et 1977; HAECON, 1988 ; MOUPENG, 1996 et MARABE, 1997). Nos observations se résument en quatre grands aspects complémentaires. Dans un premier temps, les berges du Chari sont constituées de matériaux détritiques de texture variée allant des argiles aux sables et limons et s'organisant en strates. On observe une association de ces matériaux dans des proportions variées (fig. 2).

Ensuite, les séries sableuses sont hétérogènes et vont des sables fins de faciès fluviale aux sables éolisés. Les échantillons prélevés dans des coupes montrent à l'analyse binoculaire que des grains éolisés et peu éolisés s'observent aussi bien dans les couches inférieures que supérieures. Selon WAKPONOU (1995), les sables éolisés transportés par les vents d'Harmattan et les alizés proviendraient des placages sableux du Chari - Baguirmi septentrional remodelés depuis des ergs anciens datés du Kanémien (terme créé par SERVANT -1973- pour désigner une époque s'étendant de 20000 à 12 000 et regroupant toutes les phases d'ensablement dont témoignent les sables éoliens localement façonnés en dunes fossiles et auxquels se rattachent les dunes et ergs du Kanem au Tchad). Les couches de sable fin se distinguent quelquefois par la présence de concrétions argileuses de dimension millimétrique à centimétrique. Elles se présentent parfois sous forme compacte. Par endroits, la strate sableuse apparaît plus ou moins rubéfiée. Toutefois, dans certaines sections des berges du Chari, la couche inférieure est constituée essentiellement d'une série sableuse d'épaisseur dépassant 1m. Il s'agit le plus souvent, de sables fluviaux moyen à grossier (fig. 2). L'examen à la loupe montre aussi que le sable grossier est subanguleux.

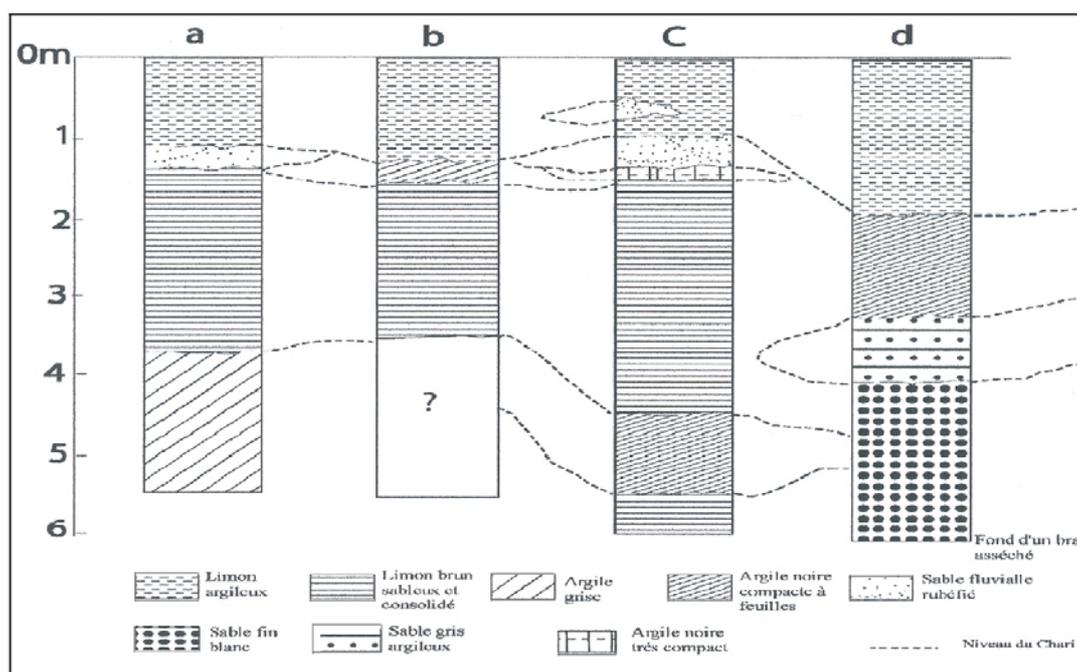


Figure 2 : Profil de terrasses à N'Djamena (Source : MOUPENG, 1996)

En association avec du sable, les argiles de cette figure présentent des épaisseurs importantes allant de 46 cm à 1,5m. De faciès noir ou gris, on les rencontre au niveau inférieur et elles constituent la couche dure de la berge et par conséquent plus résistante à l'érosion différentielle. Ce sont des smectites qui portent généralement de nombreuses tâches ocre. En saison sèche, elles présentent après dessiccation, une structure polyédrique.

En outre, les couches supérieures des berges sont généralement composées d'un ensemble argilo-limoneux ou sablo-limoneux reposant le plus souvent sur des argiles noires compactes ou de sables fins blancs (fig. 2 et 3). La ligne de base de la strate argilo - limoneuse fait penser parfois à la

section d'un chenal latéral comblé par des dépôts colluviaux ou lacustres (MOUPENG, 1996). Enfin, la proximité de ces berges du périmètre urbain de N'Djaména, oblige les populations luttant contre les inondations à renforcer les bourrelets de rives du Chari par des remblais de matériaux hétérogènes reconnaissables par la présence de débris d'objets divers (fig. 3).

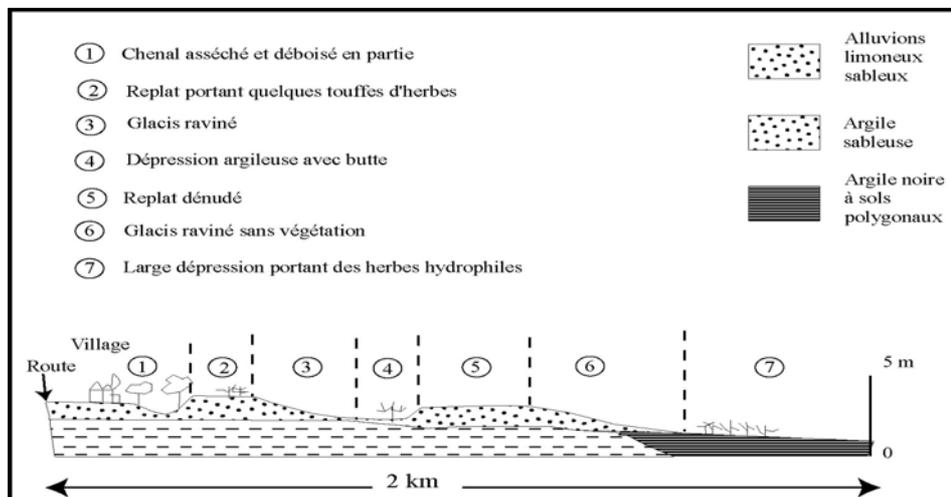


Figure 3 : Coupe holocène des berges du Chari (Source : MOUPENG, 1996 et DOUDJE, 2008)

