

Influence des facteurs géologiques, paléoclimatiques et anthropiques dans l'estuaire du fleuve Ouémé au Bénin

A. R. M. A. ADECHINA⁸, C. N. KÉLOMÈ⁸, R. A. LAIBI⁸, J. B. HOUNKPE⁸ et G. A. MENSAH⁹

Résumé

Les écosystèmes naturels ne sont pas indifférents des fortes variabilités climatiques intersaisonniers de ces dernières années. L'évaluation des impacts actuels de ces variabilités nécessitent la connaissance des environnements passés. Cet article a été rédigé sur la base d'une synthèse bibliographique sur l'évolution des environnements géologiques et paléoclimatiques des 20.000 ans B.P. (Before Present, Avant le Présent) ainsi que sur les méfaits des activités anthropiques dans l'estuaire du fleuve Ouémé au Bénin. L'approche méthodologique utilisée a été une collecte et une synthèse des coupes géologiques et palynologiques, ainsi qu'une analyse des travaux relatifs à la qualité chimique des eaux et des sédiments, puis à l'occupation des sols. Les investigations ont montré que depuis le dernier maximum glaciaire jusqu'à 14.000 ans B.P., les forêts et les niveaux marins ont régressé. Une colonisation forestière a été notée entre 13.400 et 12.500 ans B.P. mais elle a été très tôt interrompue par le Younger Dryas. Dès l'Holocène (10.300 ans B.P.), les forêts ont proliféré et l'estuaire du fleuve Ouémé a été transformé en ria. Il s'en est suivi vers 4.200 ans B.P., une péjoration climatique au cours de laquelle l'influence anthropique a été exprimée. Les actions anthropiques ont été traduites par une pollution croissante en éléments traces métalliques et en une déforestation accrue au cours de ces dernières années. Des rejets de diverses sources ont contribué à accroître les teneurs naturelles des métaux toxiques qui ont excédé pour la plupart les normes requises dans l'estuaire du fleuve Ouémé. Une étude est envisagée afin de combiner la sédimentologie et les espèces de dinoflagellés, un outil de reconstitution du paléoclimat. L'évaluation de la fraction réellement biodisponible peut renseigner si pour des teneurs élevées, les ressources biologiques sont potentiellement exposées.

Mots clés : sédiments, paléoclimat, 20.000 ans B.P., anthropique, pollution, Bénin.

Influence of geological, palaeoclimatic and anthropic factors in the estuary of the River Ouémé in Benin

Abstract

Natural ecosystems are not indifferent to the high inter-seasonal climate variability of recent years. The current impacts evaluation of these variabilities requires knowledge of the past environments evolution. This paper was a literature review on the evolution of the geological and palaeoclimatic environments of the 20,000 years B.P. (Before Present) as well as the misdeeds of anthropogenic activities in the estuary of the River Ouémé in Bénin. The methodology was a collection and a synthesis of geological and palynological sections but also an review on works carried out on the land use and chemical quality of water and sediments. It brings out that since the last glacial maximum up to 14,000 years B.P., forests and sea levels have regressed. We noticed forest colonization between 13,400 and 12,500 years B.P., but it was very early interrupted by the Younger Dryas. Since the Holocene (10,300 years B.P.), the forests have proliferated, the estuary of the Ouémé has been transformed into ria. This was followed around 4,200 years B.P. by a pejorative climate in which the

⁸MSc. ADECHINA Adéniran Rodrigue Michel Archange, Département des Sciences de la Terre (DST), Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, E-mail : rdechina@yahoo.fr, Tél. : (+229) 95946470, République du Bénin

Dr. KELOME Carine Nelly, Maître de Conférences des Universités du CAMES, DST/FAST/UAC, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, E-mail : nkelome@yahoo.fr, Tél. : (+229) 66019476, République du Bénin

Dr. Raoul Adéniyi LAIBI, DST/FAST/UAC, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, E-mail : raoulaibi@yahoo.fr, Tél. : (+229) 95 84 81 39, République du Bénin

MSc. HOUNKPE Jéchonias Bidossèssi, DST/FAST/UAC, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, E-mail : jecolune2@yahoo.fr, Tél. : (+229) 66 54 43 71, République du Bénin

⁹Dr Ir. MENSAH Guy Apollinaire, Directeur de Recherche du CAMES, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin et Centre de Promotion de Transfert des Technologies (CPTT/UAC), 01 BP 2359 Recette Principale, Cotonou 01, e-mail : mensahga@gmail.com / mensah@yahoo.com, Tél. : (+229) 97 49 01 88/95 22 95 50, République du Bénin

anthropogenic influence was expressed. Anthropogenic actions have resulted in increasing pollution of metallic trace elements and increased deforestation in recent years. Discharges from various sources have contributed to increasing the natural levels of toxic metals, which for most of the cases exceed the standards required in the Ouémé estuary. A study that can combine the sedimentology and the species of dinoflagellates, a real tool of reconstitution of the paleoclimate, is going to be carried out. The fraction evaluation actually bioavailable can indicate if for high levels the biological resources are potentially exposed.

Key words: sediments, paleoclimate, 20000 years BP, anthropogenic, pollution, Benin.

INTRODUCTION

Les milieux margino-littoraux représentent une interface entre la terre et l'océan, et regorgent d'importants écosystèmes capables d'enregistrer les modifications environnementales dues aux facteurs géologiques, climatiques, socio-économiques etc. (Green *et al.*, 2013). A titre d'exemple à ces modifications environnementales, il est remarqué que, depuis 1850, les périodes de trois décennies sont de plus en plus chaudes que les précédentes (IPCC, 2014). Les conséquences de ces mutations récentes se manifestent par des irrégularités pluviométriques, la modification des températures de surface de l'hydrosphère, la pollution des eaux, l'effet de serre... (Guo *et al.*, 2015).

Le long des côtes du golfe de Guinée, les milieux margino-littoraux regroupent les plaines littorales et leurs prolongements à l'intérieur du continent (Kaki *et al.*, 2011b). L'estuaire du fleuve Ouémé dans le domaine margino-littoral du Bénin n'est pas épargné de ces perturbations d'échelle planétaire. En effet, depuis trois décennies, il est frappé par la récession des précipitations, la hausse des températures maximales, la récurrence des inondations, la régression forestière, les rejets de résidus toxiques notamment les éléments traces métalliques... (Akognongbe *et al.*, 2014, Zannou et Vodounou, 2011). Du point de vue géologique, Mix *et al.* (2001) et Agassounon (2002) ont souligné que la genèse de l'estuaire du fleuve Ouémé coïncide avec le dernier maximum glaciaire situé entre 21.000 et 18.000 ans B.P. (Before Present, Avant le Présent). Toutefois, la plus intense phase de dépôt des sédiments fut à la faveur de la transgression holocène datée de 7.500-5.500 ans B.P. (Ballouche *et al.*, 2001 ; Agassounon, 2002 ; Oyédé, 1991). Vers la fin de l'Holocène moyen (4.000 ans B.P.), les sédiments déposés progradent en direction du complexe lagunaire «lac Nokoué-lagune de Porto-Novo» situé en aval (Kédomé *et al.*, 2012).

Dans le contexte de réchauffement climatique qui a marqué ces trois dernières décennies (IPCC, 2014), la validation et la fiabilité des modèles de prédiction sur l'évolution future contraignent à s'appuyer sur une connaissance solide de l'histoire des environnements. Les sédiments de l'estuaire du fleuve Ouémé sont susceptibles d'enregistrer les messages des grands événements climatiques et géologiques passés. Les études géologiques réalisées dans l'estuaire du fleuve Ouémé n'ont pas analysé le contexte paléoclimatique de dépôt des différentes séquences sédimentaires identifiées. Les implications des régressions forestières sur les processus sédimentaires ainsi que celles des rejets toxiques sur la qualité des eaux et des sédiments méritent aussi d'être analysées. Le problème relevé est ; la méconnaissance du paléoclimat de dépôts des sédiments ainsi que l'analyse des méfaits des activités anthropiques, annihile l'évaluation de la vulnérabilité de l'estuaire du fleuve Ouémé vis-à-vis des forçages naturels et anthropiques. Ce travail de synthèse bibliographique visait à reconstituer le paléoenvironnement des dépôts et à analyser les conséquences des activités anthropiques de ces dernières années dans l'estuaire du fleuve Ouémé. De façon spécifique, il s'agit de caractériser l'environnement de dépôt des séquences sédimentaires, d'analyser le contenu palynologique des sédiments, de situer le paléoclimat des dépôts dans le contexte intertropical africain et global, et enfin d'analyser la vulnérabilité de l'estuaire face aux éléments traces métalliques et à la destruction du couvert végétal.

METHODOLOGIE

L'estuaire du fleuve Ouémé est localisé dans la partie méridionale du Bénin, un des pays Ouest-africains intertropicaux (Figure 1). Le fleuve Ouémé est le principal cours d'eau du réseau hydrographique dont les affluents sont l'Okpara, et le Zou. Cet estuaire est intégré au bassin sédimentaire côtier du Bénin, lequel est formé du domaine des plateaux et le domaine margino-littoral. Les formations géologiques sont constituées de dépôts quaternaires qui reposent sur une épaisse couche de grès, d'argiles, du calcaire... dont les âges remontent jusqu'au Cénomaniens (IRB, 1987). La lithologie des dépôts quaternaires est composée d'argiles, de sables, de vases, de tourbe (Laibi, 2011).

