

Evaluation des charges solides et caractérisation hydrochimique des eaux du lac du barrage hydroélectrique d'Ayamé 1 (Côte d'Ivoire)

Solid load estimating and hydrochemical characterization of the lake of the hydroelectric dam of Ayamé 1 (Ivory Coast)

Kouakou Séraphin KONAN^{1*}, Kouakou Lazare KOUASSI¹, Koffi Félix KONAN¹, Kouassi Innocent KOUAME², Kouamé AKA³ & Dago GNAKRI¹

1. Université Jean Lorougnon Guédé, UFR-Environnement, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, B.P. 150 Daloa, Côte d'Ivoire *(konandks@yahoo.fr).
2. Université Nangui Abrogoua, Centre de Recherche en Ecologie, Laboratoire de Géologie Marine, Sédimentologie et Environnement, 01, B.P. 10588 Abidjan, Côte d'Ivoire.
3. Université Félix Houphouët Boigny, UFR-Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Géologie Marine et Sédimentologie, 22 B.P. 582 Abidjan, Côte d'Ivoire.

Résumé. Les études sédimentologiques et hydrochimiques réalisées en périodes de crue (octobre 2011 et octobre 2012) et en périodes de détiage (février 2011 et février 2012) ont permis d'évaluer les charges solides en suspension et de caractériser les eaux du lac du barrage hydroélectrique d'Ayamé 1. Cette étude a été réalisée pour la mise en place d'un modèle de sédimentation dans ce lac. Les teneurs moyennes en matières en suspension ($3,79 \text{ mg.L}^{-1}$) et la turbidité moyenne ($12,96 \text{ NTU}$) montrent que les eaux du lac sont relativement peu chargées. Ces charges en suspension sont composées d'une fraction inorganique et d'une fraction organique. La fraction inorganique est essentiellement composée de quartz détritiques et d'argiles diverses. La fraction organique est formée de fibres végétales et des débris d'organismes. Les substrats qui comblent le fond de la cuvette sont constitués essentiellement de vase. Les sables se rencontrent aux voisinages des berges.

Mots-clés : Sédimentation, lac, barrage hydroélectrique, Bia, Ayamé 1, Côte d'Ivoire.

Abstract. The sedimentological and hydrochemical studies carried out in flood periods (October 2011 and October 2012) and low-flood periods (February 2011 and February 2012) have enabled to evaluate the solid suspended loads and to characterize the physico-chemical parameters of the lake of the hydroelectric dam of Ayamé 1. This work is realized in order to establish a model of sedimentation in this lake. The average concentration of the suspended sediment (3.79 mg.L^{-1}) and the average turbidity (12.96 NTU) show that the lake waters are relatively lightly loaded. The solid loads in suspension are made up of an inorganic fraction and an organic fraction. The inorganic fraction is mainly composed of detritic quartz and various clays. The organic fraction is composed of vegetable fibers and fragments of organisms. Sediments of the bottom in the lake are made up essentially of mud. Sands are located near the bank and the islands.

Keywords : Sedimentation, lake, Hydroelectric dam, Bia, Ayamé 1, Ivory Coast.

Abridged English version

In Ivory Coast, after the drastic drop in rainfall observed since the beginning of the 70s, more than 578 reservoirs were constructed to meet the water increasingly needs of the population. Despite the major advantages they present for the development, these reservoirs are increasingly confronted to the effects of hydrological variations and problems of pollution and siltation (Galy-Lacaux *et al.* 1999; Ouattara 2000; Yapo 2002; Kouassi 2007; Kouassi *et al.*, 2013). In Ivory Coast, agricultural activities, the rapid and uncontrolled urbanization have increased suspended sediment yield and affected the morphology and the quality of surface waters. Siltation and eutrophication of reservoirs cause flooding, significant changes in the physico-chemical parameters and the rapid development of aquatic plants.

Dam Ayamé 1 is the oldest hydroelectric dam in Ivory Coast. It was built in 1959 primarily to produce electricity. Besides this function of generating electricity, the lake of this dam allows to develop fishing, drinking water and

agriculture. However, in spite of the dangers linked to pollution and sedimentation in Lake Ayamé 1, very few sedimentological and hydrochemical studies have been realised. It is in this context that we undertook this work in order to characterize spatio-temporal variations of suspended sediment loads and some physico-chemical parameters. This study is part of a research program that aims to evaluate the sediment yield and sediment distribution in the Lake Ayamé 1.