Les facteurs d'érosion

L'érosion des berges du Chari résulte d'une action combinée des facteurs liés à l'hétérogénéité lithologique caractérisant les berges des différentes terrasses et aux mouvements de l'eau (cycles crue et décrue et action d'infiltration). Le recul de la berge à la suite d'écroulement se fait en 2 étapes. Dans un premier temps, le niveau inférieur sous l'action des battances (vagues) se détache par paquets ; puis, suit la couche supérieure qui s'éboule par pans entiers (photo 1). L'effet d'une telle érosion semble être un glissement de la berge vers le chenal. La forme de la berge et la pente dépendent de l'importance de ce double mouvement et de la nature lithologique des matériaux constituant celle-ci.

L'évolution des berges du Chari se fait ainsi par écroulement des pans de la partie supérieure qui, sous l'effet de la gravité se détachent et sont entraînés vers le fond du chenal emportant arbres, murs, et maisons (photos 2 et 3). L'érosion des berges du Chari constitue depuis plusieurs années, un sujet de préoccupation des responsables de la commune de N'Djaména. Certains équipements urbains (bâtiments, usines et routes) en bordure du fleuve sont menacés par l'érosion et le recul des berges. On estime ce recul de 1 à 2 m par an (BCEOM, 1977 et DOUDJE, 2008).

L'ampleur de l'érosion est inégale, les tronçons les plus touchés étant ceux allant de Chagoua à Mandjaffa (photo 3) et ceux de Milezi (figure 1).

Les facteurs décrits ci-dessus sont complétés par une analyse de la dynamique actuelle desdites berges du Chari à travers l'interprétation de photographies aériennes et de l'imagerie satellitaire LANDSAT.

ESSAI D'EXPLICATION DE LA MOBILITE DES BERGES DU CHARI

Explication par interprétation des photographies aériennes

Nous avons utilisé des photos aériennes et des images satellites pour essayer de suivre l'évolution des berges du Chari à N'Djaména. Les photographies aériennes ayant servi à l'interprétation sont celles de 1959-60, Mission AE 100 / 100 (photos N° 001-022, échelle 1/10 000) ; et celles de 1974, Mission TCH 8 / 200 IR UAG 455 (photos N° 65...142, échelle 1/20 000). Les images satellites sont SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) du 05 avril 2010 (90m de résolution spatiale) et Google Earth de 2008. Pour valider les informations fournies par les différentes images, nous avons couplé la mosaïque des photographies aériennes avec les images satellites précitées afin de comparer et observer l'état actuel des berges du Chari (Fig.4).

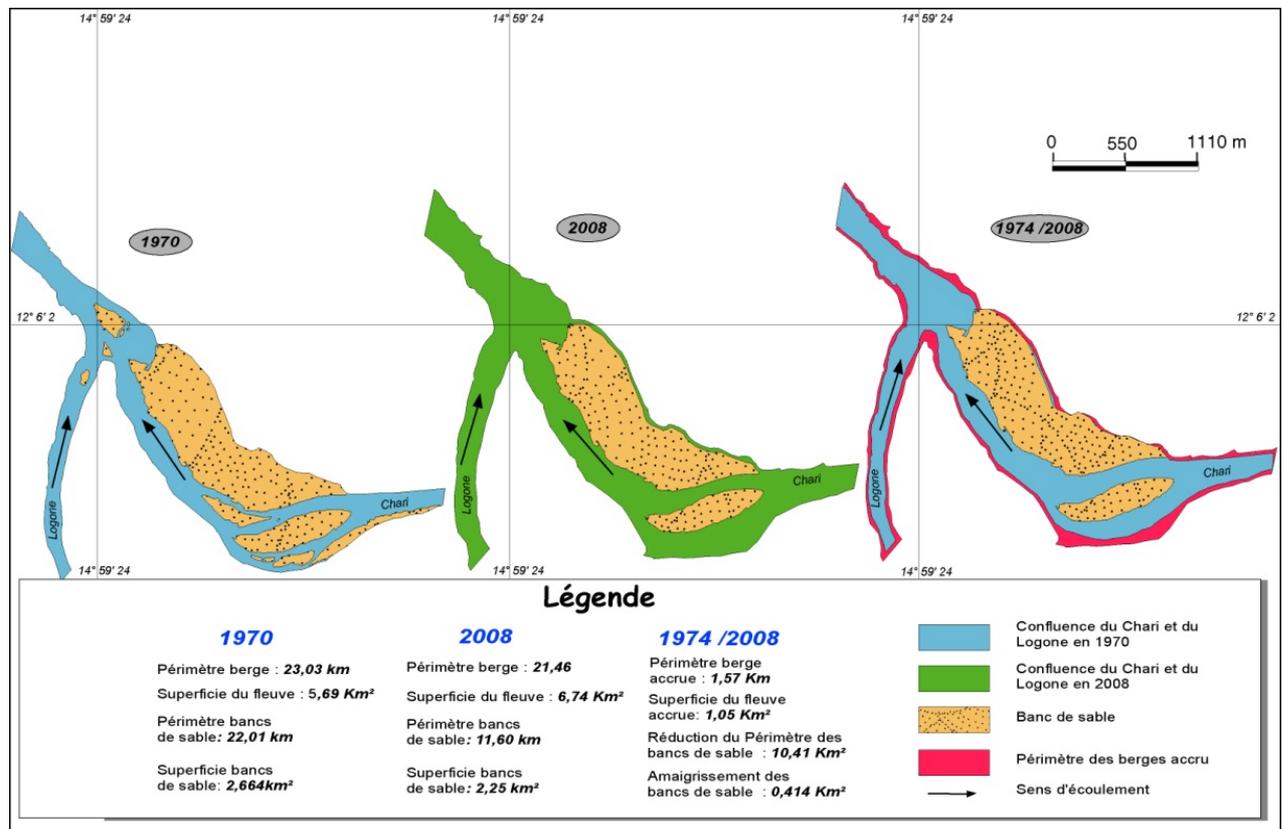


Photo 1 : L'écroulement de surface ravine la partie supérieure (→) de la terrasse ; de larges ravines apparaissent alors, entaillant latéralement et profondément la berge ; cet écroulement provoque le déracinement des arbres et arbustes (Source :DOUDJE, juillet 2006)

