

Résumé

Situé dans la partie Nord-Ouest du Sénégal, le delta du fleuve Sénégal constitue une zone agroéconomique d'importance majeure pour le développement de la culture irriguée. La mise en service du barrage de Diama en 1986 pour stopper la remontée de la langue salée à l'intérieur du continent et stocker en amont une importante réserve d'eau douce destinée essentiellement à l'irrigation, a fortement modifié l'équilibre hydrodynamique de la nappe.

L'objectif de ce présent travail est d'étudier avec une approche hydrodynamique, l'impact du barrage de Diama sur les fluctuations piézométriques de la nappe alluviale dans le delta du fleuve Sénégal.

Les résultats ont indiqué que les fluctuations piézométriques de la nappe alluviale sont sous le contrôle de celles des eaux de surface des zones aménagées. Avant la mise en service de Diama, la recharge de la nappe n'était possible que pendant l'hivernage où la pluie et les crues du fleuve envahissent les terres du delta. La mise en service du barrage de Diama et le rehaussement de la cote limnimétrique du fleuve a eu comme conséquence une remontée importante du niveau piézométrique de la nappe. Ils indiquent un rehaussement de son niveau de base de l'ordre de 1 m au niveau des zones non aménagées et de 2 m au niveau des zones aménagées.

Mots clés : Barrage de Diama ; nappe alluviale ; fluctuation piézométrique ; delta du fleuve Sénégal ; recharge

INTRODUCTION

La sécheresse des années 1970 a eu des conséquences néfastes sur le régime hydrologique du fleuve Sénégal. En effet le fleuve a cessé de couler en 1984 pendant la période d'étiage. Alors pour faire face à cette précarité des ressources en eau de surface qui joue un rôle prépondérant dans le développement de l'irrigation, des aménagements ont été réalisés sur les cours d'eau du fleuve Sénégal. Le barrage de Diama qui a pour vocation de stopper l'avancée de la mer à l'intérieur du continent est construit dans le delta du fleuve Sénégal à 26 km en amont de la ville de Saint Louis. Ce barrage a été mis en service en 1986 et dispose en amont d'un grand réservoir d'eau douce destiné essentiellement à l'irrigation. Ce barrage en dehors de cet intérêt a fortement modifié le processus naturel de la recharge de la nappe et le régime naturel du fleuve. Avant 1964, les seules zones de recharge de la nappe alluviale étaient des dépressions naturelles se remplissant en hivernage, les marigots et les cours d'eau. Actuellement, l'homme a modifié ces zones de recharge de la nappe par l'endiguement du fleuve Sénégal supprimant ainsi ces zones de recharges naturelles, par l'aménagement des terres ajoutant ou modifiant des zones de recharge et par le relèvement des niveaux des eaux de surface (SAED/DPDR 1998).

Face à ces modifications d'origine anthropique (avec l'avènement des infrastructures et la mise en valeur des terres agricoles) et naturels liées aux changements climatiques, il est nécessaire et intéressant d'étudier le fonctionnement hydrodynamique de la nappe face à ces multiples contraintes.

L'objectifs de l'étude vise à déterminer les mécanismes d'interactions qui existent entre la nappe et la rivière mais aussi d'évaluer l'impact potentiel des ouvrages sur la piézométrie de la nappe. Pour cela, la première partie du document est consacrée à la présentation de la zone d'étude et la deuxième partie à l'évaluation de l'impact de ces différentes sources sur le fonctionnement de la nappe alluviale.

I-PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I-1-Cadre physique et contexte climatique

I-1-1-Localisation de la zone d'étude

Le delta du fleuve Sénégal qui s'étend de Dagana à l'embouchure au Sud de Saint Louis, constitue une entité géographique de forme triangulaire (Cissé, 2011). Il est limité au Nord par le fleuve Sénégal, à l'Ouest par l'océan Atlantique, à l'Est par le Ferlo et au Sud par la latitude 15°45 Nord (Ngom, 2013). Selon ce dernier, par sa position géographique il est situé entre les latitudes 14°4 et 16°50 Nord et les longitudes 15°30 et 16°30 Ouest. Il couvre une superficie d'environ de 4343 Km² (figure1).