The sedimentological study was performed on 93 sediment samples including 60 in the lake, using a Van Veen grab type, and 33 performed manually on the banks. The turbidity level and the suspended sediment concentrations (SSC) of the lake were determined through 256 water samples collected from six measuring stations (Fig. 1). The sampling was carried out during periods of high water level (October 2011 and October 2012) and low water level (February 2011 and February 2012) in order to assess the suspended sediment loads and characterize the physico-chemical parameters of the Lake Ayamé 1 (Figs. 265).

The sediment analysis showed that in general the substrates that fill the bottom of the Lake Ayamé 1 consist mainly of muds (85%). These muds are products of erosion of the watershed and decomposition of invasive aquatic plants and submerged vegetation in the reservoir. Furthermore, the decomposition of organic matter causes an accumulation of partially degraded material contributing to the thickening of the sediment layer in the lake and the production of many gases (carbon dioxide, methane, etc.) that result in a decrease in water oxygenation (Galy-Lacaux *et al.* 1999, Yapo 2002).

The mean levels of the suspended sediment concent-

rations (3.79 mg L⁻¹) and the average turbidity (12.96 NTU) show that the Lake Ayamé 1 is not very loaded. These suspended loads are composed of an Inorganic fraction and an organic fraction. The inorganic fraction is mainly composed of detritic quartz and various clays. The organic fraction is composed of plant fibers and fragments of organisms (Tabs. 1, 2). The bottom sediments in the Lake Ayamé 1 are made up essentially of mud. Sands are located near the banks and the islands.

Sedimentological and hydrological studies will allow to establish sedimentation models (hydrodynamic and sediment transport models) in the Lake Ayamé 1.

INTRODUCTION

Les barrages hydroélectriques sont considérés comme de véritables atouts de développement socio-économique. Les lacs artificiels de ces barrages abritent une faune diversifiée et constituent de ce fait un pôle d'attraction humaine. Ils favorisent également le développement du commerce, de l'agriculture et de la pêche.

La Côte d'Ivoire possède un vaste réseau hydrographique avec six (6) importantes barrages hydroélectriques (Ayamé 1, Ayamé 2, Kossou, Taabo, Buyo et Fayé). Les retenues d'eau de ces barrages ont fait l'objet de plusieurs études de caractérisation hydrologique, physico-chimique et biologique (Reizer 1967, Kassoum 1979, Galy-Lacaux *et al.* 1999, Ouattara 2000, Yapo 2002). Les études sur la morphologie du fond et la nature des sédiments qui comblent ces retenues d'eau existent partiellement et sont très récentes (Kouassi 2007); ce qui ne permet pas d'apprécier l'évolution sédimentologique des fonds de ces lacs. Pourtant, ces retenues d'eau, qui représentent des atouts majeurs pour soutenir le développement du pays, sont de plus en plus confrontées aux effets des variations hydro-logiques et aux problèmes d'envasement. Ainsi, l'exploitation de ces retenues d'eau devient difficile en raison des fluctuations hydroclimatiques qui affectent les ressources en eau de la région soudano sahéenne d'une part et, d'autre part, en raison de la modification des réservoirs par l'envasement.

La retenue d'Ayamé 1, sur laquelle porte le présent travail, est située dans une zone forestière. Elle a été mise en service en 1959. Le barrage d'Ayamé 1, conçu initialement pour produire essentiellement de l'électricité, favorise les activités de pêche, l'approvisionnement en eau potable et l'agriculture (développement des pépinières et des plantations autour du lac). Toutefois, la déforestation causée par l'exploitation des mines d'or d'Aféma (Nord-Est du bassin du lac d'Ayamé) et les intenses activités agricoles favoriseraient les phénomènes d'érosion en amont de cette retenue d'eau. Or, le transport des sédiments qui occasionne les apports d'éléments nutritifs accélère le processus d'envasement, d'envasement et d'eutrophisation des lacs (Nogo 2000). Ainsi, en Côte d'Ivoire, Kouassi *et al.* (2007) ont signalé un comblement progressif du fond du lac du barrage hydroélectrique de Taabo suite aux dépôts de sédiments. Yapo (2002) a mis en évidence l'eutrophisation du lac de Buyo avec une action prépondérante de la sédimen-

tation. Selon Dejoux (1988), une croissance accélérée de ce phénomène peut provoquer une asphyxie des lacs et la disparition de toute vie aquatique évoluée.