Photo 2 : Strates argilo - sableuses (au dessus) (→) menacées d'écroulement par le creusement de la couche de sable fin sous-jacente / Abattoir Farcha (source : DOUDJE, juillet 2006)

Photo 3 : Recul des berges (→) sur la route de Mandjaffa. Ce recul affecte dangereusement cette voie de communication qui relie Ligna à N'Djamena via Mandjaffa et Gassi (source: DOUDJE, juillet 2006)

L'observation stéréoscopique des différentes photographies aériennes ne laisse pas apparaître le recul que subissent les berges. Le processus d'érosion des berges, bien qu'il soit important, se situe à une échelle réduite (1 m / an) ne permettant pas aux prises de vue de le restituer avec précision. Par contre, le processus observable sur les photographies aériennes est la construction de bancs de sables sur les différentes rives convexes. Certains de ces bancs évolueraient en basses terrasses permettant d'émettre une hypothèse quant au processus de leur mise en place et de leur disposition originale: les unes séparées des autres par des anciens chenaux.



Source : Photographies aériennes de 1970, Images Satellites Google Earth 2008.

Figure 4 : Dynamique actuelle des berges holocènes du fleuve Chari

L'examen des photographies aériennes de 1959-60 et de 1974, notamment, celles couvrant les secteurs de Chagoua, de Moursal et de Sabangali, sur la rive droite, ainsi que de Walia sur la rive gauche (figure 1), fournit des informations intéressantes. Sur les photos de 1974, on observe dans les secteurs précités, un banc de sable d'une superficie de 3ha s'allongeant en îlot à l'intérieur du chenal d'écoulement du Chari. Construit probablement entre les années 60 et 70, ce banc semble être au stade d'alluvionnement (car, le banc n'apparaît pas sur la photo de 1959-60). Toutefois, sur la photo de 2008, le même banc de sable n'apparaît plus sous forme d'îlot ; le bras coulant autrefois à sa gauche s'est progressivement comblé par la construction d'un autre banc de faible dimension. Il s'agit d'une nouvelle terrasse qui ne se distingue des autres que par l'absence actuelle d'une végétation vivace. Elle surplombe le lit ordinaire de 2 à 3 m et elle est séparée de l'ensemble du lit majeur de la rive gauche par d'étroits chenaux, en voie de comblement. Les observations faites sur le terrain confirment cette évolution. L'évolution qu'a subie ce banc de sable fournit, par extrapolation, une explication à la mobilité qu'a connue le lit du Chari à travers les âges. En effet, la disposition particulière des basses terrasses semble être le résultat d'un alluvionnement régulier et continu de matériaux sableux. En dépit des crues, comme l'a décrit CABOT (1965) pour le lit du Logone, l'accumulation semble connaître une « stabilité prolongée » se renforçant, d'ailleurs, progressivement. C'est ainsi que présentant le banc sous forme d'îlot, en plein milieu du chenal, le processus se poursuit par le colmatage d'un bras; l'îlot se transformant par la suite en terrasse. C'est

un processus qui peut être long ou court, selon l'importance de l'alluvionnement et la puissance des crues.

Les différents tracés observés dans le lit majeur, correspondant aux anciens chenaux, prouvent bien une grande mobilité du lit du Chari et de ses berges (BCEOM, op cit). Une comparaison faite sur deux profils en travers au niveau du pont de Chagoua, en 1957, avant sa construction et en 1989, montre un net déplacement du chenal de la rive gauche vers la rive droite. On observe ce même déplacement, mais dans le sens contraire, au niveau du méandre à Sabangali ; le chenal se déplace vers la rive gauche en s'éloignant du quartier.

Rôle de la lithologie sur l'érosion des berges holocènes du Chari

Nos observations sur la lithologie des basses terrasses corroborent celles des bureaux d'étude BCEOM (1964 & 1977) et HAECON (1988) ainsi que celles de MOUPENG (1996) qui ont effectué des travaux en vue de la protection de la digue. D'après lesdites observations, les séries sableuses sont hétérogènes allant de sables fins à moyens avec une prédominance du faciès fluvial. Toutefois, les prélèvements réalisés sur les différentes coupes et leur examen à la loupe, montrent que les grains éolisés et peu éolisés s'observent aussi bien dans les couches inférieures que supérieures. Ces sables éolisés charriés par les alizés proviendraient des placages sableux du Chari Baguirmi septentrional remodelés depuis des ergs anciens du Kanémien (MOUPENG, communication orale, 2006). Par endroits, la strate sableuse est rubéfiée ou en début de rubéfaction ; sa puissance est faible à moyenne. Mais dans certaines sections des berges du Chari, la couche inférieure est constituée essentiellement d'une série sableuse d'épaisseur dépassant 1 m.

GEOMETRIE ET CARACTERISTIQUES DES DEPOTS SEDIMENTAIRES DE LA PLAINE D'INONDATION

Morphologie de la plaine alluviale du Chari

Les modelés de surface et leurs caractéristiques dans la plaine d'inondation

Au plan morphométrique, les plaines d'accumulation du Chari présentent une topographie monotone, elles comportent cependant quelques modelés superficiels. Au sud, entre Mailao et Logone-Gana, la morphologie offre une succession d'interfluves orientés SSE-NNW dont le substratum est constitué de sable fluvial induré en surface. Ce dernier donne naissance à des surfaces planes compactées et à rugosité très faible qui ont été décrites par CASENAVE & VALENTIN, (1989) ainsi que par ANDIGUE *et al.* (2001). Ces surfaces indurées constituent de fines croûtes qui résultent d'une réorganisation des matériaux sous l'effet des gouttes de pluie. En effet, l'impact des gouttes provoque le fractionnement et la dispersion des argiles en particules fines qui sont ensuite compactées en horizon superficiel. Leur extension s'oppose à celle du tapis herbacé : ce sont les « *naga* » ou sols stériles (MOUPENG, 1996). Ces interfluves sont séparés entre eux par des bras morts du Chari et Logone, en eau pendant la saison des pluies et tapissés par des argiles noires, proches des vertisols.