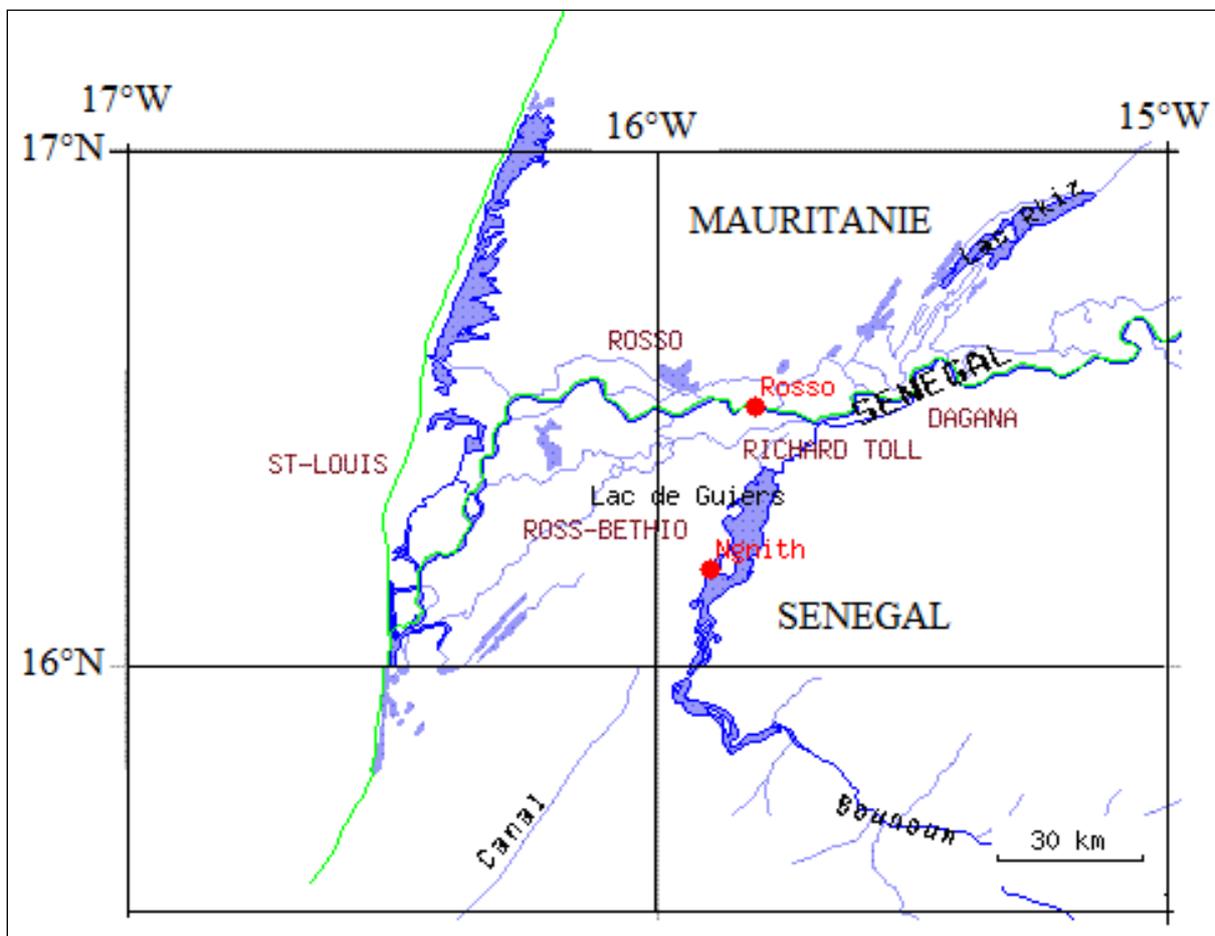


Figure 1 : Carte de localisation du delta du fleuve Sénégal (d'après Ngom et al, 2008)

I-1-2-Contexte climatique

Le climat du DFS est marqué par ailleurs et dans le temps par une distinction saisonnière très nette. Dans le littoral, le climat est de type subcanarien. A l'intérieur, il est de type sahélien avec de grandes amplitudes thermiques. D'après (Gueye, 2018), la circulation de façon alternative de trois masses d'air (la mousson, les alizés maritimes et continentaux) permet de définir deux saisons nettement tranchées : une saison sèche (de novembre à mai) et une saison humide (de juin à octobre).

De manière générale, la pluviométrie du Sénégal diminue du Sud vers le Nord, causée par l'approche de la zone saharienne. Le delta du fleuve Sénégal situé dans le domaine climatique nord sahélien a une pluviométrie relativement faible environ 300 mm/an.

Les données climatiques utilisées ont été tirées de la base de données de l'Agence National de l'Aviation Civil et de la Météorologie (ANACIM) et concernent la station de Saint Louis. Elles portent sur :

➤ La pluviométrie

La figure 2 représente l'évolution mensuelle des précipitations de 1987 à 2018. Cette figure montre que la saison des pluies débute au mois de juin et se termine au mois d'octobre, le reste de l'année étant sèche. L'alternance entre les deux saisons est due aux mouvements du front intertropical (FIT) qui dès le mois de juin, sous l'effet de la dépression continentale centrée sur le Sahara, migre vers le nord et permet l'installation du flux de Mousson issu de l'anticyclone de Saint Hélène. La remontée maximale du FIT vers le nord se produit au mois d'août (Olivry *et al*, 1987 in Gning, 2015), ce qui correspond à la période de précipitation maximale dans la région. Les mois d'août et septembre sont les mois les plus pluvieux et enregistrent 70% des précipitations. Au cours de la saison sèche, des pluies hors saison communément appelées Heug sont enregistrées. Selon (Cissé, 2011), ces précipitations sont dues à des invasions épisodiques d'airs froids issus des régions tempérées.

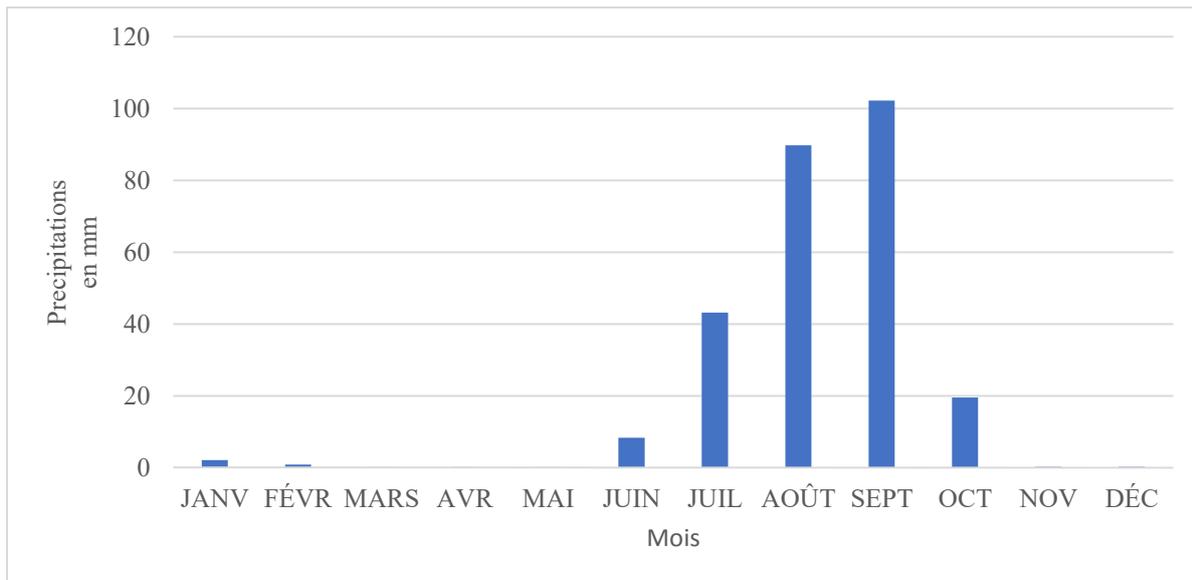


Figure 2: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Saint Louis (1987 à 2018)

Cette zone est marquée par une variation interannuelle de la pluviométrie. Le maximum de précipitation est enregistré en 2010 avec une moyenne de 593.6 mm tandis que le minimum est noté en 1992 avec une moyenne de 58.6 mm (figure 3).