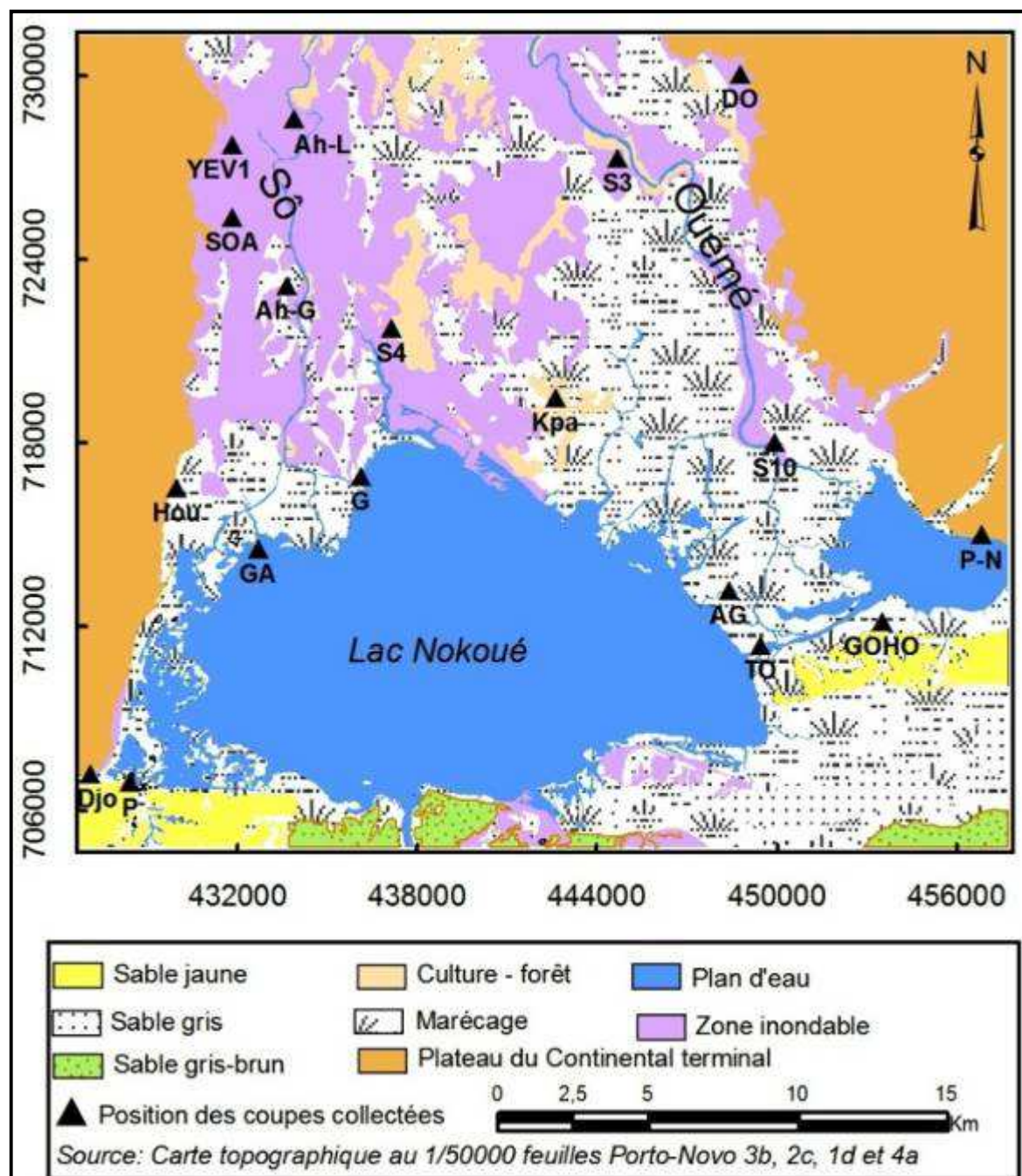


Figure 1. Localisation du delta de l’Ouémé, des coupes géologiques et palynologiques

Le climat est du type subéquatorial avec des températures moyennes de l’air d’environ 28,33 °C à la grande saison sèche et 27,46 °C à la grande saison pluvieuse (Zannou et Vodounou, 2011). Les mois de février, mars et avril plus chauds connaissent des journées chaudes (31-33 °C) suivies des nuits fraîches (24-26 °C).

L’approche méthodologique utilisée a consisté à la collecte des données historiques qui étaient de deux catégories. La première regroupait les coupes sédimentologiques et palynologiques et la seconde a concerné les données relatives à la qualité chimique des eaux et des sédiments ainsi que celles relatives à l’occupation des sols. Les coupes géologiques utilisées ont été réalisées à partir de cinq forages profonds de 26 à 42 m et 12 petits sondages dont les profondeurs variaient de 2,70 à près de 10 m (Figures 1, 2, 3 et 4).

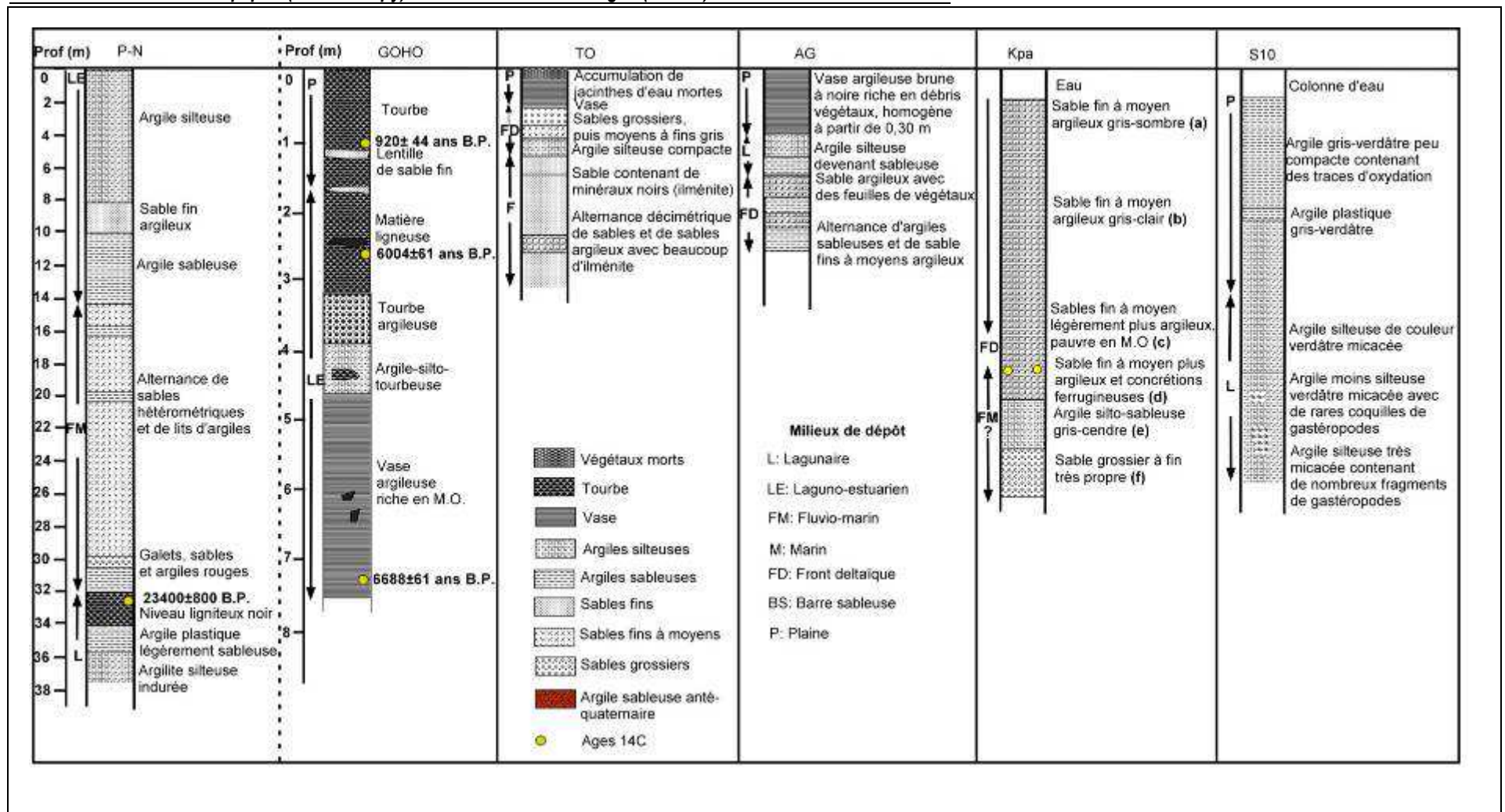


Figure 3. Coupes lithostratigraphiques des sondages P-N, GOHO, TO, AG, Kpa et S10