À l'aval, la morphologie est celle d'une plaine alluviale parcourue de multiples chenaux dont la position en éventail et la pente très faible (0,1% environ) peuvent laisser supposer une construction deltaïque (PIAS, 1962). En fait, DURAND & LANG (1986) estime que 90 % de cette plaine est constituée de dépôts détritiques sableux, ce que confirment les coupes observées le long du Chari, à Mandjaffa et à Milezi respectivement au sud et au sud-ouest de N'Djamena. Les chenaux s'étalant à partir du cours principal dessinent dans la plaine alluviale des méandres libres dont les rives convexes sont façonnées en levées successives construites par accumulation d'éléments fins par répétition des phases de progression et de retrait des crues. À partir du lit mineur, chaque levée est séparée de la précédente, plus ancienne, par une gouttière occupée par des formations argileuses. Parfois, ces gouttières sont en partie comblées par des sables remis en mouvement par le vent tandis que les levées sont érodées par le ruissellement actuel (ANDIGUE *et al.*, 2001). Sur les interfluves, on observe des alignements dunaires de sable gris. L'orientation de ces dunes est NE-SW suivant le sens de l'alizé

continental boréal, en particulier autour de Gredaya et de Baltram en aval de la confluence du Chari et Logone.

Les formations récentes entre Chari et Logone

Eu égard à nos observations le long du Chari et du Logone, nous distinguons plusieurs catégories de coupes dont l'une présente de haut en bas les faciès suivants :

- Limons sableux ou argileux et sol noir hydromorphe (vertisols).
- Argiles sableuses blanches à bancs de sables ocrés (dans plusieurs cas, les sables ocrés forment une masse homogène).
- Des argiles grises et un banc de sable ferrugineux induré sont observés à Digangali (Mardana, fig.5).

La coupe se termine, au niveau du fleuve par des sables ocrés ferruginisés.

L'autre coupe se trouve, contrairement au précédent, à la fois le long des terrasses du Chari et du Logone et sur leurs défluent comme à Iwa-Iwa (11° 29' 17" N et 15° 10' E). Sous les argiles grises ou noires qu'on observe sur l'ensemble de la région apparaît un niveau argileux à nodules calcaires, ce niveau repose sur les sables ocrés présents aussi dans les coupes du Chari. Le niveau à nodules calcaires a été aussi signalé par CABOT (1965) dans le moyen Logone (figure 5).

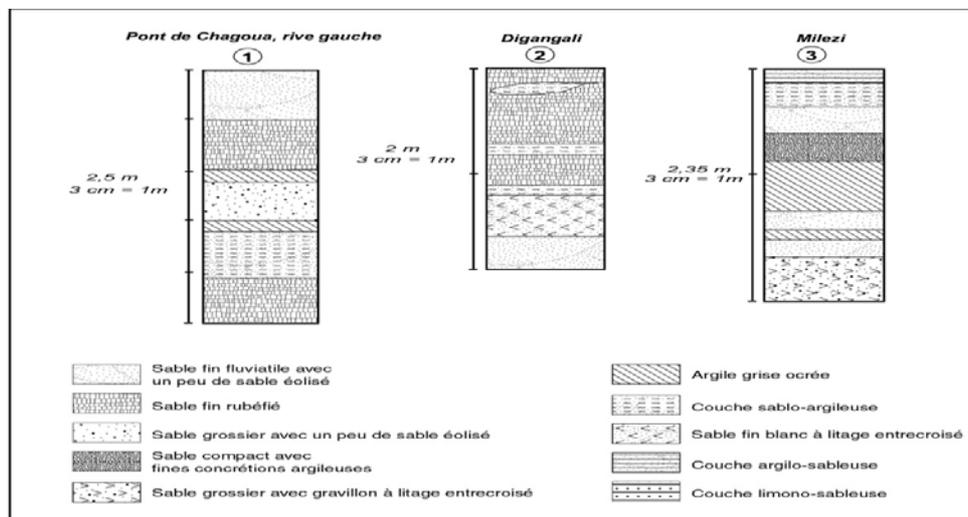


Figure 5: Coupes holocènes de la plaine du Chari et Logone. Ces coupes mettent en exergue les limons sableux ou argileux et sol noir hydromorphe (vertisols). Les argiles sableuses blanches à bancs de sables ocrés (dans plusieurs cas, les sables ocrés forment une masse homogène). Des argiles grises et un banc de sable ferrugineux induré sont observés à Mardana. (source MOUPENG, 1996, ANDIGUE *et al.*, 2001, DOUDJE, 2008).

Dans les deux cas s'observent, dans les coupes du Chari et du Logone, des débris de poterie associés à des restes osseux, en particulier à Mailao et à Logone-Gana en amont de la confluence de Chari et du Logone (ANDIGUE *et al.*, 2001). Dans cette dernière station, sous les sables limoneux supérieurs assimilables aux vertisols des autres coupes, se situent les sables argileux à taches ocrées. À la base de ces derniers, ANDIGUE *et al.*, (2001) ont prélevé dans un niveau à poteries des restes de poissons (Siluridés) et des charbons datés de 980 ± 80 ans BP (photo 4). Cette date correspond à la fin de l'expansion de la civilisation des Sao dans la région de N'Djamena.

Le long du Chari, les coupes de Douguia et des villages de Fagui et Sagour sont identiques (figure 6). Sous les limons sableux ou sablo-argileux gris affleure partout un sable à taches ocrées. Celui-ci repose sur une lumachelle à *Etheria elleptica* (ANDIGUE *et al.*, 2001) qui est superposée à des argiles grises ou verdâtres (aval du Chari, Douguia) ou à des sables argileux (Milezi). Une datation de cette lumachelle, à Fagui, donne un âge dans de 300 ans. Cet âge et la topographie des rives du Chari permettent une interprétation originale de la sédimentation fluviale du cours d'eau en aval de N'Djamena. Cette sédimentation n'est pas rythmique et les bancs argileux ne sont pas superposés les

uns aux autres comme le laisseraient croire les coupes. L'observation attentive des dépôts montre que les accumulations sédimentaires décrites ci-dessus correspondent à des chenaux emboîtés les uns dans les autres, les plus récents dominant les lits actuels du Chari; les plus anciens étant emboîtés dans les formations de l'Holocène récent. Ces anciennes laisses, souvent mises en culture, sont séparées entre elles, dans certains cas, par les bourrelets de rive. L'exemple le plus net est celui de Danouna à 12 km de N'Djamena en aval de la confluence (figure 6).