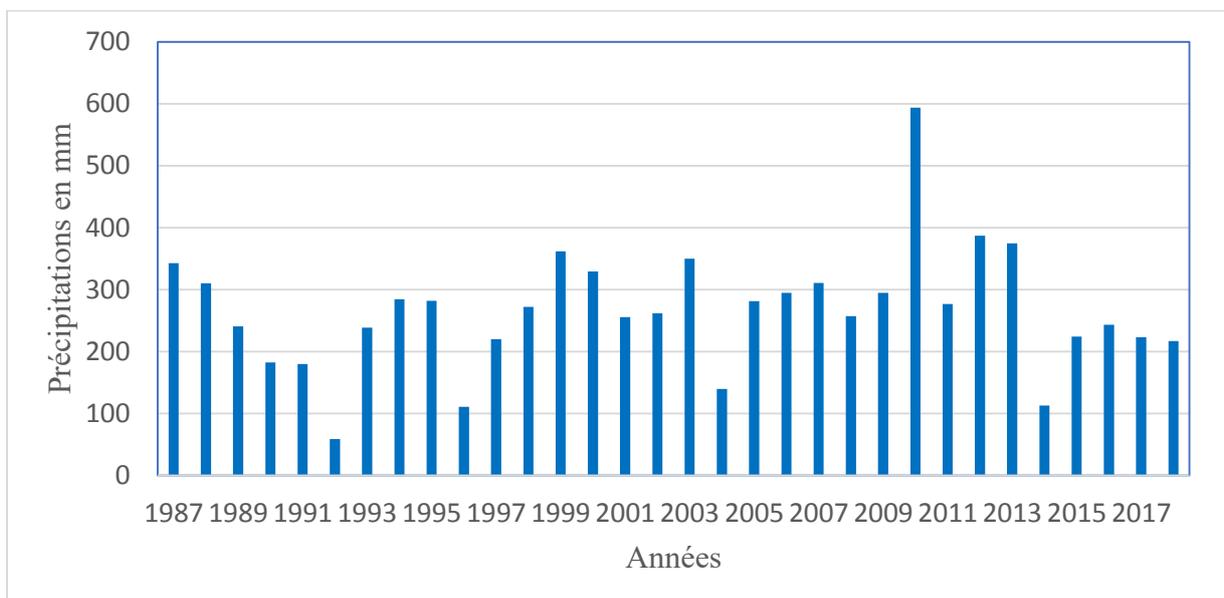


Figure 3: Précipitations moyennes annuelles à la station de Saint Louis (1987 à 2018)

➤ La température

La figure 4 représente les variations moyennes mensuelles de la température à la station de Saint Louis de 1987 à 2016. Elle montre de faibles variations de la température au cours de l'année avec des maxima de 29.11°C pendant la période hivernale au mois de septembre et des minima de 23.54 °C enregistrés en période sèche au mois de janvier. Selon Diaw (2008),

ces températures sont adoucies par l'influence océanique et la fraîcheur des alizés maritimes dans les régions côtières.

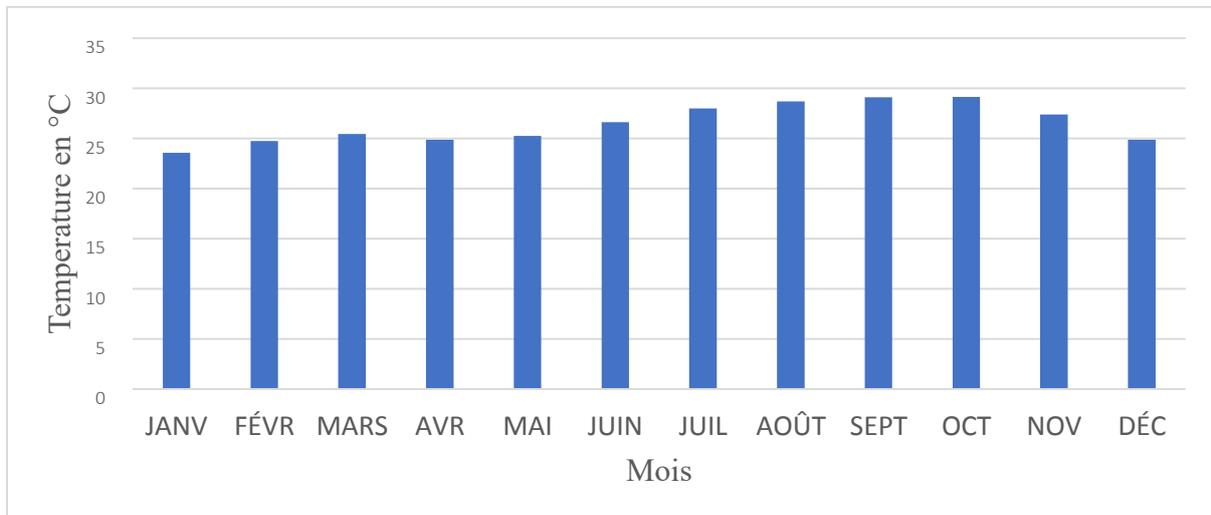


Figure 4: Températures moyennes mensuelles à la station de Saint Louis (1987 à 2016)

➤ L'évaporation

Les phénomènes d'évaporation jouent un rôle significatif dans l'hydrologie du delta, du fait de la disponibilité des ressources en eau de surface, mais également de l'existence d'une nappe subaffleurante (Ngom, 2013).

Les données utilisées sont issues d'un évaporomètre Piche. Ces données montrent une évaporation importante pendant la saison sèche. Le maximum est atteint entre Novembre et Mars. Durant cette période (novembre à mars), la quasi-totalité du delta se trouve sous l'influence des vents continentaux, chauds et secs dont la dynamique est facilitée par l'absence d'obstacles montagneux (le delta est plat) et de brise-vent (arbres, etc.), (Cissé, 2003 in Cissé 2011). Les valeurs élevées de l'évaporation enregistrées en cette période de l'année peuvent être expliquées par l'augmentation du déficit de saturation de l'air dû à l'ensoleillement et les températures importantes. Elle diminue pendant la saison des pluies pour atteindre son minimum entre les mois d'août et septembre (figure 5).

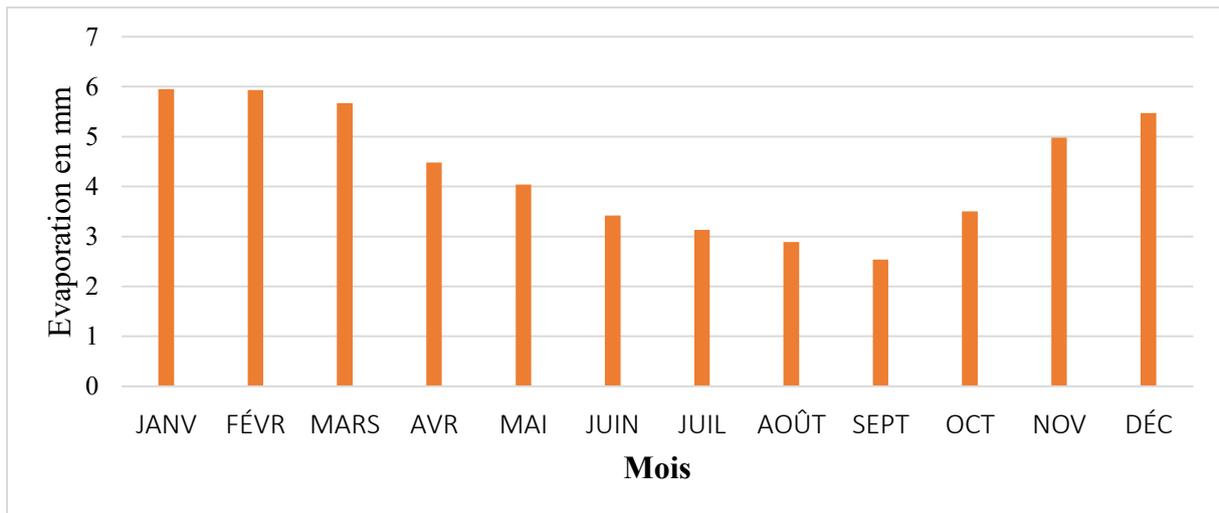


Figure 5: Moyennes mensuelles de l'évaporation à la station de Saint Louis (1987 à 2016)

➤ L'insolation

L'insolation est un paramètre qui est fortement tributaire de la couverture nuageuse et de la précipitation.