Cependant, rares études sédimentologique et hydrochimique ont été menées sur le barrage hydroélectrique d'Ayamé 1 qui est le plus ancien aménagement hydroélectrique de la Côte d'Ivoire (Ramade 1993).

Ce travail a pour but de favoriser la connaissance des variations spatio-temporelles de certaines caractéristiques physico-chimiques du lac. La présente étude s'inscrit dans une vaste recherche qui vise également à évaluer les apports solides et leur distribution dans le lac du barrage hydroélectrique d'Ayamé 1.

ZONE D'ÉTUDE

Contexte géographique et géologique

Mis en service en 1959 (Sechaud et Metz 1958), l'aménagement hydroélectrique d'Ayamé 1 se situe sur la rivière Bia, à l'extrême Sud-Est de la Côte d'Ivoire (Vanden et Bernacsek, 1990) entre 5°50' et 5°85' de latitude Nord et 3°10' et 3°25' de longitude Ouest (Fig. 1). L'assise géologique du bassin du cours d'eau principal (la Bia) comprend essentiellement des formations précambriennes du Birimien inférieur (Avenard 1971). Au nord du bassin, on rencontre essentiellement les schistes tandis qu'au sud on a des intrusions de roches granitiques et volcaniques à l'intérieur des formations schisteuses.

Selon les travaux d'Adjahoun et Guillaumet (1971) et Girard *et al.* (1971), la rivière Bia s'écoulait entièrement sous forêt dense avec un débit moyen de 82 m³.s⁻¹. Les séries hydrologiques mensuelles fournies par la Direction Générale de l'Approvisionnement en Eau et la Direction des Mouvements de l'Énergie de la Compagnie Ivoirienne d'Électricité au cours de ces vingt dernières années montrent que les apports liquides connaissent une diminution sensible. Les apports se situent dans l'ordre de 51 m³.s⁻¹. La végétation du bassin de la Bia a subi d'importantes modifications à cause de l'intensification des activités agricoles et la forte pression démographique. Cette rivière abrite également le barrage d'Ayamé 2 qui se trouve à 4 km en aval d'Ayamé 1. La superficie approximative du bassin versant drainé dans le lac d'Ayamé 1 est de 9320 km². Ce lac se présente sous une forme étirée du Nord au Sud