Photo 4 : Terrasse holocène du Chari et Logone, rive gauche (980 ± 80 ans BP). (source : DOUDJE, 2009)

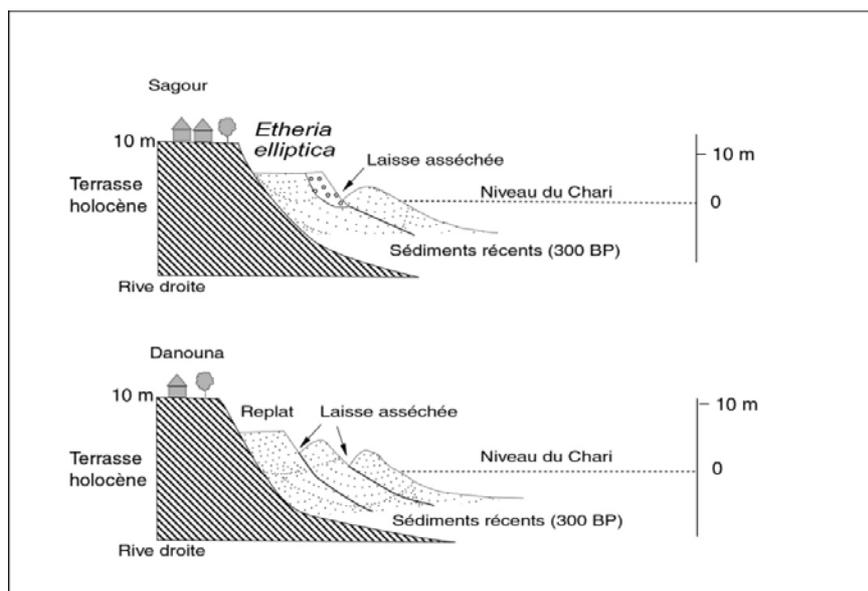


Figure 6 : Terrasses emboîtées à Sagour et Danouna. Contrairement à la superposition des coupes précédentes, les chenaux de Danouna et Sagour à l'aval du Chari à 12 km, s'emboîtent les uns dans les autres, les plus récents dominant le lit actuel du Chari; les plus anciens étant emboîtés dans les formations de l'Holocène récent. (Sources : ANDIGUE *et al.* 2001., DOUDJE, 2011)

Dans la plaine d'inondation, les affleurements sont moins nombreux que le long du Chari mais présentent des similitudes entre eux. Les plus complets sont ceux situés au nord de Farcha et d'Abena, dans des carrières destinées à la fabrication de briques. De haut en bas, on distingue :

- des sables cendreaux (40 cm)
- des sables ocrés fluviatiles à lamines de sable rubéfié (2,5 m)
- des argiles noires compactes (30 cm)
- des sables ocrés ferruginisés représentant la partie supérieure d'un fin lit de sable (5 cm)
- des sables fluviatiles gris de 1,4m d'épaisseur (figures 7 et 8).

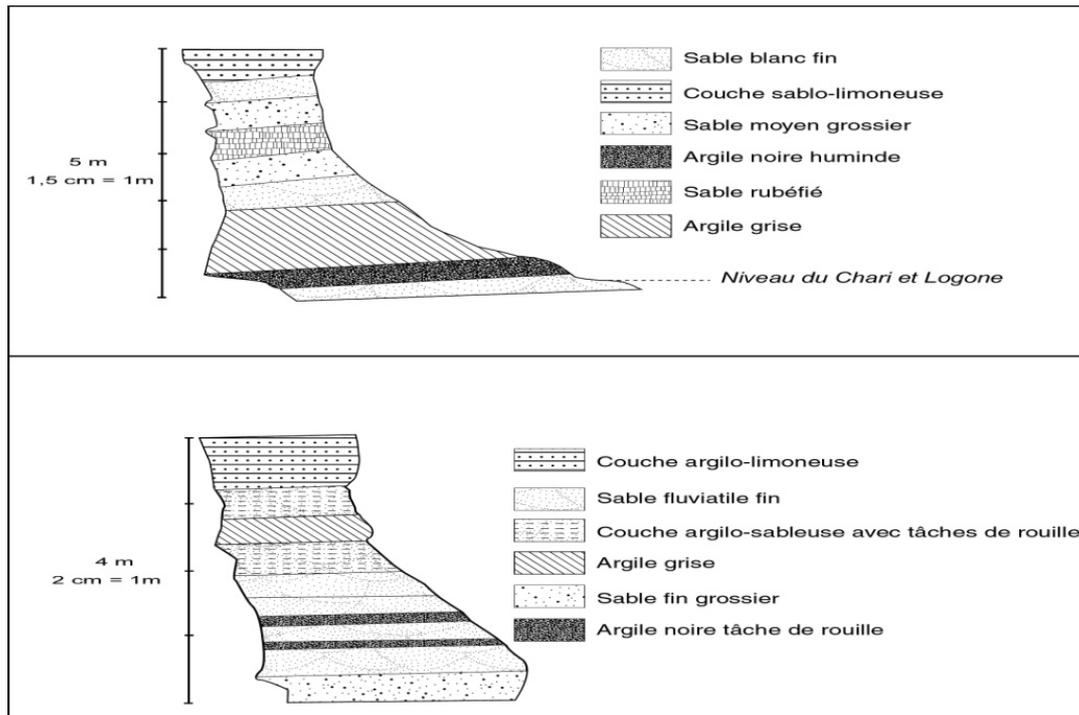


Figure 7 : Après la confluence du Chari et Logone, les basses terrasses à Milezi ne sont rien d'autre que la superposition des couches sablo-limoneuses, d'argile noire, de sable blanc fin et de quelques rares sable grossiers (ANDIGUE *et al.*, 2001, DOUDJE, 2011)

Des analyses faites par ANDIGUE *et al.* (2001) par diffraction RX sur des argiles orientées, traitées au glycol, à l'hydrazine et chauffées montrent que les sables cendres contiennent peu d'argile. Ils peuvent avoir été apportés par le lac lors de ses crues annuelles. Dans le reste de la coupe, cette analyse prouve que la kaolinite (45 %) présente est certainement détritique et provient du bassin versant amont du Chari, car, les conditions de lessivage sous climat sahélien actuel sont telles que sa néoformation serait très limitée.