La figure 6 représente la variation de la durée moyenne mensuelle de l'insolation en heures par jour. Au cours de cet intervalle de 1987 à 2016, deux maxima ont été observés dont le principal de février à mai avec 9.16 heures d'insolation par jour et le second en octobre avec 7.97 heures d'insolation par jour. Les minima sont observés durant la période de juin à juillet avec 6.16 heures d'insolation par jour en juin et aussi en janvier avec 6.77 heures d'insolation par jour.

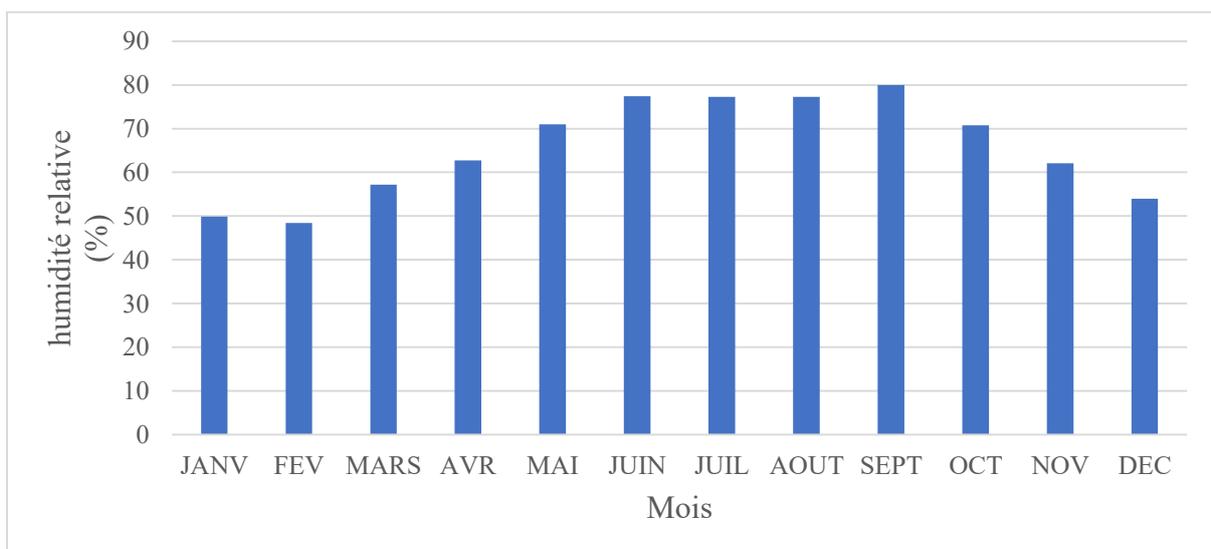


Figure 6 : Moyennes mensuelles de l'insolation à la station de Saint Louis (1987 à 2016)

➤ L'humidité relative

L'humidité relative dépend fortement de l'influence de deux facteurs : la pluviométrie et la température. Elle nous renseigne sur le degré de saturation de l'air ambiant. Elle atteint son maximum pendant la saison des pluies en septembre (80%) et son minimum en février (48.4%).

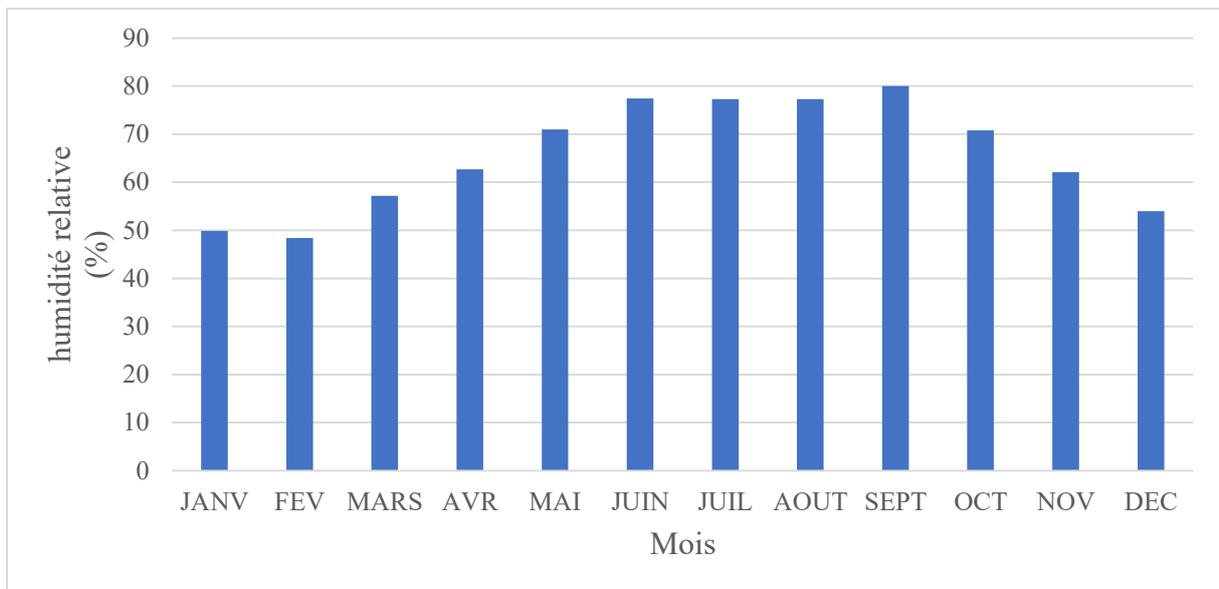


Figure 7: Moyennes mensuelles de l'humidité relative à la station de Saint Louis (1987 à 20103)

➤ Les vents

Le delta du fleuve Sénégal est caractérisé par un régime particulier des vents. Ils sont caractérisés pendant la saison sèche par des alizés maritimes de direction Nord-Ouest et à l'intérieur par des vents chauds et secs appelés harmattan de direction Nord-Est. La saison des pluies est marquée par l'apparition de vents généralement de direction Nord qui se heurtent à la mousson Sud-Ouest qui est un vent chaud et humide. Les vitesses de vents les plus importantes sont généralement enregistrées pendant la période de janvier à juillet avec un maximum de 5.56 m/s en avril et les plus faibles de juillet à décembre avec un minimum de 3.44 m/s en novembre (voir annexe).