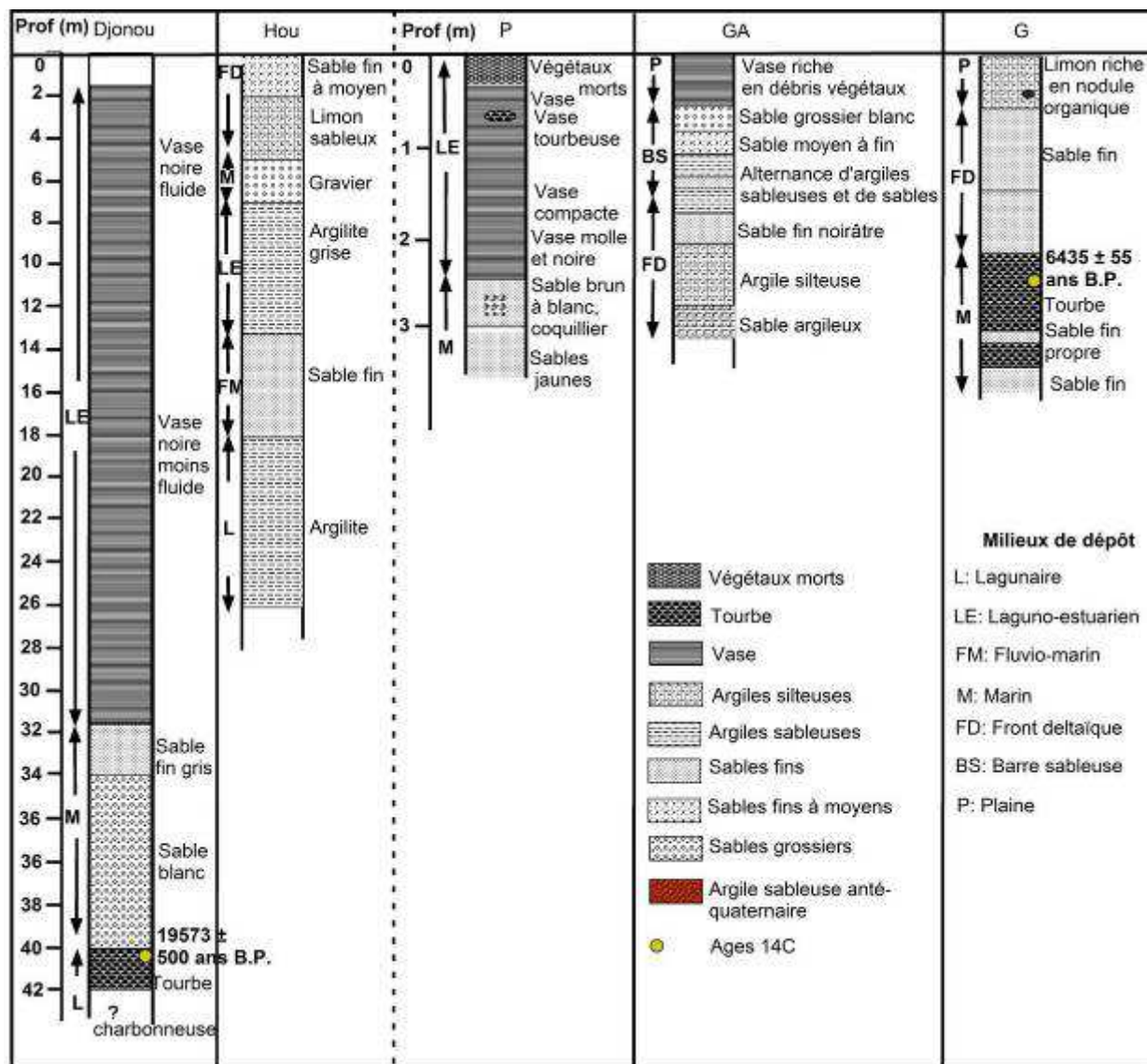


Figure 4. Coupes lithostratigraphiques des sondages Djonou, Hou, P, GA et G

Les forages profonds notés AH-L, Ah-G et Hou ont été réalisés par la Direction de l'Hydraulique dans le cadre du projet « hydraulique villageoise, zones lacustres » et ont été décrits par Agassounon (2002). La chronologie pour ces dépôts a été basée sur la corrélation avec les coupes P-N (Oyéde, 1991) et Djonou (Laibi, 2011) datées au ^{14}C (Figures 3 et 4). Les petites carottes GA, AG, TO et P, non datées, ont été étudiées par Oyéde (1991). La lithologie de la coupe YEV1 a été obtenue à partir de forages réalisés dans le cadre du projet « Dahomey Gap » (Ballouche *et al.*, 2001) et les mesures chronologiques au ^{14}C ont été faites par Agassounon (2002). Les sondages GOHO (Goho), SOA (Sô-Ava), DO (Dogla-Lago) ont été exécutés grâce à une coopération entre l'Université d'Angers (France), l'Université Nationale du Bénin (actuelle Université d'Abomey-Calavi) et l'Université de Francfort (Allemagne) dans le cadre d'une étude sur le « Dahomey Gap » (Agassounon, 2002). La carotte G a été collectée des travaux de Agassounon (1998). Les coupes S3, S4, S10 et Kpa non datées, ont été réalisées dans le cadre de notre mémoire de Master en 2013. Les coupes palynologiques réalisées dans le delta sont peu nombreuses et couvrent seulement la période des 7.500 ans B.P. Deux coupes GO et SO (Figures 5 et 6) ont été finalement retenues des travaux de Tossou (2002). Les données relatives à la qualité chimique eau-sédiment étaient assez disparates et représentent les teneurs en polluants toxiques.



Figure 6. (a) Dépotoir situé aux abords immédiats d'un chenal de marée à Dékanmè ; (b) Débarcadère de Sô-Ava (Cliché Adéchina, 2015)

DESCRIPTION DES COUPES GÉOLOGQUES

Coupe Ah-L : E 2°24'10" ; N 6°35'30" (Figure 2) : Elle est réalisée dans la localité de Ahomey-Lokpo sur la rive est de la rivière Sô, sur une profondeur de 154,5 m. Nous sommes intéressés aux 32 premiers mètres. Les dépôts sont essentiellement constitués d'argilites qui s'alternent avec des intercalations calcaires entre 28-32 m. Une intercalation de sables fins est notée entre 19,5-23 m.

Coupe Ah-G : E 2°24'00" ; N 6°32'30" (Figure 2) : Elle est située au Sud de Ah-L dans la localité de Ahomey-Glon et a une profondeur de 120 m. La lithologie des 35 premiers mètres décrits est constituée d'argilites devenant sableuse entre 10-12 m puis 25-30 m.

Coupe YEV1 : E2°33'43" ; N6°29'43" (Figure 2) : D'une profondeur d'environ 5,60 m, elle est située dans la localité de Yévié. Sa lithologie est constituée de faciès sableux, grossier à la base et limoneux entre 4,55-5,50 m. Un épais recouvrement de tourbe est identifié vers le sommet (entre 0,45-4,6 m). Le niveau supérieur est constitué d'argilite plastique.

Coupe SOA : N 2°23'00" , E 6°33'43' (Figure 2) : D'une profondeur de 5,20 m, elle est située du côté de la rivière Sô dans la localité de Sô-Ava. La lithologie du niveau inférieur est constituée de sable fin à moyen aux dépens duquel s'est accumulé 1 m de tourbe. Les niveaux supérieurs sont argilo-vaseux riches en débris de tourbe et en matières organiques.

Coupe DO : N 2°32'13" , E 6°36'16' (Figure 2) : Elle est située dans le village de Dogla-lago en bordure d'une dépression marécageuse près du plateau de Sakété. La sédimentation du bas est représentée par des argilites riches en MO (3-7,30 m) au-dessus du quelle s'est accumulée une épaisse couche de tourbe avec des lentilles sableuse entre 1-2,85 m.

Coupe S3 : E2°29'59.874 ; N6°34'46.65" (Figure 2) : Elle est située au Nord-Ouest de la localité de Kessoumou en bordure du fleuve Ouémé. Les faciès reconnus sont formés d'argilite plastique contenant des galets de tourbe à la base (4-5,5 m).

Coupe S4 : E437170 ; N721740 (Figure 2) : Elle est située dans la localité de Gbéssou et a une profondeur de 4,40 m. Sa lithologie est essentiellement constituée d'argile silteuse sus-jacente aux formations argilo-sableuses rougeâtres de la "Terre de barre".

Coupe S10 : E449972 ; N718003 (Figure 3) : Elle est positionnée au Sud de la localité de Gbodjè et est essentiellement constitué d'argiles très coquillères de gastéropode vers la base.

Coupe : P-N : E2°36'35,7" ; N6°28'5,7" (Figure 3) : Elle est positionnée dans la zone de contact entre le domaine margino-littoral et le plateau de Sakété et a une profondeur de 39,6 m. Sur les argilites silteuses et sableuses, repose une couche ligniteuse datée de 23400 ± 800 ans B.P. (Lang et Paradis, 1984 ; Oyédé, 1991). Le recouvrement de ce niveau de tourbe est constitué d'argiles rougeâtres surmontées de niveaux de sables. Ces sables sont d'abord grossiers et présentent ensuite une granulométrie fine à moyenne entre 30-14 m avec des alternances de lits d'argiles. Le niveau supérieur argilo-sableux et silteux est recoupé par 1,6 m de sable fin argileux.

Coupe AG : E2°32'1,15" ; N6°27'6,65" (Figure 3) : Sa profondeur est de 2,70 m et est située en bordure du distributaire de l'Ouémé qui mène à Aguégoué-Hlazoumè. Les niveaux inférieurs (entre 1,5-2,70 m) sont caractérisés par une alternance de sables fins à moyens argileux et d'argiles sableuses. Le faciès argileux sus-jacent est vaseux de 0,9 m jusqu'à début du sondage.

Coupe TO : E2°32'35,313" ; N6°26'7,92" (Figure 3) : Située sur la rive nord du chenal de Toché, les agencements de faciès sont constitués par une alternance décimétrique de sables et de sables argileux riches en ilménite de la base jusqu'à 1,3 m. Une granocroissance allant des argiles silteuse compacte au sable moyens à fins puis grossiers est notée jusqu'à 0,6 m. Sur ces sables reposent de la vase aux dépens du quelle s'est accumulé la jacinthe d'eau morte.

Coupe GOHO : E2°34,805' ; N6°26,560' (Figure 3) : Elle est positionnée dans la localité de Goho, au Sud du débouché du canal de Toché dans la lagune de Porto-Novo et a une profondeur de 7,30 m. La sédimentation est essentiellement argileuse de la base jusqu'à 3,9 m. Ces argiles sont tourbeuses vers leur toit et sont surmontées de tourbe argileuse (3,9-3,15 m) et de tourbe franche.

Coupe Kpa: E2°28'52.1" ; N6°30'31.34" (Figure 3) : Elle est positionnée à l'intérieur de la terre émergée aux dépens duquel sont développées des forêts claires de la localité de Kpaffè. Sur les sables grossiers à fins propres, il est noté un agencement de dépôts allant des argiles silto-sableuses (5,4-4,7) aux sables fins à moyens argileux. Le niveau sableux entre 4,4-5,4 m renferme des concrétions ferrugineuses.

Coupe Hou : E 2°21'20" ; N 6°28'55,194' (Figure 4) : Elle est réalisée dans la localité de Houekomé au Nord-Ouest du lac Nokoué notamment en bordure du plateau d'Allada et sa profondeur totale est de 58 m. Les 26 premiers mètres décrits montrent une lithologie très hétérogène. La séquence sédimentaire est globalement négative constituée d'argilite (7-26 m) intercalée de sable fin. Ces faciès sont recouverts de graviers et de sables fins à moyens.

Djonou : E2°20'26,76" ; N6°23'50,386" (Figure 4) : Elle est située au nord du cordon de sable jaune dans le secteur de la lagune Djonou. Au-dessus d'un niveau inférieur de tourbe charboneuse (44-42 m) daté de 19.573 ± 500 ans B.P., repose une séquence positive constituée de sable grossier à la base et de la vase vers le sommet.

Coupe GA : E 2°23'30" ; N 6°27'50" (Figure 4) : Elle est située près du débouché de la rivière Sô dans le lac Nokoué. D'une profondeur de 3,20 m, sa lithologie montre une alternance de bancs sableux et argileux.

Coupe P : E 2°21'99,39" ; N 6°23'41,14" (Figure 4) : D'une profondeur d'environ 3,80 m, elle est positionnée dans les vasières de Godomey au Sud-Ouest du lac Nokoué. Sur les sables, brun à blanc coquillier entre 2,40-3 m, jaunâtre à la base du sondage, reposent 2 m de vases. Ces vases sont tourbeuses avec des débris de végétaux reconnaissables vers leur toit (1,10-0,40 m) et l'ensemble est recouvert d'une accumulation de végétaux.