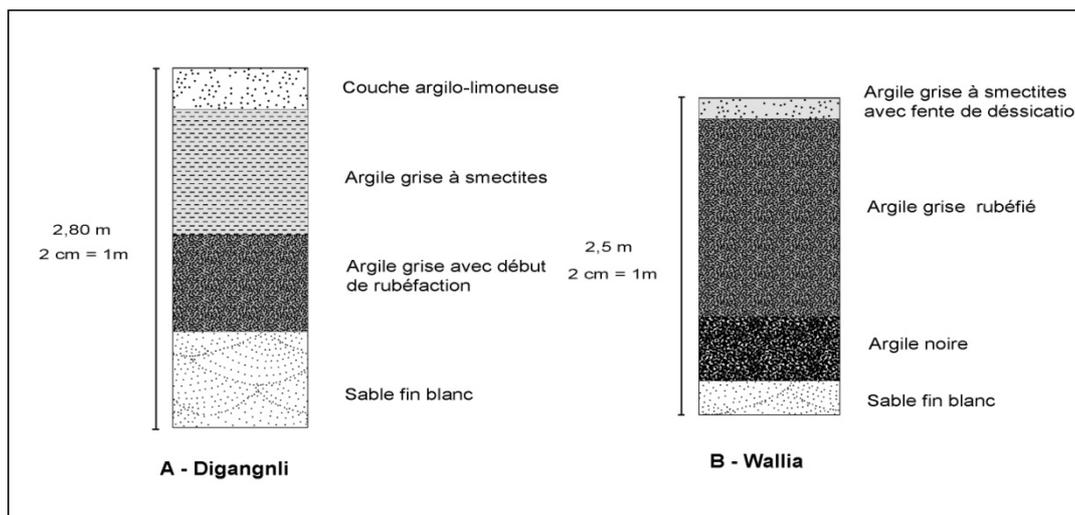


Figure 8 : À Mardana, la coupe montre les différents éléments composants les anciens chenaux. Il s'agit de limons sableux ou argileux et sols noir hydromorphes (vertisols), des argiles sableuses blanches à bancs de sables. Des argiles grises et un banc de sable ferrugineux induré y sont observés (source : DOUDJE, 2011)

Dans les mêmes niveaux, les smectites (55 %) peuvent être d'origine lacustre et appartenir au système du lac Tchad. Il est possible aussi de considérer leur présence comme le témoin d'un climat de type sahélo-soudanien à longue saison sèche favorisant l'existence de milieux hydromorphes confinés en saison humide, s'asséchant en saison sèche ; cette situation perdurant depuis l'Holocène supérieur. L'argile noire de 30 cm de puissance s'observe d'ailleurs dans un grand nombre de coupes, même séparées les unes des autres de plusieurs kilomètres (N'Djamena, Guitté, ... Koko) est aussi riche en kaolinite (60 %) et en smectites (40 %) que les autres niveaux (MOUPENG, 1996) ; (figure 8).

Ces résultats montrent que les sédiments prélevés ne sont pas issus d'un milieu tropical à fort lessivage, mais plutôt de type soudanien. En outre, ces coupes se situent bien dans des régions qui sont restées sahéliennes, à longue saison sèche favorisant l'existence de milieux confinés favorables au développement des smectites depuis l'Holocène récent. L'argile noire pourrait représenter le témoin d'un ensemble de marigots alimentés pendant une période relativement longue par des crues répétées du lac Tchad occupant chaque année les mêmes bas-fonds. La coupe de Sagour, en amont de Douguia (figure 6), conduit aux mêmes conclusions.

DISCUSSIONS : LA SEDIMENTATION FLUVIATILE ET SES CORRELATIONS

La sédimentation fluviale

Le delta intérieur du Chari, au sud du lac Tchad est une vaste plaine alluviale. Elle comporte deux milieux essentiels : les cours à méandres divagants du delta lui-même et les placages sableux et cordons dunaires situés entre Karal, Hadjer el Hamis et Adrik AKoukoulou. Les différents bras du delta forment des cours à méandres divagants dont la disposition présente deux originalités. Les chenaux successifs occupent des positions de plus en plus récentes en bordure des cours actuels, en particulier dans les lobes de rives convexes. Cependant, les trois datations, à Médekine (3880 ± 80 BP) sur coquilles d'*Aspataria*, à Logone-Gana (980 ± 80 BP) et à Fagui (300 ans à subactuel) confirment les observations de terrain (MOUPENG, 1996). En effet, la terrasse limoneuse la plus ancienne date de l'Holocène supérieur (3880 ± 20 BP). Bien qu'il soit difficile de corréler les terrasses alluviales entre Logone-Gana, en amont de N'Djamena et Médekine et Fagui (figure 9) à l'aval, nous pouvons supposer que la terrasse de Logone-Gana est emboîtée dans les alluvions holocènes. A Fagui par contre, il s'agit d'une laisse subactuelle. Ces formations successives représentent un exemple de sédimentation fluviale méandrisante.

Les méandres, eux-mêmes ne témoignent pas tous d'un écoulement sud-nord. C'est-à-dire qu'au moment de la décrue du Chari (fin octobre et novembre), une partie des eaux capitalisées dans les branches du delta se reversent vers le sud au lieu de s'écouler vers le lac. Ainsi, en tenant compte qu'en basses eaux le Chari est encaissé d'environ 10 m dans sa plaine alluviale, il est facile de concevoir l'écoulement de certains marigots situés à 289 m (aval de Douguia) vers le Chari dont la cote est seulement à 287 m à Mani, 285 m à Djimtilo (figure 9) et 280 m à Kororak. Ce phénomène s'observe d'ailleurs dans d'autres zones inondables où les dénivelées topographiques sont très faibles : 15 m entre N'Djamena et le lac Tchad sur 90 km, même si on compte 9 m seulement entre Tombouctou et Araouane, sur 300 km, dans le delta intérieur du Niger (ANDIGUE *et al.*, 2001 ; PETIT- MAIRE & RISER, 1983).

Cette inversion du courant est due à la baisse progressive du niveau du fleuve par rapport à celui des chenaux du delta est favorisée par la présence des placages sableux et cordons dunaires qui recouvrent les branches du delta et barrent l'écoulement vers le lac sauf pour quelques marigots particulièrement dynamiques qui arrivent à franchir ces obstacles éoliens. Les autres voient leurs cours bloqués par ces amas sableux, ce qui implique pour certains d'entre eux, leur vidange vers le sud en fin de crue. Les analyses sédimentologiques des formations alluviales révèlent que les conditions du milieu, au cours de la sédimentation de ces matériaux étaient sensiblement les mêmes que de nos jours avec des influences sahéliennes liées à l'Harmattan bien marquées (BOCQUIER, 1973).