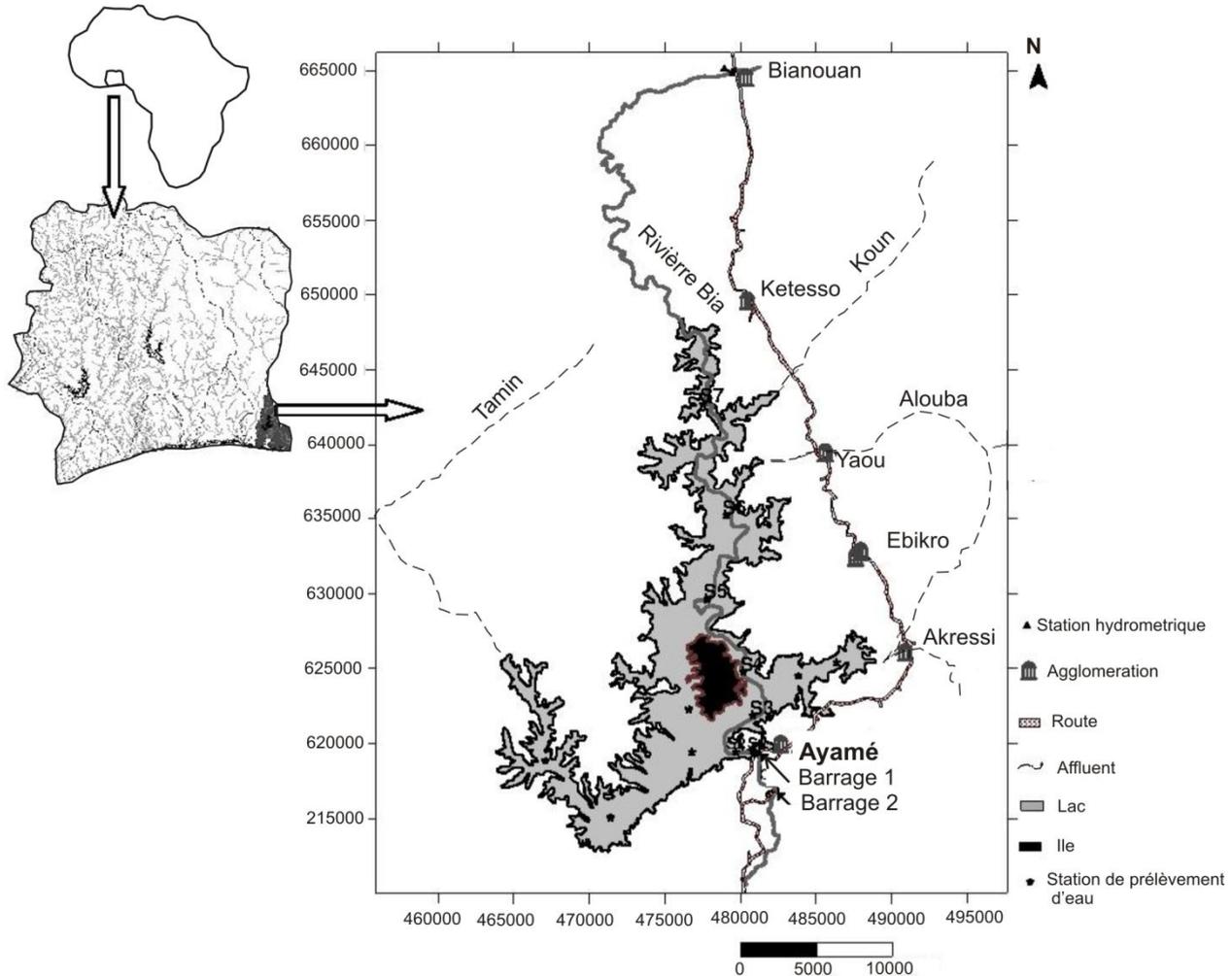


Figure 1. Localisation de la zone d'étude.

Figure 1. Location of the study area.

suyant la vallée principale de la Bia avec un seul diverticule occidental et qui correspond à la vallée de la rivière Tamin en rive droite. Une grande île occupe le centre du lac. Le climat est de type équatorial humide caractérisé par l'importance de la première saison de pluies (mars à juillet) avec un maximum de précipitations en juin et une deuxième saison humide assez forte de septembre à novembre (Durand & Guiral 1994)

METHODOLOGIE

Echantillonnage

La caractérisation sédimentologique a été réalisée sur un prélèvement de 93 échantillons de sédiments dont 60 dans le lac, au moyen d'une benne de type Van Veen, et 33 aux voisinages des berges, effectués manuellement à l'aide d'une tarière. Pour la détermination du degré de turbidité et la concentration en matières en suspension (MES) des eaux lacustres, un total de 256 échantillons d'eau ont été prélevés sur l'ensemble des 6 stations de mesure (Fig. 1). Les prélèvements ont été effectués à différentes profondeurs, au moyen d'une bouteille hydrologique. Les mesures de température, de pH et de conductivité de l'eau du lac ont été

effectuées *in situ* au moyen d'un pH-mètre portable de modèle W.T.W. 82362. La position des points de mesure a été repérée à l'aide d'un GPS modèle GARMIN GPS 40.

Les déplacements sur le lac se sont effectués au moyen d'un hors-bord de la Compagnie Ivoirienne d'Electricité. Les prélèvements relatifs à cette étude ont été effectués à deux reprises sur deux saisons hydrologiques (octobre 2011 et octobre 2012 pour la période de crue et février 2011 et février 2012 pour la période d'étiage).