Coupe G : E2°25'11.9994" ; 6°29'24" (Figure 4) : Elle est positionnée dans le village de Vèki au Nord d'un chenal distributaire de la Sô et est profond de 3,6 m. Sur le niveau inférieur de sable fin s'est accumulé 1,2 m de tourbe montrant une mince intercalation de sable fin blancs autour de 3,1-3,3 m. Les niveaux supérieurs sont globalement sableuse avec un toit limoneux riche en M.O.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE DÉPÔTS DES SÉQUENCES SÉDIMENTAIRES

Première séquence sédimentaire d'âge ogolien

Description : La lithologie de la base des coupes les plus profondes notamment Ah-L (23-32 m), Ah-G (25-35 m), P-N (34-37,5 m) et Hou (18-26 m), est constituée par des argilites silto-sableuses noires parfois en alternance avec des niveaux calcaires (Figures 2, 3 et 4). Aux dépens de ces faciès déposés dans la lagune de Porto-Novo, sont accumulés des tourbes datées de 23.400 ± 800 ans B.P. (Oyédé, 1991) (Figure 3). Un âge proche de 19.573 ± 500 ans B.P. est reconnu pour des tourbes accumulées à la base de la coupe exécutée dans la dépression Djonou (Figure 4).

Contexte de dépôt : Les âges évalués sur les niveaux tourbeux attestent que ces dépôts lagunaires ont lieu pendant la période régressive ogolienne. Durant cette période et dans les dépressions lagunaires, il s'était entretenu un environnement marécageux favorable à la prolifération des végétaux

lesquels représentent les niveaux tourbeux. Pendant cette régression à l'origine du creusement des vallées, sont accumulés dans les chenaux fluviaux et les plaines d'inondation aggradantes, des sables grossiers blancs, des graviers quartzeux, des sables argileux contenant des poches tourbeuses (Agassounon, 2002). L'ensemble de ces dépôts lagunaires et fluviaux représente la séquence régressive ogolienne.

Deuxième séquence sédimentaire d'âge holocène inférieur - moyen

Description : Sur les faciès lagunaires est accumulée une épaisse couche de sables quartzeux fins à grossiers et coquilliers, de sables à intercalations argileuses. Cet agencement lithologique est reconnu dans les sondages comme Ah-L (19,5-23 m), P-N (14,5-32,1 m), Djonou (32,5-40 m) et Hou (13-18 m). Selon Oyédé (1991), les faciès sableux ont un caractère hétérométrique reflétant une origine proche à partir des matériaux anté-quaternaires arrachés des plateaux du "Continental terminal". Ces faciès sableuses sont également identifiés à la base des petites coupes notamment YEV 1 (4,55-5,60 m), SOA (4,9-5,2), P (3 – 2,40 m), G (3,40-3,60 m), (Figures 2, 3 et 4). Les tourbes qui leurs sont sus-jacentes sont datées respectivement de 6951 ± 46 ans B.P. à 6.075 ± 48 B.P. dans la coupe YEV 1, de 7.330 ± 84 dans SOA.

Contexte de dépôt : Ces faciès sableux représentent un placage transgressif pendant la dernière transgression holocène amorcée autour de 7.500 ans B.P. Plusieurs auteurs à la suite de Guilcher (1959) avaient daté l'amorce de la dite transgression entre 6.000-5.000 ans B.P. L'agencement de sables grossiers à fins propres (5,4 m à la base) et du sable contenant des concrétions ferrugineuses (4,4-5,4 m) dans le sondage Kpa fait penser à un contexte similaire. Selon Oyédé (1991) les légères fluctuations qui ont été associées à cette transgression, ont été soldées par la formation de la première génération de cordons de sables jaunes (autour de 5500 ans B.P.). Par contre, Laibi (2011) a plutôt attesté le dépôt de la seconde génération de cordon de sable gris. Les sables jaunes semblent être déposés par une mer inchiennienne (45-25.000 ans B.P.) puis jaunis à l'Ogolien. Malgré la diversité des opinions, il est noté que, en arrière des cordons littoraux formés, s'était déroulé une importante sédimentation fine et le développement d'un système de ria à mangrove. Ainsi, dans un environnement laguno-estuaire ont été accumulées des argiles silto- sableuses et des tourbes des localités de Ahomey-Glon (Ah-G 10-25 m), Dogla-Lago (DO 8,10-9,90 m), Hou (7-13 m). Les datations faites sur les tourbes de la coupe DO ont attesté un âge de 7.529 ± 66 à 6.093 ± 59 ans B.P. (Figures 2 et 4). Ces faciès laguno-estuariens sont également identifiés en bordure les dépressions marécageuses (exemple P-N 10-14,2 m) et sont associés à d'épaisse couche de vases riches en matières organiques (M.O.), aux tourbes argileuses et aux tourbes dans les coupes de Goho (6.688 ± 61 à 6.004 ± 61 ans B.P.), Djonou et Godomey. L'ensemble de ces dépôts fluvio-marins, laguno-estuariens correspond à la séquence liée à la transgression nouakchottienne.

Troisième séquence sédimentaire d'âge holocène supérieur

Description : Sur les argilites laguno-estuariens reconnues entre 7 et 13 m dans la coupe Hou, sont accumulés des graviers (Hou 5-7 m). Cette succession lithologique avait été signalée dans la localité de Ganvié (Agassounon, 2002). Selon Oyédé (1991), ces dépôts sont caractérisés par un granoclassement négatif de sables grossiers à fins avec de minces laminations silto-argileuses et sont fortement coquilliers.

Contexte de dépôt : Le dépôt de ces sédiments est fait suite à une légère baisse du niveau marin qui est maintenu supérieur à l'actuel. Ces dépôts ont été effectués pendant la phase régressive de l'Holocène supérieure.

Quatrième séquence sédimentaire d'âge holocène supérieure

Description : Les niveaux supérieurs des coupes sont constitués d'argiles sableuses avec des éléments grossiers vers le sommet. C'est le cas des coupes TO (0,6-2,7 m), AG (1,2-2,7), G (0,6-2,2 m). Ces sédiments sont couronnés par des argiles silteuses, des tourbes et des boues contenant des végétaux peu décomposés.

Contexte de dépôt : Ces dépôts subactuels à actuels ont lieu dans un environnement fluvio-lagunaire avec des incursions périodiques de la marée. Ils sont déposés dans un contexte de la plaine deltaïque et du front deltaïque. Les dépôts du front deltaïque sont représentés par des barres sableuses de chenaux et d'embouchure et sont agencés suivant une séquence négative de types « coarsening up

ward » (Oyéédé, 1991). Un tel agencement est reconnu dans les niveaux supérieurs du sondage Kpa. Les dépôts du front deltaïque sont recouverts par ceux de la plaine deltaïque constitués de boues avec des végétaux peu décomposés. La corrélation entre les alternances d'argiles et de sables fins à moyens du sondage AG (1,8-2,7 m) interprétées comme ayant lieu en bordure lagunaire avec les argiles micacées contenant des fragments de coquilles du Sud de Gbodjè (S10 4-6,5 m) met en évidence une progradation des dépôts de la plaine en direction du complexe lagunaire du lac Nokoué-lagune de Porto-Novo. Des sondages plus profonds des secteurs du Sud de Gbodjè (S10) et du Nord du canal Toché permettront d'identifier les séquences liées à la transgression holocène et sous-jacentes aux dépôts lagunaires. Par ricochet, des corrélations pourraient être établies avec séquences holocènes des dépressions lagunaires de Porto-Novo et de Goho.

PALYNOLOGIE

Les travaux sur la palynologie de l'estuaire sont peu nombreux et limités à la période des 7.500 ans B.P. L'analyse palynologique concerne deux coupes GO (ou Goho) et SO (SOA) dont le contexte géologique a été décrit plus haut. Ballouche *et al.* (2001) puis Tossou (2002) ont défini une première zone pollinique à *Rhizophora* (50-95%) entre 7300 et 2500 ans B.P. Dans les palynomorphes identifiés, il est noté une proportion importante de dinoflagellés contrairement au *Cyperaceae* qui ont régressé. Entre 2500 et 2000 ans B.P., les *Rhizophora* qui régressaient ont fini par disparaître (Figure 5a.). Selon Tossou (2002), le développement des *Rhizophora* entre 7.300 et 2.500 ans B.P. a été effectué à proximité des forêts marécageuses et semi-décidues. Leur disparition était associée à réduction de l'espace forestier, au défrichement et à l'installation de la végétation anthropique.

Au regard de l'essor technologique de ces dernières années, les principaux secteurs d'intervention de l'homme sur son environnement ont rimé dans un modèle sans précédent. Les différentes formes d'intervention ainsi que les impacts connexes sur l'estuaire du fleuve Ouémé ont été exposés à la suite de cette rubrique.

APERÇU DES INTERVENTIONS ANTHROPIQUES DE CES DERNIÈRES ANNÉES ET LES IMPACTS AFFÉRENTS SUR L'ESTUAIRE DU FLEUVE OUÉMÉ

Principales activités anthropiques sources de déchets toxiques pour l'estuaire du fleuve Ouémé

Les secteurs d'activité exposés concernent les activités agricoles, domestiques, industrielles et de transports terrestres et lacustres. Au Bénin, le secteur agricole occupe 70% de la population active (INSAE, 2010a). La culture du coton constitue la principale culture de rente qui consomme près de 90% du marché des insecticides (Adechian *et al.*, 2015) et 96% des engrais chimiques. Assogba (2014) avait signalé que ces intrants provoquent des émissions après la récolte et sont à l'origine de la pollution de l'air et des cours d'eau par ruissellement puis infiltration. Par ailleurs, une note technique du Partenariat National de l'Eau du Bénin (PNE-Bénin, 2010) avait noté que plus de 50% d'intrants n'auraient pas été valorisés par les plantes à l'issue de la campagne 2007-2008.

Quant aux activités domestiques, elles sont renforcées par la poussée démographique de ces dernières années. D'après l'INSAE (2015), de 2002 à 2013, le département de l'Atlantique a regorgé 1.398.229 habitants et 75.000 résident sur le lac Nokoué et aux abords. Autour de la rivière Sô, sur 20 ans, les agglomérations ont augmenté de 202 ha (Mama, 2010). Aux différentes stratégies conçues pour maîtriser un tel contexte se greffe malheureusement une indécatesse de certaine population riveraine. Des déchets solides et liquides sont quotidiennement déversés soit dans les caniveaux et les collecteurs d'eau qui débouchent dans le lac, soit aux abords directs du lac Nokoué et de seschenaux (Figure 6a). D'autres sources de rejets notamment les eaux de refroidissement des installations et leseaux usées des unités industrielles ainsi que les déchets solides du marché international de Dantokpa sont à signaler. Entre le troisième et le quatrième trimestre de 2014, l'indice de la production industrielle a connu une hausse de 4,9% avec une bonne tenue des industries chimiques (+21,8%) et énergétiques (+12,0%, INSAE (2015)). Dans le secteur du transport, de 1980 à 2008, les unités de transport au Bénin étaient passées de 5 à 42 (INSAE, 2010b). Ce secteur contribue à la pollution atmosphérique surtout dans les grandes villes. A Cotonou, la concentration atmosphérique en CO₂ entre 2001 et 2004 était de 400 ppm contre 380 ppm dans les zones rurales (Kédomè, 2006). Par ailleurs, le trafic frauduleux des hydrocarbures en provenance du Nigeria s'est

aussi développé à travers le lac Nokoué et la lagune de Porto-Novo. Les embarcadères d'Abomey-Calavi, d'Akassato et de Sô-Ava représentent de véritable point de distribution où se produisent d'importants déversements (Figure 6b).