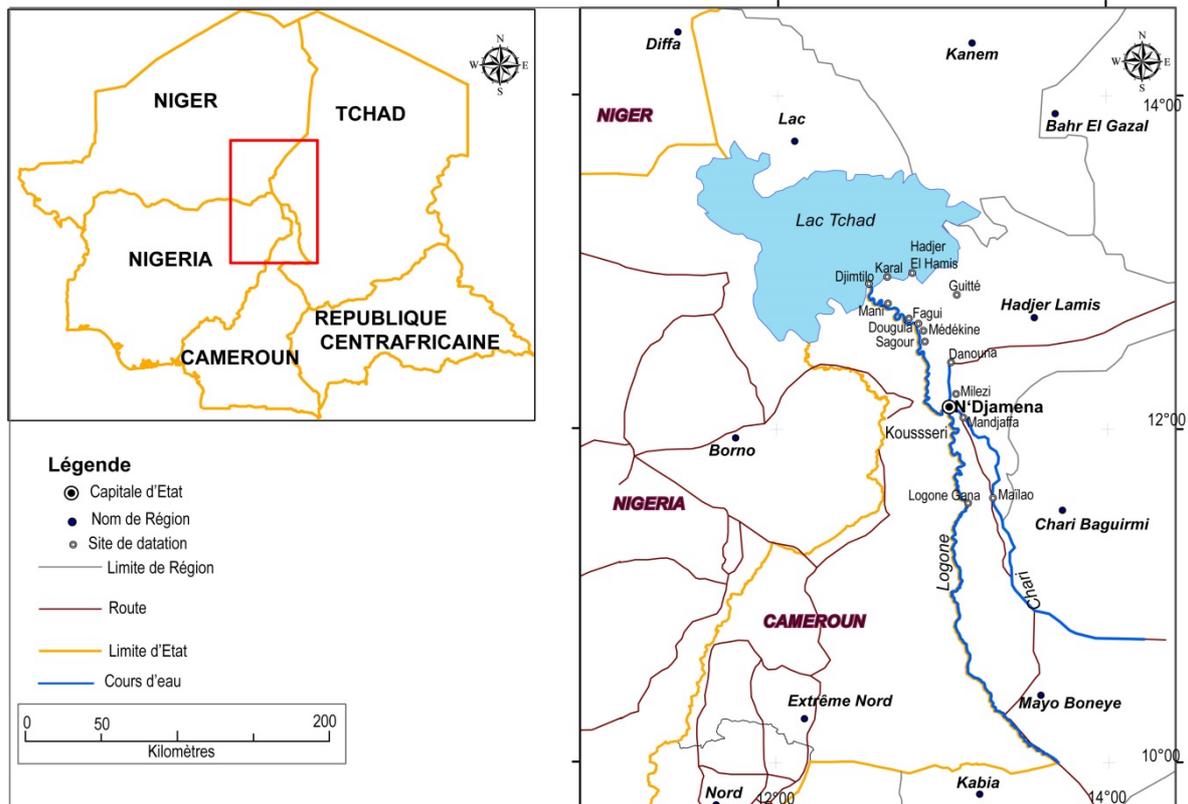


Figure 9 : Localisation des sites de datation de la sédimentation fluviatile du bassin du Lac Tchad (sources : ANDIGUE *et al.*, 2001 ; DOUDJE, 2011, modifiés)

Corrélations

Des études précises ont déjà été réalisées dans la plaine alluviale du Chari au nord-est de N'Djamena, en particulier par DURANT & MATHIEU (1980). L'Holocène et le Pléistocène mesurent, d'après les forages environ 80 m de puissance (SCHROETER & GEAR, 1973). À N'Djamena le forage entrepris pour les recherches d'eau a traversé 50 m de Quaternaire constitué alternativement de sables en bancs épais de 9 à 20 m et d'argile sableuse (KUSNIR, 1995).

Les travaux de DURAND & MATHIEU ont été réalisés à partir d'une série de puits dans le cadre du programme de l'Assalé en instigation de la Commission du Bassin du lac Tchad (CBLT). Les coupes observées se situent à l'est et au nord-est du secteur étudié dans cet article. Cependant, quelques comparaisons peuvent être établies entre les coupes que nous avons observées et les travaux de nos prédécesseurs :

- les sables éoliens sont toujours mélangés aux sables fluviatiles montrant ainsi le brassage latéral des sables éoliens et fluviatiles au cours de la succession annuelle ou pluriannuelle de phases sèches et humides.
- Ces dépôts sableux se présentent aussi sous forme de laisse dans les rives convexes des chenaux ;
- Les smectites associés aux kaolinites sont souvent majoritaires dans les lits argileux. Ces argiles montrent, comme l'a écrit BOCQUIER (1973) que les formations étudiées sont bien celles d'une plaine inondable, siège de l'accumulation de smectites presque toujours néoformées dans des vertisols localisés souvent dans les fonds d'anciens marigots sous climat tropical sec à saisons contrastées.
- Les bourrelets de berge peuvent passer latéralement à des dépôts argileux de plaines d'inondation (DURAND & MATHIEU, 1980).

En revanche, les datations isotopiques présentées par DURAND & MATHIEU (1980), couvrent la période anté-Holocène et la chronologie de ce dernier reste floue. Cependant, quelques jalons peuvent être posés. La datation la plus ancienne au 14 C (8220 ± 200 BP (DUPONT & DELAUNE, 1970) est

celle de la base des argiles grises de la coupe de Maïlao (figure 9) qui correspond aux argiles grises de la partie inférieure de la coupe de Logone-Gana, au niveau du fleuve. La coupe de Maïlao représente l'Holocène inférieur qui s'est peut être emboîté dans la formation alluviale de la plaine d'inondation datée, plus à l'est, à Kéréniyé de 11200 ± 230 BP (DURAND & MATHIEU, 1980) tandis que la formation de l'Holocène supérieur datée de 3880 ± 200 BP serait elle-même emboîtée dans la formation à 8220 ± 200 BP et correspondrait à un niveau lacustre situé à la cote 287 m environ.