Evaluation de la charge solide

Les échantillons d'eau, préalablement pesés, ont été filtrés sur une rampe de filtration millipore sur des filtres WHATMAN circulaires de 47 mm de diamètre et de porosité 0,45 μm . Après séchage à 105°C, les filtres sont soigneusement récupérés et repesés afin de déterminer les concentrations totales de matières en suspension. Une balance électronique OHAUS (Analytical Plus Modèle n° AP310-0, série n° 111606 1992), a été utilisée pour la pesée des échantillons. Après filtration, une observation à la loupe binoculaire a été effectuée sur chaque filtre pour identifier la nature des éléments recueillis. Quant à la turbidité, un flacon de 10 ml rempli d'échantillon d'eau est placé dans le

turbidimètre de marque HANNA INSTRUMENTS, modèle LP 2000, avec une lecture directe des valeurs de la turbidité exprimées en NTU.

La charge solide annuelle du lac de Ayamé 1 a été obtenue à partir de la moyenne des concentrations des échantillonnages saisonniers. Le débit solide est calculé à partir des concentrations moyennes des MES pondérées par les débits liquides comme suit (Bricquet *et al.* 1997, José *et al.* 2006, Kouassi *et al.* 2013):

$$Q_{SS} = Q_L \cdot C$$

Q_{SS} le débit solide en suspension ($kg \cdot s^{-1}$), Q_L le débit liquide ($m^3 \cdot s^{-1}$) et C la concentration moyenne de matières en suspension ($g \cdot L^{-1}$).

Analyse en composante principale

Une analyse en composante principale normée (ACPN) a été effectuée à partir du programme CANOCO afin de connaître le degré de corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques étudiés d'une part, et d'autre part, apprécier leurs influences sur la distribution des MES dans le lac de Ayamé 1. Les paramètres pris en compte dans cette étude sont composés des matières en suspension (MES), la turbidité, la température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous.