Impacts liés aux interventions anthropiques

Destruction du couvert végétal

Ces dernières décennies, les activités agricoles sont de plus en plus associées au déboisement et à la destruction du couvert végétal. Selon Paradis (1988), 95% du territoire béninois autrefois couvert par les mangroves sont actuellement occupés par des herbacées. Récemment dans le bassin versant de l'Ouémé, il a été démontré que, de 1978 à 2010 les formations forestières et les savanes naturelles ont régressé de 607511 ha tandis que les formations anthropiques ont progressé de 607.494 ha (Akognongbe *et al.*, 2014). Les forêts jouent un rôle important dans l'équilibre environnemental par le piégeage des sédiments et l'amortissement des courants. La dégradation forestière aurait intensifié l'érosion des anciens dépôts deltaïques de l'Ouémé avec pour corollaire le comblement progressif du lac Nokoué (Oyédé, 1991 ; Kédomé *et al.*, 2012). En thème d'évaluation des charges en transit, une quantification des apports totaux solides de la crue de l'Ouémé en 1956 sur la plaine a donné 19.500 kg/ha dont 1.525 kg/ha de matières organiques. Ces apports ont presque quadruplé (64.000 kg/ha) en 1957 avec une pluviométrie passant de 166 à 1.384 mm. Les mesures de transport solide et liquide lors de la crue du 29 août 1966 à Adjohoun dans le bassin versant de l'Ouémé ont révélé un débit solide en suspension de 106 kg/s, un débit liquide de 530 m³/s et une turbidité de 201 g/m³ (Colombani *et al.*, 1972).

État de la pollution des eaux et des sédiments des plans d'eau

Les travaux de Montcho en 2005 cité par Hounkpatin *et al.* (2011) sur les eaux du lac Nokoué ont révélé des teneurs moyennes de 0,000379 mg/litre en Pb et 0,000073 mg/litre en Cd. Plus tard, Lawani (2007) a obtenu des moyennes de 0,199mg/litre, 0,025 mg/litre, 0,374 mg/litre et 0,964 mg/litre respectivement en Pb, Cd, Cu et Zn dans les eaux de surface. Dans les sédiments, les teneurs ont été de 11,7 mg/kg, 124,6 mg/kg, 21,6 mg/kg et 80,9 mg/kg. Comparativement aux études menées par Edoh *et al.* (2010) cités par Hounkpatin *et al.* (2011) montrant une baisse de la teneur en Pb dans les sédiments du lac (moyenne de 0,93 mg/kg), celles de Kaki *et al.* (2011b) ont révélé des teneurs atteignant 13,94 et 22,07 mg/kg pour le Pb et le Cd. Des résultats de Youssao *et al.* (2011), montrent une augmentation spectaculaire à Calavi (Pb : 895,33 mg/kg) et au milieu du lac Nokoué (Pb : 233,25 mg/kg). Les teneurs dans les eaux des deux sites sont respectivement 1,46 mg/litre et 0,98 mg/litre. Sur le site de Dantokpa, les moyennes sont de 1,27 mg/litre et 535,79 mg/kg (Youssao *et al.*, 2011). Ces valeurs sont en hausse par rapport à celles signalées par Sogbohoun (2008) qui sont de 0,75 mg/litre et 196,28 mg/kg pour le même site de Dantokpa. Plus tard, Hounkpatin *et al.* (2012), ont attesté des moyennes en Pb et Cd de 54,04 et 0,74 mg/kg dans les sédiments de Ganvié contre 0,56 et 0,02 mg/litre dans les eaux. Du côté de la lagune de Porto-Novo, l'analyse des eaux prélevées en différentes saisons de l'année a révélé des moyennes annuelles en Pb, Cd, Hg, Cr et Mn respectivement de 2,35 mg/litre, 0,10 mg/litre, 4,99 mg/litre, 4,16 mg/litre et 3,16 mg/litre (Chouti, 2011). Ces teneurs auraient été l'une des causes de la mauvaise qualité des eaux et de la mort des poissons. Dans le fleuve Ouémé, Yehouenou (2005) a révélé que, les sédiments sont contaminés par une vingtaine de résidus de pesticides. Les concentrations sont comprises entre la limite de détection et 810 µg/kg dans la tranche de 0-10 cm. Quant aux métaux, Guédénon (2009) a noté une moyenne de 3,309 mg/kg en Cd dans le secteur de Bonou.

ANALYSE

Le contexte paléoclimatique de dépôt des sédiments au cours des 20000 ans B.P. est situé à l'échelle intertropicale africaine et à l'échelle globale (Figures 5 et 7). Les indicateurs du paléoclimat régional sont la palynologie, la limnologie et les "Sea-Surface Temperature, SST". Les données palynologiques sont celles des régions de Barombi-Mbo, Bambili (Assi-Kaudjhis, 2011) et M'balang (Vincens *et al.*, 2010) au Cameroun, de Bosumtwi au Ghana (Maley, 1987), de Kivu dans les marais de Cishaka en RD-Congo (Kabonyi, 2015), de Sinda au Congo (Vincens *et al.*, 1998), de Ngamakala au Sud-Congo (Elanga *et al.*, 1994) et du delta du Niger au Nigeria (Lezine *et al.*, 2005). Les courbeslimnologiques sont celles de Bosumtwi au Ghana (Maley, 1987), du lac Abhe et du complexe Ziway-Shala en

Éthiopie (Nyssen *et al.*, 2003). Les données relatives à la qualité chimique eau-sédiment sont assez disparates. Dans l'eau, elles ont été confrontées aux normes de « l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry » (ATSDR, 2007) et du Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement (1999). Dans les sédiments les normes utilisées sont celles du Groupe mixte d'Experts chargé d'étudier les Aspects Scientifiques de la Protection de l'Environnement Marin (GESAMP, 1982) et de la directive /76/464/CEE 2000.

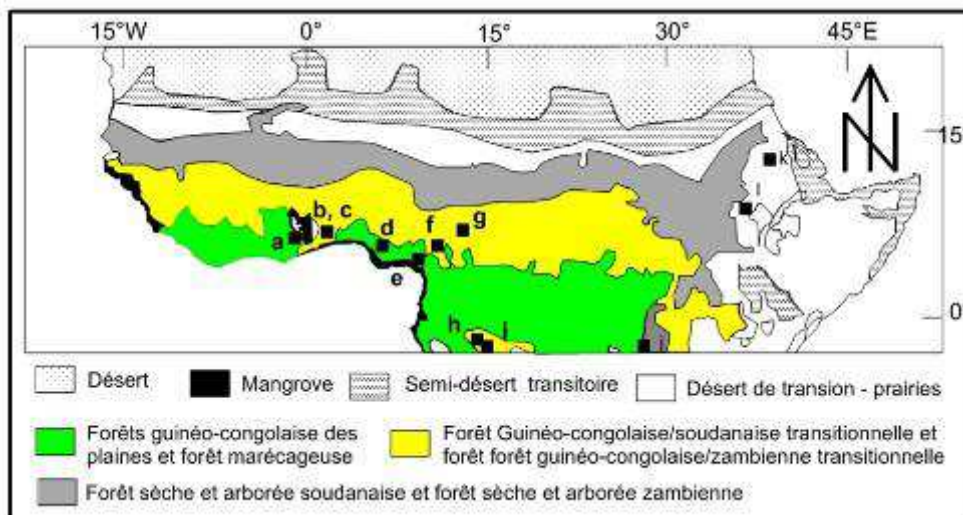


Figure 7. Localisation des coupes palynologiques et limnologiques avec le contexte végétatif. a. Bosumtwi ; b. SOA ; c. Goho ; d. delta du Niger, e. Barombi M'bo, f. Bambili ; g. M'balang ; h. Sinda ; i. Ngamakala ; j. Kivu ; k. Abhe ; l. Ziwah

Palynologie et paléoclimat des 20000 ans B.P. en Afrique intertropicale

Dans la région du lac Bosumtwi (Ghana) située à l'Ouest du fleuve Ouémé, les forêts ont régressé énormément entre 19.000 et 15.000 ans B.P. au profit des Graminées et des Cyperacées (Figure 5.b). Cette condition aride a été modérée dans la région de Barombi-Mbo au Cameroun où ont été identifiées des zones de refuge forestier (Figure 5.c2). Par analogie aux régressions forestières des régions centrales et orientales de l'Afrique intertropicale, Van ZinderenBakker cité par Lang et Paradis (1977) pense que le territoire bénino-togolais appelé « Dahomey Gap » résulte d'un important rétrécissement de forêts denses pendant les périodes glaciaires. Vers 13.400 ans B.P., une tendance humide a été enregistrée à Bosumtwi. Mais, l'environnement de Barombi-Mboa été trop tôt recolonisé par des éléments afro-montagnards et guineo-congolais dès 15.000-14.080 ans B.P. (Assi-Kaudjhis, 2011 ; Figure 5.c2). Entre 12.000-10.000 ans B.P., Maley (1987) et Kabonyi (2015) ont remarqué une interruption aride favorable à une modeste progression des Poaceae, des Gramineae et des Cyperaceae (Figure 5b). Cette aridité est suivie d'une période humide favorable à l'extension des taxons forestiers de Bambili (Cameroun) entre 10.300- 4.600 ans cal B.P. (calendaire Before Present) (Figure 5.d) et au large du delta du Niger entre 9.700 et 8.500 ans B.P. (Figure 5.c1). Dans l'estuaire du fleuve Ouémé, cette phase humide coïncide avec le développement des Rhizophora lesquels ont disparu dès l'Holocène récent suite à un déficit hydrique (Tossou, 2002). Dans ce contexte climatique de l'Holocène récent, des apparitions brutales de Podocarpus ont été signalées à Bambili entre 4.300 et 3.400 ans cal B.P. Il a été aussi remarqué un mixage de taxons herbacés de savane et ligneux de forêt vers 3.000-2.500 ans B.P. à Barombi Mbo et à M'balang au Cameroun (Figure 5.c1 et c3).