I-2-Contexte géomorphologique et géologique

I-2-1-Cadre géomorphologique

Du point de vue géomorphologique, le delta se présente comme un vaste ensemble de topographie basse constituée de plaines inondables et de bas plateaux, parcouru par un réseau de chenaux anastomosés. Les principales unités géomorphologiques (figure 10) rencontrées au niveau du delta du fleuve Sénégal peuvent être scindées en deux groupes :

➤ Le WALO :

Il correspond aux formations du lit majeur et occupe la totalité des terres inondables. En effet, il regroupe plusieurs sous unités dont les plus importantes sont :

- Les levées deltaïques

Ce sont des terrains limoneux situés en bordure du fleuve et ces défluent (Cissé, 2011). Suivant leur âge et leur étendue, deux types de levées ont été identifiées le long du fleuve et ses tributaires, il s'agit notamment des hautes levées post nouakchottiennes et des levées subactuelles (Sy, 1995).

- ✓ Les hautes levées post nouakchottiennes

Elles sont caractérisées par un puissant système de bourrelet de berge qui s'allonge et se ramifie dans la vallée alluviale depuis Bogué jusqu'à Bakel. Elles s'édifient par la suite en des formations alluviales. Elles sont essentiellement composées de sables et de limons fins. C'est sur ces formations que sont formées les deltas de rupture de levées à la suite de la mise en place des brèches par les eaux de crues pour former les petits défluent qui débouchaient dans les cuvettes de décantation. Ces grandes levées portent des sols peu évolués hydromorphes à pseudo-gley et des vertisols. Elles sont colonisées par une végétation des graminées, des vétivers et des broussailles (Sy, 1995).

- ✓ Les levées subactuelles

Elles se différencient des hautes levées post nouakchottiennes par leur amplitude. Elles proviennent du sapement des anciens bourrelets de berge entraînant des sables fins et des limons à de très courte distance devant la berge convexe de la prochaine boucle du fait du ralentissement du courant. Ces faisceaux de levées se formèrent ainsi à l'intérieur des trains de méandre (Michel, 1973 in Sy, 1995).

- Les cuvettes argileuses

On les trouve au niveau des grandes zones de dépressions. Elles sont séparées des levées soit par des cuvettes d'inondation (Djoudji) ou soit par des dépressions de type Sebkhia (le Ndiael) (Cissé. 2011). Ces cuvettes couvrent à peu près le tiers de la superficie du delta et sont formées de matériaux argilo-limoneux.

- Le Diéri : presque non atteint par la crue du fleuve, on y trouve que des cordons littoraux sableux représentés sous forme des dunes de sable rouge au Sud du delta et à l'Est du lacs de Guiers ; et des terrasses marines.

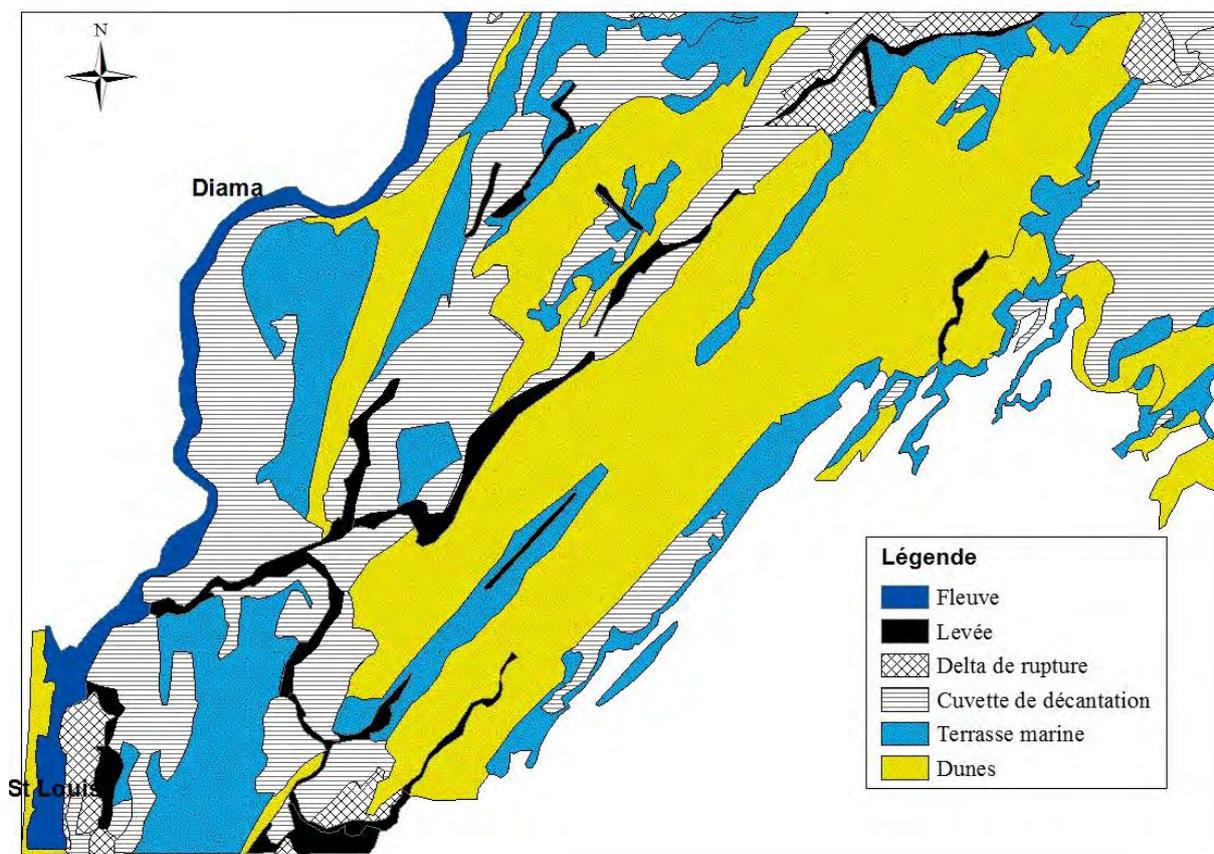


Figure 8: Principales unités géomorphologiques du delta du fleuve Sénégal (Deckers et al.1996 in Gning 2015)

D'après les auteurs (Maynard, 1955) ; (SEDAGRI, 1973) ; (Loyer, 1989) ; (SENAGROSOL – Consult, 1993) et (Kane, 1997) in (Cissé, 2011), les types de sols (figure 11) associés à ces principales unités géomorphologiques peuvent être regroupés comme suit :

- Les sols hollaldés, on les trouve au niveau des cuvettes de décantation, ils sont pratiquement argileux avec une teneur de 66 % d'argile.