Par conséquent, à partir de 3200 BP, la décrue du lac s'amorce (SCHNEIDER, 1994) et provoque l'encaissement du Chari et du Logone dans leurs propres alluvions. Au cours de cet enfoncement, des laisses se construisent sur lesquelles s'installent les habitants du Logone-Gana (980 ± 80 BP) qui abandonnent sur place : poterie, charbon, os des silures, écailles de crocodiles. Ainsi, dans la plaine alluviale du Chari et du Logone, les sédiments les plus récents s'emboîtent dans les plus anciens et ce jusqu'à nos jours. Comme l'avaient observé nos prédécesseurs, le mélange de sable éolien et fluviatile témoigne de la coexistence de phases sèches et humides à l'échelle annuelle et pluriannuelle. La présence de smectites et de kaolinites montre que le climat est resté tropical sec à saisons contrastées depuis l'Holocène supérieur avec transfert de sédiments fins de l'amont à l'aval. Enfin, à l'Holocène supérieur, l'extension de la zone d'inondation devait se situer à la cote 287 m environ vers 3880 ± 200 BP avant le début de la décrue actuelle du lac Tchad.

CONCLUSION

Les échantillons prélevés sur les coupes ouvertes des berges du Chari, ont montré que les sédiments constituant celles-ci sont d'origine fluvio-lacustres déposés lors de l'évolution paléoclimatique holocène. Ce sont essentiellement des matériaux sablo-argileux surmontés de limons peu cohérents, donc moins résistants à l'érosion fluviale. L'érosion latérale affecte ces berges qui reculent. Les fluctuations saisonnières du régime du Chari, semblent être le principal facteur d'alluvionnement des matériaux fins à moyens, observés sur les coupes de levées alluviales qui forment le lit majeur. L'hétérogénéité des matériaux et la diversité du litage s'expliquent par une dynamique fluviale irrégulière et changeante au fil du temps. En outre, le cours du Chari, au niveau de N'Djaména, semble subir, depuis de longues dates, l'influence éolienne. La présence de sable éolisé, au niveau inférieur des berges holocènes et les accumulations dunaires qui s'opèrent actuellement en saison sèche montrent qu'à travers les âges, l'action de l'Alizé a été permanente et régulière. Cela suppose que les conditions ont pu changer depuis quelques milliers d'années.

REFERENCES

- ANDIGUE, J., MOUPENG, B. & RISER, J., 2001. Les dépôts alluviaux récents des vallées du Chari et Logone au Sud du lac Tchad (République du Tchad), *CNAR, N'Djaména* : 149 – 155.
- BCEOM, 1964. Essais de protection des berges du Chari, N'Djaména, Tchad, 53p.
- BCEOM / Ministère de Génie Civil, des Mines et de la Géologie, 1977. « Protection des berges du Chari à N'Djaména », Rapport de mission. *Revue de Géologie*, 41p.
- BOCQUIER, G. 1973. Les sols et la dynamique des milieux naturels : Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse d'Etat, *Mémoire ORSTOM*, 62 : 350p.
- CABOT, J., 1965. Les lits du Logone : étude géomorphologique, SEDES, Paris, 270p.
- CASNAVE, A. & VALENTIN, C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. *ORSTOM*, Paris, 237p.
- DOUDJE, K., 2008. Étude morphodynamique des berges du fleuve Chari à N'Djaména. Mémoire de maîtrise, Université de Yaoundé I, 108p.
- DOUDJE K., 2011. Etude morphodynamique de la confluence des fleuves Chari et Logone à N'Djaména. Mémoire de master. Université de Yaoundé I. Département de Géographie, 175p.
- DUPONT, B. & DELAUNE, M., 1970 - Etude de quelques coupes du Quaternaire récent du sud du lac Tchad. *Cahiers ORSTOM, sér. Géol.*, II, 1: 49-60.
- DURAND, A. & LANG, J., 1986. Approche critique des méthodes de reconstitution paléoclimatique : le Sahel nigéro-tchadien depuis 40 000 ans. *Bull.Soc.Géol.France*. II, 2 : 267-278.
- DURAND, A. & MATHIEU, P., 1980 - Le Quaternaire supérieur de la rive sud du lac Tchad (République du Tchad). *Cahiers ORSTOM, sér. géol.*, XI, 2 : 189-203.
- HAECON /BIRD/ PNUD, 1988. « Etude de l'érosion des berges du Chari à N'Djaména », Rapport d'expertise, 58p.

- KUSNIR, I., 1995. Géologie, ressources minérales et ressources en eau du Tchad, CNAR, 2^e éd, 115p.
- MALEY, J., 1980. Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique du nord tropicale de 30 000 ans à l'époque actuelle. Thèse. Université de Montpellier, Paris, France, 586p.
- MARABE, N., 1997 - Evolution actuelle du lit majeur et des berges du Chari à N'Djamena. Mémoire de maîtrise, Université de N'Djamena et Université d'Avignon, 75p.
- MOUPENG, B., 1996. Les formations superficielles quaternaires de la région de N'Djamena et leur représentation sur image SPOT. Mémoire de maîtrise, Université de N'Djamena et Université d'Avignon, 40p.
- PÉTIT-MAIRE, N. & RISER, J., 1983 - Sahara ou Sahel ? CNRS édit. Marseille, 473 p.
- PIAS, J., 1962. Les sols du moyen et bas Logone, du bas Chari des régions riveraines du lac Tchad et du Bahr el Ghazal, éd. Latture, Paris, 438p.
- PIAS, J., 1970. Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent ; ORSTOM, Paris, 212p.
- SCHNEIDER, J.L., 1989. Géologie et hydrogéologie de la République du Tchad. Thèse d'Etat. Université d'Avignon. France, 438p.
- SCHNEIDER, J.L., 1994. Le Tchad depuis 25.000 ans, Géologie–Archéologie-Hydrologie. Masson, Paris, 370 p.
- SCHROETER, P. & GEAR., D. 1973. Étude des ressources en eau du bassin du lac Tchad en vue d'un programme de développement. Rapport PNUD/FAO, Rome, plusieurs tomes. 62p.
- SERVANT, M., 1973. Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. Thèse Univ. Paris VI, 348 p.
- WAKPONOU, A., 1995. Signification paléogéographique des formations superficielles de la bordure sud du bassin du Tchad au Cameroun. Etude de géomorphologie, Thèse, Université de Yaoundé I, 247 p.