Limnologie des 20.000 ans B.P. en Afrique intertropicale

Une régression du niveau des lacs est remarquable entre 22.000 et 12.000 ans B.P. et coïncide à la baisse des températures de surface de la mer (Maley, 1987 ; Nyssen *et al.*, 2003 ; Damnati, 2014). Par la suite, une impulsion positive est notée autour de 11.500 ans cal B.P. dans le système lacustre Ziway-Shala. D'autres, concomitamment dans les lacs Abhe et Bosumtwi sont signalées entre 9.500

et 8.000 ans cal B.P., 7.000 et 6.000 ans cal B.P., et 5.500 et 4.500 ans cal B.P. (Figures 8 a, b, c et 9).

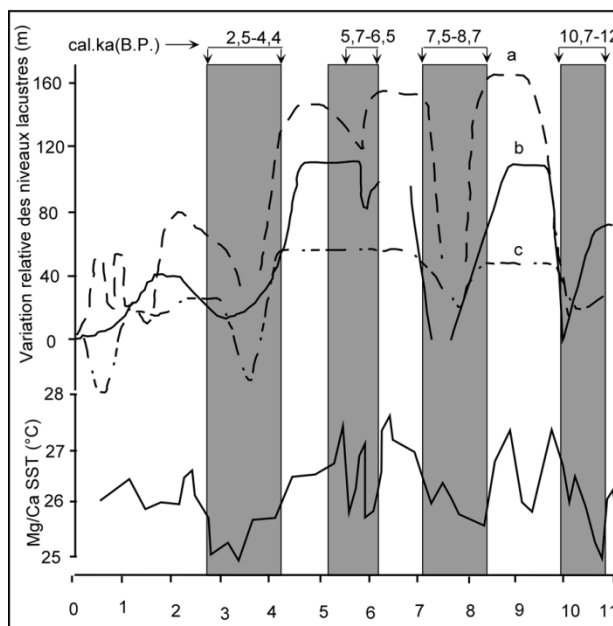


Figure 8. Corrélation entre les températures de surface océaniques holocènes (Sea-Surface Temperature, SST) et les fluctuations des niveaux lacustres. (a) lac Abhé ; (b) complexe Zaway-Shala ; (c) lac Bosumtwi. La bande grise montre la corrélation entre la baisse des SST et les bas niveaux lacustres

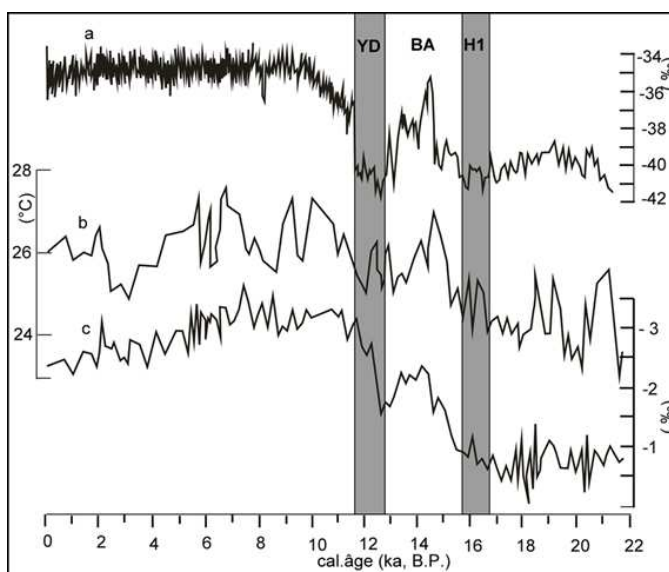


Figure 9. (a) $\delta^{18}O$ des calottes du GISP2 (Greenland IceShe et Project 2) ; (b) SST estimées à partir du Mg/Ca Globigerinoidesruber dans la carotte Geo B4905-4 au large du Cameroun ; (c) $\delta^{18}O$ des G. ruber de Geo B4905-4.

Contrairement au lac Abhe et Zaway-Shala qui ont connu une baisse faiblement prononcée de 6500 à 5700 ans B.P., aucune modification remarquable du niveau du lac Botsumwi n'est observée. Vers 4800- 4200 ans ^{14}C B.P., les lacs se sont retirés au bas niveau. La fin de ce retrait coïncide à l'amorce du déficit hydrique de l'holocène supérieur dans l'estuaire du fleuve Ouémé. Cependant, trois

pulsations positives ont été enregistrées autour de 3.000-1.500 ans cal B.P., 1200 ans cal B.P. et 500 ans cal B.P. dans le lac Abhe. Celles du lac Bosumtwi furent entre 3.000 – 2.500 ans B.P. et autour de 1.200 ans B.P.

Paléotempérature des 20.000 ans B.P. en Afrique intertropicale

Les reconstitutions des températures disponibles pour le milieu continental au Ghana, au Cameroun et au Tchad estiment le refroidissement du dernier maximum glaciaire (23.000-18.000 ans B.P.) entre 5 et 10 °C par rapport à l'actuel (Assi-Kaudjhis, 2011. Clark *et al.* (2012) ont suggéré 4 °C pour la grande partie de l'Afrique tandis que Truc *et al.* (2013) évaluent ce refroidissement à 6 ± 2 °C dans les tropiques sud-africains. Dans le milieu marin, la moyenne des températures annuelles (SST) pour le dernier maximum glaciaire du golfe de Guinée est d'environ 25 °C (Lezine, 1997). Ces températures sont liées à l'intensification des remontées d'eaux froides "upwellings". Les SST de l'Atlantique équatorial est, au large du Cameroun attestent d'un léger réchauffement de $24,7 \pm 0,6$ °C entre 17.000-15.500 ans cal B.P. (Weldeab *et al.*, 2014 ; Figure 9.b et c). Les SST de l'Atlantique équatorial est ont ensuite décliné entre 12.000-10.000 ans B.P. avant de remonter à près de 27 °C autour de 9.700 ans B.P. Quelques interruptions froides sont relevées entre 9.700 et 9.200 ans cal BP, 8.700 et 7.500 ans cal B.P., 6.600 et 6.300 ans cal B.P., et 6.000 et 5.700 ans cal B.P. Celle de $8700 \pm 0,2$ ans cal B.P. est de 24,9 °C. La période de 7.000-6.000 ans cal B.P. correspond au maximum thermique de 27,5 °C centré sur 6.700 ans cal B.P. dans l'Atlantique équatoriale est (Figure 9.b et c). Durant ce maximum thermique a lieu le dépôt de la séquence liée à la transgression holocène, le développement des Rhizophora dans l'estuaire du fleuve Ouémé. Des valeurs minimales de SST d'environ 25 °C sont enregistrées entre 3.500 et 2.600 ans cal B.P. et d'autres moins prononcées entre 1.700 et 1.000 ans cal B.P. et autour de 500 ans cal B.P. Ces baisses de SST ont lieu pendant la période du déficit hydrique remarqué dans l'estuaire du fleuve Ouémé (Tossou, 2002).

Paléoclimat globale et contexte géologique des sédiments de l'estuaire du fleuve Ouémé

La palynologie, l'eustatisme et la limnologie sont confrontés aux enregistrements du « Greenland IceSheet Project 2 : GISP2) basés sur les variations du $\delta^{18}\text{O}$ (Grootes *et al.*, 1993). Le refroidissement du dernier maximum glaciaire (23.000-18.000 ans B.P. ; Figure 9a) est concomitant au stade de rétrécissement des forêts, au bas niveau marin et lacustre. Les anomalies d'insolation en baisse vers les latitudes 10°N ont varié entre 10 et 15 W.m^{-2} (Berger et Loutre cité par Bubenshchikova *et al.*, 2015). C'est dans ce contexte que s'est déposée la séquence de bas niveau marin ogolien dans l'estuaire du fleuve Ouémé. Dans la logique d'un déplacement de la ZCIT, Clark *et al.* (2012) pensent que des conditions arides ont prévalu au Nord de la ZCIT et des conditions plus humides au Sud dans les régions tropicales d'Afrique. Dans l'Hémisphère nord, une tendance chaude est attestée par les SST moyennes et correspond aux événements d'Heinrich 1 (17.000-15.500 ans cal B.P.) (Penaud *et al.*, 2016). En Afrique intertropicale, le retour à une condition humide a lieu après 15.000 ans B.P. avec une nouvelle recolonisation forestière (Assi-Kaudjhis, 2011 ; Kabonyi, 2015). Ce retour est contemporain au Bölling-Alleröd (15.000-12.500 ans B.P. ; B/A, Figure 8). La palynologie et les SST de l'Atlantique équatorial est (Cameroun) montrent une interruption aride entre 12.000 – 10.000 ans B.P. coïncidant avec le Younger Dryas (12.800-11.700 ans B.P.). Dans les hautes latitudes de l'hémisphère nord, l'ensoleillement d'été a atteint son maximum vers 11.000 ans B.P. (Debret, 2008). Cette phase a été accompagnée par le maximum d'ensoleillement à la latitude 10°N, par la hausse du niveau marin et par les transgressions forestières en Afrique intertropicale. La péjoration climatique notée autour de 3.700-2.000 ans B.P. dans l'estuaire du fleuve Ouémé ou dans l'Afrique intertropicale coïncide à un début du Néoglaciale centré sur 3.250 ans B.P. dans l'Hémisphère nord (Van Vliet-Lanoë *et al.*, 2014). Néanmoins, dans ce contexte climatique, Nizou (2009) signale dans les dépôts du fleuve Sénégal, des interruptions humides comme celles de 2.750-1.900 ans B.P. et de 1.100-700 ans B.P.

Impacts de la destruction du couvert végétal

Le contexte de péjoration climatique amorcé depuis 3.700 ans B.P. est couplé par la destruction forestière pendant ces dernières années. Lorsqu'elle est associée aux événements hydrologiques extrêmes (crues), la destruction du couvert végétal est favorable aux apports en matériaux solides et en contaminants dans les zones d'accumulation sédimentaire (Tiéga et Ouédraogo, 2012). Reineck et

Singh (1973) ont montré que les mécanismes d'érosion et de dépôt sont possibles même pour de faibles débits. Selon Bathurst (2013), la charge en transit est liée aux contraintes de mise en mouvement des particules, aux débits et aux caractéristiques intrinsèques du chenal. En outre, les travaux des géomorphologues soulignent l'efficacité du débit à plein bord réputé le plus morphogène à travers le processus d'érosion ou de dépôt (Tiron, 2010). Ce débit est susceptible d'être atteint au cours des inondations récentes dans l'estuaire du fleuve Ouémé.