- Les faux hollaldés, ce sont des sols argileux limoneux renfermant 10 à 35% d'argile, qu'on rencontre principalement dans les levées fluvio-deltaïques. Ce sont des sols hydromorphes peu évolués.
- Les fondés, on les retrouve sur les bourrelets de berge et sont des sols limoneux peu évolués d'apports hydromorphes.
- Les falos, on les retrouve au niveau du talus du lit mineur du fleuve et ces défluent en bordure du fleuve.
- Les diacrés, on les retrouve au niveau des levées subactuelles constituant des bourrelets recouverts par les crues moyennes à fortes.

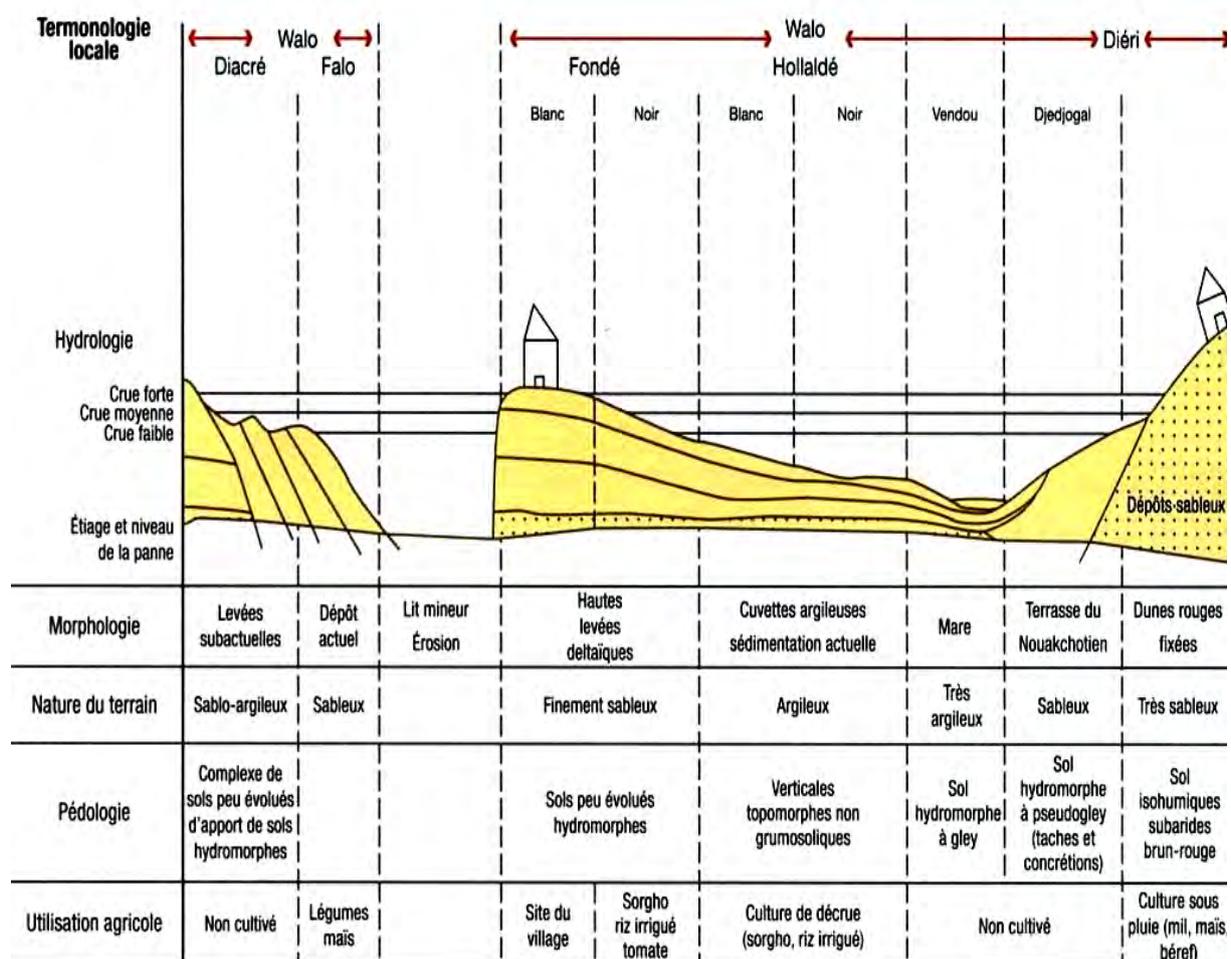


Figure 9: Coupe schématique transversale des terrains de la vallée du fleuve Sénégal (Atlas Sénégal, 2007 in Cissé, 2011)

I-2-2-Cadre géologique

La géologie de la zone d'étude dans celle du vaste bassin Sénégal-mauritanien. Ce bassin a pris naissance à la fin du Trias et de Jurassique inférieur et moyen. Il couvre l'essentiel du territoire sénégalais à l'exception de la partie sud-est où affleure le socle (Gning, 2015). La sédimentation dans le bassin a pour origine, en général, une subsidence qui se traduit par un affaissement continu du bassin depuis le Jurassique, et par un jeu des compartiments délimités par des fractures qui coupent les roches dures du socle ancien et la couverture sédimentaire qui le surmonte jusqu'à l'Eocène. Les formations du Quaternaire notamment celles alluviales du Sénégal, postérieures au phénomène tectonique, reposent sur le substratum alors accidenté (Touzi, 1998).

➤ Historique de la formation du delta du fleuve Sénégal

Le delta du fleuve Sénégal constitue une zone de transition entre le domaine continental et le domaine maritime. Il s'est formé durant le Quaternaire sous l'influence des variations climatiques qui ont conduit aux fluctuations du niveau marin avec des cycles d'érosion fluviale et de dépôts alluvionnaires lors des régressions et transgressions marines (Le Brusq, 1980 ; Van Lavieren et Van Wetten, 1988 ; Loyer, 1989 in Ngom et al., 2008). Selon (Gning, 2015), l'histoire de la formation du delta du fleuve Sénégal peut être résumée comme suit :

La transgression du Tafarien, datée de 125.000 ans BP, a engendré un golfe qui couvrait la majeure partie du Trarza (Sud-Ouest de la Mauritanie) et une partie de la région du delta, la mer pénétrait jusqu'à environ 160 km à l'intérieur du continent.

A l'Inchirien, une nouvelle transgression a eu lieu vers 40.000 ans BP et correspond à une phase humide. Elle créa un petit golfe dans la région du Nouakchott. D'après (Audibert, 1970) par rapport avec les phases de transgressions qui ont eu lieu pendant cette période il existe deux types Inchirien. L'inchirien I est constitué par des sables grossiers coquillers ou graviers variés (quartz, jaspes, et grès ferrugineux) avec une tendance argileuse augmentant vers l'Ouest de Richard Toll. L'inchirien II est constitué de dépôts de couches sableuses et argileuses avec une épaisseur de 12 m à 20 m entre Dagana et Rosso.

A l'Ogolien (21.000 ans et 15.000 ans BP), le climat a évolué vers la sécheresse, conséquence de la grande régression du Würm. Durant cette période, le fleuve a profondément creusé son lit, mettant en place des dunes rouges, des sables moyens à grossiers sur une épaisseur de 10 m. Il se termine par la mise place des cordons dunaires orientés NNE-SSW provenant de la

reprise et du modelage des ergs du Quaternaire ancien et moyen, imposant au fleuve son régime endoréique.

Au Nouakchottien, vers 55.000 ans BP, à la fin de sa remontée, la mer a atteint une cote voisine de celle du niveau actuel. Elle pénètre profondément dans la vallée, formant une *ria* qui atteint Bogué à 250 km de la côte et occupe toutes les dépressions voisines : lacs de Guiers et R'kiz, basse vallée du Ferlo (fig.8a). En aval de Richard Toll, le delta du fleuve Sénégal se met progressivement en place. D'abord largement ouvert sur la mer, les houles peuvent pénétrer profondément, formant notamment de hautes plages à *Anadara senilis* en position interne ; ces « terrasses nouakchottiennes », viennent s'appuyer sur les cordons dunaires Ogoliens en partie démantelés. Les nombreux amas coquilliers recensés dans le delta et datés du Nouakchottien, témoignent d'une forte présence humaine à cette époque, probablement des pêcheurs du Néolithique qui se nourrissaient d'Arches et d'huîtres (Sarr et al, 2008 in Gning, 2015).

Durant les deux derniers millénaires de Subactuel et Actuel, l'évolution dans le delta du fleuve Sénégal est marquée par une relative stabilisation générale du cours fluvial (fig.8b). Le système des barres de méandre formant les levées subactuelles et actuelles est relativement simple, ajusté sur le contour des sinuosités du fleuve. Au contraire, les cuvettes de décantation dessinent une mosaïque complexe, contrainte par le tracé des bourrelets de berge post-flandriens et récents.

Dans le bas-delta, l'avancée des sables éoliens vers l'intérieur détermine l'apparition de dunes paraboliques semi-fixées tandis que la flèche sédimentaire se développe pour constituer la Langue de Barbarie. Dans la zone de contact entre les influences marines et fluviales se forment des étendues de sables, de limons et de vases auxquelles on conserve le nom de vasière littorale, les « slikkes et schorres », même si la part réellement argileuse dans le sédiment est très subordonnée à celle du quartz limoneux ou sableux (Sall, 2006 in Gning, 2015).

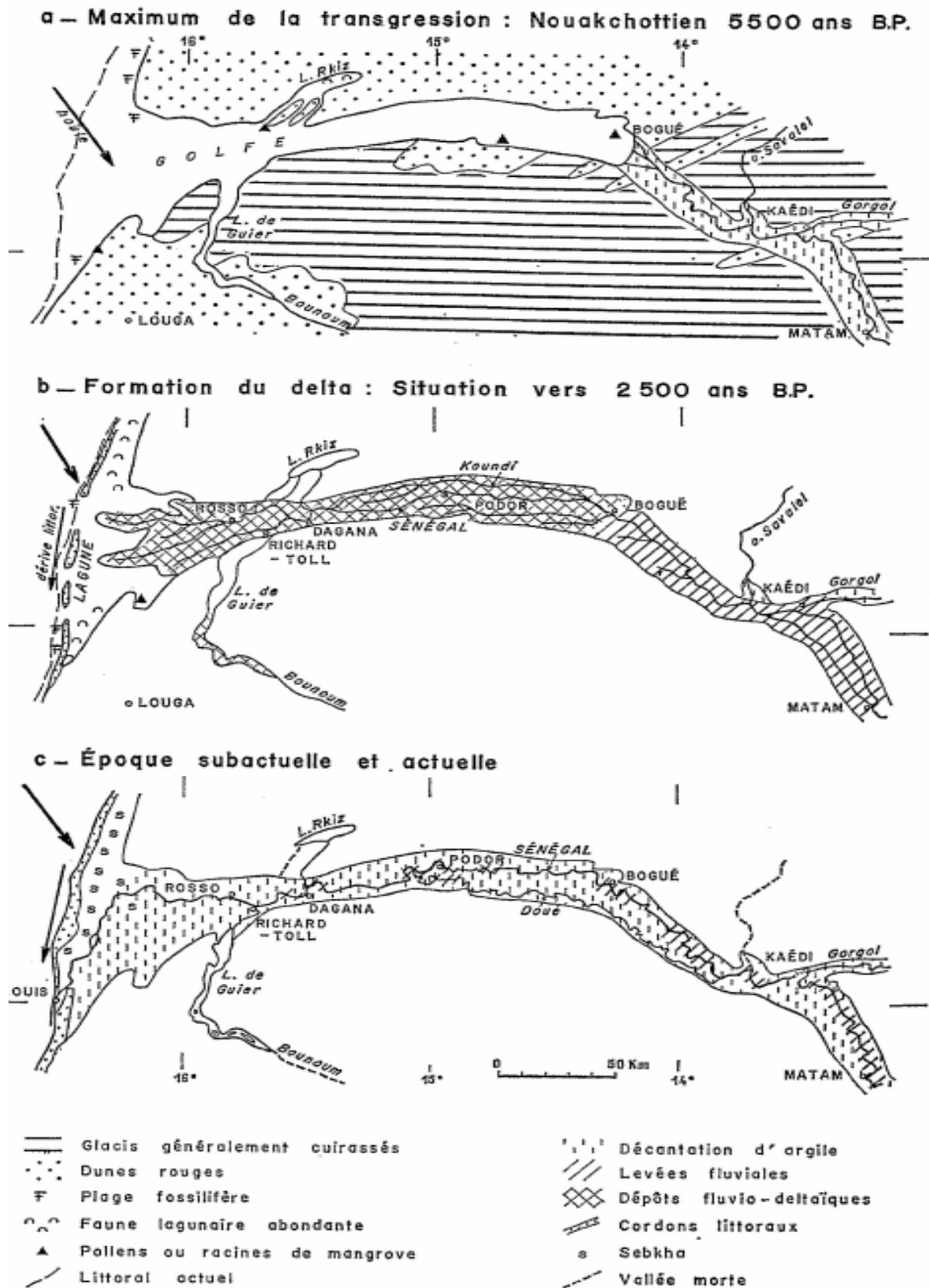


Figure 10: évolution de la basse vallée du Sénégal depuis la dernière transgression (Michel, 1973 in Gning, 2015)