Comparaison entre la qualité eau-sédiment et les normes internationales

Les normes internationales sont celles de "Agency Toxic Substances and Disease Registry" (ATSDR, 2007), du Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement (CCME, 1999), du Groupe d'Experts chargé d'étudier les Aspects Scientifiques de la Protection de l'Environnement Marin (GESAMP, 1982), de la directive /76/464/CEE 2000. En se référant à l'état des lieux sur le niveau de contamination du « lac Nokoué-lagune de Porto-Novo », on comprend que, excepté la moyenne en Pb (0,000379 mg/litre ; dans le lac Nokoué) évaluée par Montcho (2005), les teneurs en ETM dépassent les valeurs limites fixées à 0,03 mg/litre par le ATSDR (2007) ou à 1-7 µg/litre par le CCME(1999) pour l'eau de surface. Les teneurs admises du CCME fixées à 0,017 µg/l pour le Cd et 4 ng/litre pour le Hg inorganique sont également excédées.

Les sédiments du secteur de Dantokpa concentrent plus de 10-28 fois, les teneurs limites du GESAMP (1982) et celles de la directive /76/464/CEE 2000 fixées à 19 mg/kg pour le Pb. Le cas le plus critique émane des résultats de Lawani (2007) où les teneurs limites de la GESAMP (1982) et de la directive /76/464/CEE 2000 fixées à 0,11 mg/kg pour le Cd ont été excédés à près de 1.133 fois. Dans l'ensemble, le rapport teneurs/seuils témoigne de la vulnérabilité de l'estuaire du fleuve Ouémé vis-à-vis de la pollution en éléments traces métalliques. Cette vulnérabilité est en grande partie fonction du choix des sites d'échantillonnage d'eau et de sédiments analysés.

QUELQUES LACUNES RELEVÉES

Contexte géologique de dépôt

Des séquences sédimentaires évoquant des environnements lagunaires, fluvio-marins ont été reconnues dans la partie intérieure de l'estuaire du fleuve Ouémé notamment dans les localités de Kpaffè, de Gbodjè et des Aguégus. Leur corrélation avec celles identifiées dans l'estuaire de la Sô et dans les dépressions lagunes situées à la limite du domaine des plateaux et le domaine margino-littoral, est hypothétique en raison de l'insuffisance des données chronologiques et des sondages plus profonds dans ces secteurs intérieurs de l'estuaire du fleuve Ouémé.

Contexte paléoclimatique

Les études palynologiques et sédimentologiques de l'estuaire du fleuve Ouémé attestent d'une transgression forestière et marine à l'Holocène inférieur-moyen mais ne mettent pas en exergue les interruptions froides d'échelle séculaire. C'est le cas des refroidissements de 9.700-9.200 ans B.P. et 6.500-5.700 ans B.P., etc.

Impact de la déforestation sur les processus hydrosédimentaires et la pollution

Les récentes données d'occupation du sol attestent d'une pression anthropique sur le bassin de l'Ouémé, mais les connaissances actuelles sur l'approvisionnement sédimentaires sont très anciennes, peu nombreuses et sont loin de refléter la charge transportée dans le contexte de ces dernières décennies. En outre, les formes chimiques des métaux gouvernent leur toxicité, leur biodisponibilité ainsi que leur mode de transfert dans l'environnement. Les travaux antérieurs ne donnent pas un aperçu de la répartition géochimique des métaux. Une mention particulière devra être accordée aux métaux toxiques appartenant à la liste des substances prioritaires de la Directive 2008/105/CE (Cadre sur l'Eau) que sont: le cadmium, le plomb, le mercure, le nickel.

CONCLUSION

Les reconstructions paléo environnementales des 20.000 ans B.P. (Before Present) du delta de l'Ouémé montrent une grande sensibilité de cet écosystème intertropical africain aux changements globaux d'ordre eustatique, paléoclimatique et anthropique. Ces derniers sont enregistrés par des faits

tels que, les régressions et transgressions marines et forestières, les variations des apports fluviogéniques, la régression forestière, la pollution en éléments traces métalliques... Le refroidissement du dernier maximum glaciaire est soldé par une régression des forêts et du niveau marin. Grâce à l'humidité du climat holocène, les forêts prolifèrent, l'estuaire du fleuve Ouémé est transformé en ria. Il s'en est suivi vers 4.200 ans B.P. (Before Present), une péjoration climatique au cours de laquelle sont amorcés les dépôts de la plaine deltaïque actuelle de l'Ouémé et une anthropisation. Des teneurs en éléments traces métalliques excédant les limites admises pour les eaux-sédiments aquatiques, témoignent la vulnérabilité de l'estuaire du fleuve Ouémé vis-à-vis des rejets toxiques. L'insuffisance des données chronologiques, la méconnaissance des outils adéquats de reconstitution du paléoclimat tels que les dinoflagellés, la méconnaissance du devenir des métaux toxiques dans l'eau et les sédiments... sont des aspects qui n'améliorent pas la compréhension de l'influence des facteurs géologiques, paléoclimatiques et anthropiques dans l'estuaire du fleuve Ouémé au Bénin.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adechian, S.A., M.N. Baco, I. Akponikpe, I. I. Toko, J. Egah, K. Affoukou, 2015: Les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. *Rev. Elec. enSci. de l'environ.* 15(2) :1-15.
- Agassounon, L. C., 1998 : Le delta de la Sô (Bénin-Afrique de l'Ouest) : dynamique sédimentaire depuis 7000 ans B.P. ; fluctuation du niveau marin dans le domaine margino littoral du Golfe de Guinée et relation avec les paléo environnements continentaux. Mémoire de DEA, Université de Dijon, Lyon I, Aix-Marseille, Toulouse III, 45p.
- Agassounon, L. C., 2002 : Évolution pédo-sédimentaire du géosystème margino-littoral de l'Ouémé-Sô au cours de l'holocène (Bénin Afrique de l'ouest). Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, 423p.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007: Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services.
- Akogongbe, A., D. Abdoulaye, W. E., M. VissinetBoko, 2014 : Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oueme à l'exutoire de Bétérou (Bénin). *Afr. Sci.* 10(2) : 228 – 242.
- Assi-Kaudjhis, C. 2011 : Dynamique des écosystèmes et biodiversité des montagnes du Cameroun au cours des derniers 20 000 ans. Analyse palynologique d'une série sédimentaire du lac Bambili. Thèse de doctorat, Université de Versailles Saint Quentin-en Yvelines, Université de Liège, 173 p.
- Assogba, D.C., 2014 : La production de tomates, un risque de santé pour les paysans. <https://www.scidev.net/afrique-sub-saharienne> (24/03/2016).
- Ballouche, A., A. Akoegninou, K. Neumann, U. Salzmann, M. A. Sowunmi, 2001 : Le projet Dahomey Gap : une contribution à l'histoire de la végétation au Sud-Bénin et au Sud-Ouest du Nigéria. *Berichte des Sonderforschungsbereichs 268, Band 14, Frankfurt a.M.* 2000: 237-251.
- Bathurst, J. C., 2013: Critical conditions for particle motion in coarse bed materials of nonuniform size distribution. *Geom.* 197,170-184.[dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.008](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.008).
- Bubenshchikova, N., D. Nürnberg, R. Tiedemann, 2015: Variations of Okhotsk Sea oxygen minimum zone: Comparison of foraminiferal and sedimentological records for latest MIS 12–11c and latest MIS 2–1. *Mar. Micropal.* 121, 52–69. [dx.doi.org/10.1016/j.marmicro.2015.09.004](https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2015.09.004).
- CEE, 1976 : Directive 76-464-CEE du 04/05/76 concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses.
- Chouti, W. K., 2011 : Etude de la pollution chimique d'une lagune tropicale (eaux, sédiments, poissons) : Cas de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin). Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 100 p.
- Clark, U. P., J. D. Shakun, A. P. Baker, J. P. Bartlein, S. Brewer, E. Brook, A. E. Carlson, H. Cheng, D. S. Kaufman, Z. Liu, T. M. Marchitto, A. C. Mix, C. Morrill, B.L. Otto-Bliesner, K. Pahnke, J.M. Russell, C. Whitlock, J.F. Adkins, J.L. Blois, J. Clark, S.M. Colman, W.B. Curry, B.P. Flower, F. He , T.C. Johnson, J. Lynch-Stieglitz, V. Markgraf, J. McManus, J.X. Mitrovica, P.I. Moreno, J.W. Williams, 2012: Global climate evolution during the last deglaciation : 1134-1142. University of California at San Diego, La Jolla, CA, Thieme, M.H. (Eds), PNAS.DOI:10.1073/pnas.1116619109/-/DCSupplemental.
- Colombani, J., J. Sircoulon, F. Moniod, J. Rodier, 1972 : Monographie du delta de l'Ouémé. Rapport ORSTOM, Service hydrologie, Paris, 488 p, Inédit.
- Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement, 1999 : Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux: protection de la vie aquatique. In Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Winnipeg, le Conseil.
- Damnati, B., K. A. Khadija, H. Benjilani, M. El Afia, K. El Khoudri, 2014: Lake Level Variations for the Last 30,000 Yr B.P: New Palaeoclimatic Synthesis in Northern Hemisphere of Africa. *ARPN J. of Sci. and Tech.* 4(12): ISSN 2225-7217.

- Debret, M., 2008 : Caractérisation de la variabilité climatique Holocène à partir de séries continentales, marines et glaciaires. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier (Grenoble 1), 308 p.
- Directive 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil, Journal officiel de l'Union européenne, 84-97.
- Elenga, H., D. Schwartz, A. Vincens, 1994: Pollen evidence of late Quaternary vegetation and inferred climate changes in Congo, *Palaeoge., Palaeoclim., Palaeoeco.* 109,345-356.
- Green, V., N. Bueno Watts, K. Wegner, M. Thompson, A. Johnson, A. M. Baptista, 2013: Coastal Margin Science and Education in the Era of Collaboratories. *Currents*.28 (3).
- Grootes, P.M., M. Stuiver, J. W. C. White, S. Johnsen and J. Jouzel, 1993: Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores: *Nature*, 366: 552–554, doi: 10.1038/366552a0.
- Groupe mixte d'Experts chargé d'étudier les Aspects Scientifiques de la Protection de l'Environnement Marin (GESAMP), 1982: IMCO/FAO/Unesco/ WMO/WHO/IAEA/UN/Unep Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. Reports and studies. *The Review of the health of the oceans*, 15: 38p.
- Guédénon, P., 2009 : Pollution des écosystèmes par les métaux toxiques : cas du fleuve Ouémé et du lac Nokoué. Mémoire de DEA en Environnement, Santé et Développement, FLASH / UAC, 95 p.
- Guilcher A. 1959 : La région côtière du Bas-Dahomey occidental, *Bull. Instr. Fr. Afr. Noire*, Sénégal, t. XVI, sér. B, 100, 551-556.
- Guo H.-D., L. Zhang, L.-W. Zhu, 2015: Earth observation big data for climate change research. *Adv. in Clim. Chan. Resea.* 6 108-117. [dx.doi.org/10.1016/j.accre.2015.09.007](https://doi.org/10.1016/j.accre.2015.09.007).
- Hounkpatin, A., S., Y., A. P. Edoth, L. Koumoulo, M. Boko, 2011 : Métaux lourds (Pb et Cd) dans les sédiments de la cite lacustre de Ganvié et qualité toxicologique de l'eau et des poisons, pp. 1-3. 6^{ème} Journées Scientifiques du 2iE, 4-8 avril 2011, campus 2iE Ouagadougou (Burkina Faso).
- Hounkpatin, A.S., A. P. Edoth, M. Sèzonlin, P. Guédénon, B. Elégbédé, G. Boni, V. Dougnon, S. Montcho, E. Kéké, M. Boko, 2012: Pollution of aquatic ecosystems by heavy metals at Ganvié's lacustrine city (Benin). *International Research Journal of Biotechnology*(ISSN: 2141-5153), 3(6): 81-87.
- INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2010a : Les entreprises agricoles au Bénin. Rapport thématique, 69 p.
- INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2010b : Les entreprises de transport. Rapport thématique, 40 p.
- INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2015. Que retenir des effectifs de population en 2013. Rapport du quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH4), 35 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change. 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IRB, 1987. Etude de cartographie géologique et prospection minière de reconnaissance au Sud du 9^{ème} parallèle. Rapport Istituto Recerche Breda. FED-OBEMINES, 80 p.
- Kabonyi, N.C., 2015 : Paléo environnements et paléoclimats durant le Pléistocène supérieur et l'Holocène sur la dorsale occidentale du Kivu en République Démocratique du Congo. *European Scientific Journal* October 2015 edition, 11 (30) ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- Kaki, C., P. Guedenon, N. Kélomè, P. Edoth, and R. Adechina, 2011b: Evaluation of heavy metals pollution of Nokoue lake. *Afri.journ. ofEnvir. Sci. and Tech.*.5(3): 255-261.
- Kaki, C., R. Laibi , L. M. Oyédé, 2011a: Evolution of beninese coastline from 1963 to 2005 : causes and consequences. *Brit. J. of Env. & clim. ch.*, 1(4): 216-231.
- Kélomè, N., C. Kaki, G. F. d'Almeida, R. Adéchina. 2012 : Dynamique sédimentaire actuelle et subactuelle de la zone deltaïque de la basse vallée de l'Ouémé-Sô. *Rev. CAMES*, série a, sciences et médecine, 13(2) : 221-225.
- Kélomè, N.C., 2006 : Identification et évaluation de la pollution dans les zones urbaines et péri-urbaines de l'Afrique de l'ouest : exemple de l'agglomération de Cotonou, domaine margino-littoral du sud Bénin, thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, 266 p.
- Laibi, R. A. 2011 : Evolution quaternaire et dynamique sédimentaire actuelle des cordons barrières de l'estuaire du Mono-Couffo dans le littoral du Bénin (Golfe de Guinée, Afrique de l'Ouest), Thèse de doctorat, UAC, Bénin/ ULCO, France, 307 p.

- Lang, J., Paradis, G., 1977 : Un exemple d'environnement sédimentaire, biodétritique, non carbonaté marin et continental, Holocène, en climat intertropical : Le domaine margino-littoral du Bénin méridional (ex Dahomey). *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 2 (XIX) : Fasc. 3, 295-312.
- Lang, J., Paradis, G., 1984 : Le Quaternaire margino-littoral béninois (Afrique de l'Ouest). Synthèse des datations au carbone 14. *Paleoeco. of Afri.* 16, 65-67.
- Lawani, L., 2007 : Etude de la pollution des eaux, des sédiments et des crevettes du lac Nokoué par les métaux (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe). Mémoire de DESS/AGRN, Faculté des Sciences Agronomique, Université d'Abomey-Calavi, 82 p.
- Lezine, A. M., J. C. Duplessy, J. P. Cazet, 2005: West African monsoon variability during the last deglaciation and the Holocene: Evidence from fresh water algae, pollen and isotope data from core KW31, Gulf of Guinea. *Palaeoge., Palaeoclim., Palaeoeco.*, 219 : 225-237.
- Lézine, A-M., 1997: Evolution of the West African Mangrove During the Late Quaternary: A Review. *Géo. phy. et Quat.*, 51 (3): 405-414.
- Maley, J., 1987 : Fragmentation de la Forêt dense humide africaine et extension des biotopes montagnards au Quaternaire récent : nouvelles données polliniques et chronologiques. Implications, paléoclimatiques, chronologiques et biogéographiques. *Paleoecology of Africa*, 18, 307-334.
- Mama, D., 2010 : Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Thèse de doctorat de l'Université de Limoges, France, 177p.
- Mix, A. C, E. Bard, R. Shneider, 2001: Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers (EPILOG). *Quat. Sci. Rev.*, 20 : 627- 657.
- Nizou, J., 2009: The Senegal mud-belt depocenter (NW-Africa) - an archive for climatic changes, coastal dynamics and shelf organization over the Holocene. Bremen University (Germany), 123 p.
- Nyssen, J, J. Poesen, J. Moeyersons, J. Deckers, M. Haile , A. Lang, 2003: Human impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands-a state of the art. *Ear. Sci. Rev.* xx (2003): xxx-xxx. DOI:10.1016/S0012-8252(03)00078-3.
- Oyéde, L. M., 1991 : Dynamique sédimentaire actuelle et messages enregistrés dans les séquences quaternaires et néogène du domaine margino-littoral du Bénin (Afrique de l'ouest), Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, 302 p.
- Partenariat National de l'Eau du Bénin (PNE-Bénin), 2010 : Défis et orientations stratégiques pour la lutte contre la pollution chimique des cours et plans d'eau au Bénin. Note technique sur les défis et orientations stratégiques pour la lutte contre la pollution chimique des cours et plans d'eau au Bénin.
- Penaud, A.F. Eynaud , A. H. L. Voelker and J.-L. Turon, 2016: Palaeohydrological changes over the last 50 ky in the central Gulf of Cadiz: complex forcing mechanisms mixing multi-scale processes. *Biogeosciences*, 13, 5357–5377.
- Reineck, H. E., Singh, I. B., 1973: Depositional sedimentary environments; Springer-Verlag, Berlin, New York, 439 p.
- Sogbohoun, O., 2008 : Etude de la distribution des résidus de plomb dans eaux du chenal de Cotonou: identification et caractérisation des sources. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur des Travaux, EPAC/Université d'Abomey-Calavi, 55 p.
- Tiéga, A., Ouédraogo, P., 2012 : Les forêts de mangroves : aperçu de leurs services et de leur rôle de stabilisateur des zones côtières fragiles. Forum francophone préparatoire à Rio +20, 28 rue Mauverney, CH-1196 Gland (Switzerland), 22 p.
- Tiron, L., 2010 : Delta du Danube - bras de St. George Mobilité morphologique et dynamique hydro-sédimentaire depuis 150 ans. *Geo-Eco-Marina. Special Publication no. 4*, 281p, 2010
- Tossou, M.G., 2002 : Recherche palynologique sur la végétation holocène du Sud-Bénin (Afrique de l'Ouest), Thèse de doctorat, Université de Lomé, Faculté des Sciences, 133p.
- Truc, L., M. Chevalier, C. Favier, R. Cheddadi, M. E. Meadows, L. Scott, A. S Carr, G. F. Smith, B.M. Chase, 2013: Quantification of climate change for the last 20,000 years from Wonderkrater, South Africa: implications for the long-term dynamics of the Intertropical Convergence Zone, *Palaeog. Palaeocl. Palaeoeco.*
- Van Vliet-Lanoë, B., A. Penaud, A. Hénaf., C. Delacourt, A. Fernane, J. Goslin, B. Hallégouët, E. Le Cornec, 2014: Middle-to late-Holocene storminess in Brittany (NW France): Part II – The chronology of events and climate forcing. *The Holocene*, 24 (4): 434-453.
- Vincens, A., D. Schwartz, J. Bertaux, H. Elenga, C. De Namur, 1998: Late Holocene Climatic Change in Western Equatorial Africa Inferred from Pollen from lake Sinnda, Southern Congo. *Quat. Res.*, 50, 34 - 45.
- Vincens, A., G. Buchet, M. Servant, ECOFIT Mbalang and Collaborators, 2010: Vegetation response to the African Humid Period termination in central Cameroon (7°N) – new pollen insight from Lake Mbalang. *Clim. Past. Discuss.*, 5, 2577-2606.

Weldeab, S., D.W. Lea, H. Oberhänsli, R. R. Schneider, 2014: Links between southwestern tropical Indian Ocean SST and precipitation over southeastern Africa over the last 17 kyr., *Palaeog. Palaeocl. Palaeoeco*, 410, 200–212.

Yèhouénu, E., 2005 : Les résidus de pesticides chimiques de synthèse dans les eaux, les sédiments et les espèces aquatiques du bassin versant du fleuve Ouémé et du lac Nokoué, Thèse de doctorat unique de l'Université d'Abomey-Calavi, 214 p.

Youssao, A., H. H. Soclo., C. Bonou, B. Fayomi, 2011 : Évaluation de la bioaccumulation du plomb dans les espèces animales marines et identification des sources de contamination métallique par une analyse multiélémentaire en métaux (Al, Cd, Cr, Cu, Pb) dans les eaux côtières du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci* 5(1): 188-195.

Zannou, A. B., Vodounou, K.J.B. 2011 : Évolution des crues annuelles liées aux changements climatiques et adaptation des populations de la basse vallée de l'Ouémé. *Mélange Mac*, ISBN 978-99919-867-2-2. Université d'Abomey-Calavi : 16 p.