➤ La stratigraphie

La stratigraphie est connue grâce à l'étude des affleurements et surtout celle des sondages pétroliers de Toundou Besset et de Leona (Allon, 1957) et d'exploitation d'eau Saint Louis (Audibert, 1970).

- Le secondaire :

On le reconnaît dans le delta par les sondages de Toundou Besset, de Leona au Sud, de Saint Louis et de Dagana. Ce sont des sédiments sableux ou gréseux à caractère marin mais à tendance continentale, appartenant au Sénonien dont l'étage supérieur est le Maastrichtien. Elles sont atteintes à 40 m au niveau de Dagana par le jeu de l'anticlinal de Guiers, à 500 m au niveau de Toundou Besset et à 400 m au niveau Leona Sud.

- Le Tertiaire
- ✓ Le Paléocène

Il représente le premier étage du Tertiaire marin transgressif. Dans le delta on le rencontre à l'Ouest de Toundou Besset sous forme de marnes et de grès calcaires et à l'Est de Rosso sous forme de calcaires coquilliers. L'émersion partielle produite à la fin du paléocène est à l'origine de la karstification de calcaires selon Martin (1970) in Diaw (2008).

- ✓ L'Eocène inférieur :

Il est représenté par des faciès marneux à l'Ouest de Toundou Besset (150 m) et à Saint Louis, (200 m). Il apparaît aussi dans les sondages de Rosso (30 m) sous forme de faciès argilo-sableux et affleure sur les berges du Lacs de Guiers. A l'est, l'Eocène inférieur est complètement érodé par le fleuve à Richard Toll du fait de sa position haute sur le Dôme de Guiers (Diagana, 1994).

- ✓ L'Eocène moyen :

Il est représenté par des faciès argilo marneux, de marnes ou de calcaires dont le chemin est souvent tronqué par l'érosion. L'Eocène moyen est connu à l'ouest du delta (Toundou Besset et Saint Louis), sous forme de calcaires marneux, de marnes et surtout de calcaires à nummulites avec une épaisseur moyenne de 200 m environ (Diaw, 2008).

- ✓ L'Eocène supérieur

Son existence au niveau du Delta reste cependant hypothétique pour les géologues de l'OMVS car les sondages réalisés au niveau de Saint Louis et au niveau de Toundou Besset

ne reflètent pas les mêmes types d'agencements de faciès. A Saint Louis, les calcaires marneux de l'Eocène moyen apparaissent au-dessus des calcaires à nummulites alors qu'à Toundou Besset les couches à calcaires contiennent des nummulites jusqu'à leur sommet. Selon Gning (2015), ces dépôts peuvent être attribués à la formation de Matam avec un faciès marno-carbonaté.

✓ Oligocène- Pliocène- Miocène (formations du Saloum)

On regroupe ces trois étages car il est difficile de les distinguer entre eux. On les rattache souvent à celle des formations du Tertiaire supérieur. A Saint Louis, ils apparaissent sous forme de sable et de grès glauconieux qui surmontent les couches à calcaires attribuées parfois à celle de l'Eocène supérieur. A Toundou Besset, ils apparaissent sous forme de sable à faciès argileux et lumachelliques à nodules ferrugineux surmontant les faciès de l'Eocène (Audibert, 1970).

- Le Quaternaire

Il s'agit des formations alluvionnaires déposées par le fleuve et ses affluents (figure 9). Ils sont très hétérogènes et diversifiés.

✓ Le Quaternaire ancien

Il est représenté par une cuirasse ferrugineuse qui coiffe les formations du Tertiaire supérieur. Cette cuirasse se trouve en bordure du delta sur les rives de Lac de Guiers et à l'Est de Rosso Bethio (rive Est du Ndiael), sous forme des amas des gravillons ferrugineux roulés.

✓ Le Quaternaire moyen

On le rattache souvent à un certain nombre de faciès continentaux avec des intercalations marines ou lagunaires. Il apparait à Rosso de 34 à 37 m d'épaisseur sous forme d'argiles et de sables à débris de végétaux, à Saint Louis de 33 à 47 m d'épaisseur sous forme de sables à graviers ferrugineux et à Toundou Besset à partir de 34 m d'épaisseur sous forme d'argiles versicolores et de sables grossiers (Audibert,1970).

- Le Quaternaire récent

✓ L'Inchirien

Il est constitué par un banc de graviers et de sables. Comme nous l'avons vu récemment au niveau de l'historique de la formation du delta, il peut être scindé en deux :

L'inchirien I : il apparait dans les sondages de Richard Toll de 25 à 30 m sous forme de sables graviers coquillers, de Rosso de 24 à 25 m sous forme d'argiles vertes et de 26 à 37 m sous forme de sables argileux tourbeux, et de Toundou Besset de 23 à 34 m sous forme de sables et de grès argileux verts

L'Inchirien II : il est représenté au niveau du delta par des dépôts sableux, sablo-argileux voire des vases. Il apparait dans le sondage de Richard Toll sous forme de vases argileuses et sableuses à coquille, et dans le sondage de Rosso sous forme vases sablo-argileuses, tourbeuses à coquille et de sables beiges

✓ Post Inchirien et Ogolien

Aucun sédiment ne correspond à la période post-inchirienne mais sa présence est marquée par des mouvements tectoniques qui ont relevé la partie Nord-Est du golf marin avant l'Ogolien. L'Ogolien apparait dans le delta sous forme de dépôts de dunes rouges, de sables moyens à grossiers et de cordons dunaires de direction NNE-SSW.

✓ Le Nouakchottien

Il est constitué par le dépôt de terrasses marines bien développées en bordure du delta. Il affleure dans le delta au niveau de la banlieue Sud de Saint Louis sous forme de sable argileux à *Arca senilis*.

✓ Subactuel et Actuel

Ils sont représentés dans le delta par le dépôt de :

- Sables et de limons de levées
- Limons et argiles des cuvettes de décantation