RESULTATS ET DISCUSSION

Variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques

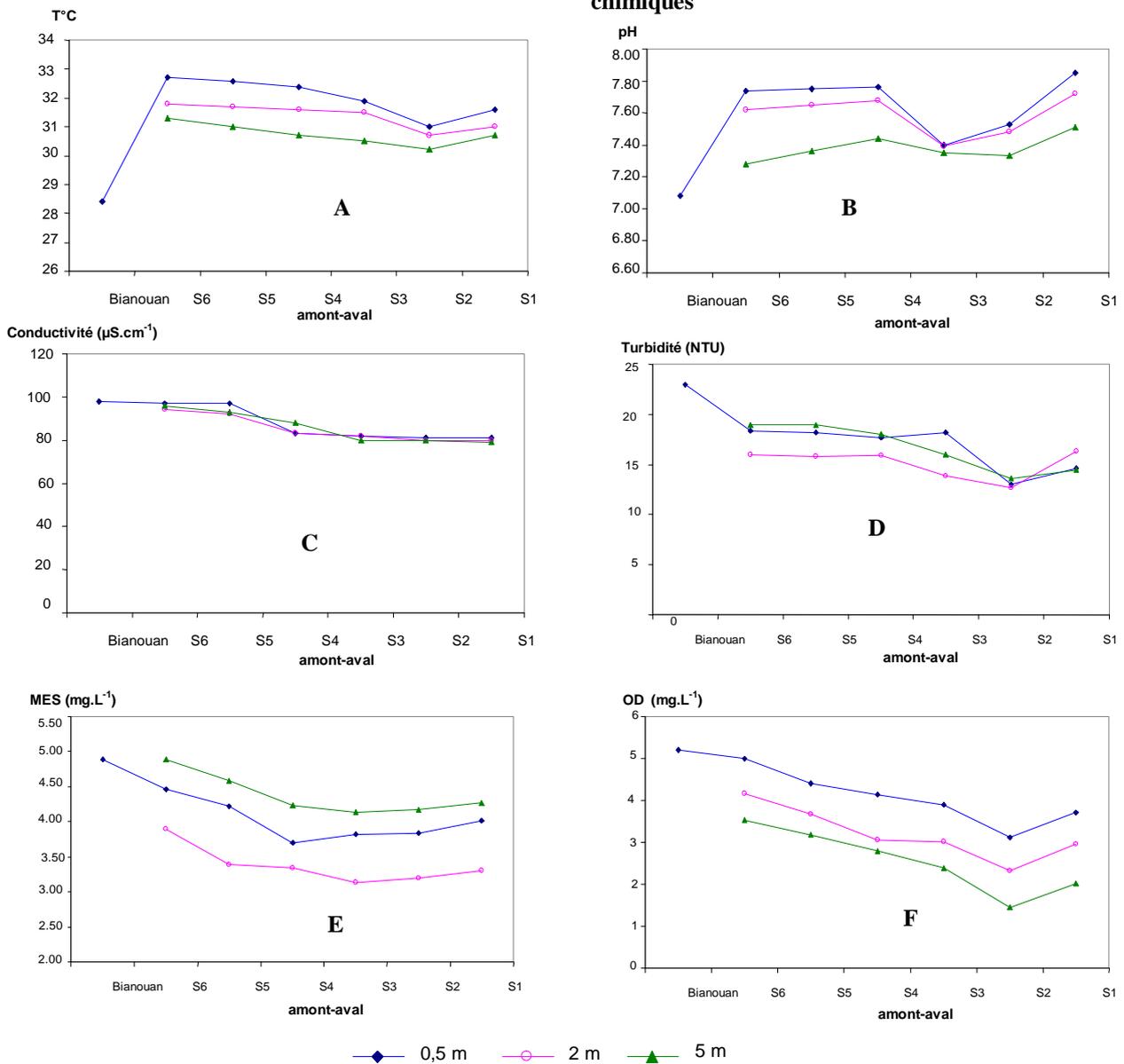


Figure 2. Variations moyennes des paramètres physico-chimiques de l'amont vers l'aval du lac de Ayamé 1. A : température en degré Celsius; B: PH; C: conductivité; D: turbidité; E: matières en suspension; F: oxygène dissous.

Figure 2. Average variations in physico-chemical parameters from the upstream to downstream of the Lake Ayamé 1. A: temperature in degree Celsius; B: PH; C: conductivity; D: turbidity; E: suspended sediment concentration; F: dissolved oxygen.

La distribution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques a été effectuée selon un gradient amont-aval et un gradient surface-profondeur (Figs. 2, 3 et 4) suivant les saisons.

D'amont en aval, les paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, turbidité, matière en suspension et oxygène dissous) mesurés au niveau des stations Bianouan, S6, S5, S4, S3, S2 et S1 situées le long du cours principal de la rivière Bia, respectivement à 69190 m, 32520 m, 16665 m, 9450 m, 5870 m, 1580 m, 20 m du barrage, présentent de faibles variations dans l'ensemble (Fig. 2). La température passe de 28°C en amont (Bianouan) à 33°C au niveau de la station S6 puis diminue progressivement à 31°C vers l'aval (S2). De l'amont vers l'aval, le pH passe de 7,1 à 7,8, la concentration en MES diminue de 5 à 3,5 mg.L⁻¹ et l'oxygène dissous baisse progressivement de 5,1 à 3,5 mg.L⁻¹. En revanche, sur le

plan vertical (de surface en profondeur) les paramètres physico-chimiques montrent des variations plus significatives. La température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous varient respectivement de 33 à 27°C, de 7,4 à 6,6, de 75 à 120 µS.cm⁻¹ et de 6 à 0,4 mg.L⁻¹.

Concernant les matières en suspension, l'amplitude entre les concentrations en surface et celles du fond varie entre 0,80 et 1,04 mg.L⁻¹ (Figs. 3 et 4). De 0 à 2 m de profondeur, on assiste à une légère diminution de la concentration en MES (de 3 à 2,5 mg.L⁻¹), surtout en période d'étiage, suivie d'une augmentation rapide (6,4 mg.L⁻¹) jusqu'à 10 m de profondeur, surtout en période de crue, pour décroître par la suite. Il s'agit certainement du phénomène de la complexation qui se produit, au cours de la sédimentation, entre la matière organique et les éléments minéraux sous l'effet de certains paramètres physico-chimiques tel que l'oxygène dissous et le pH.

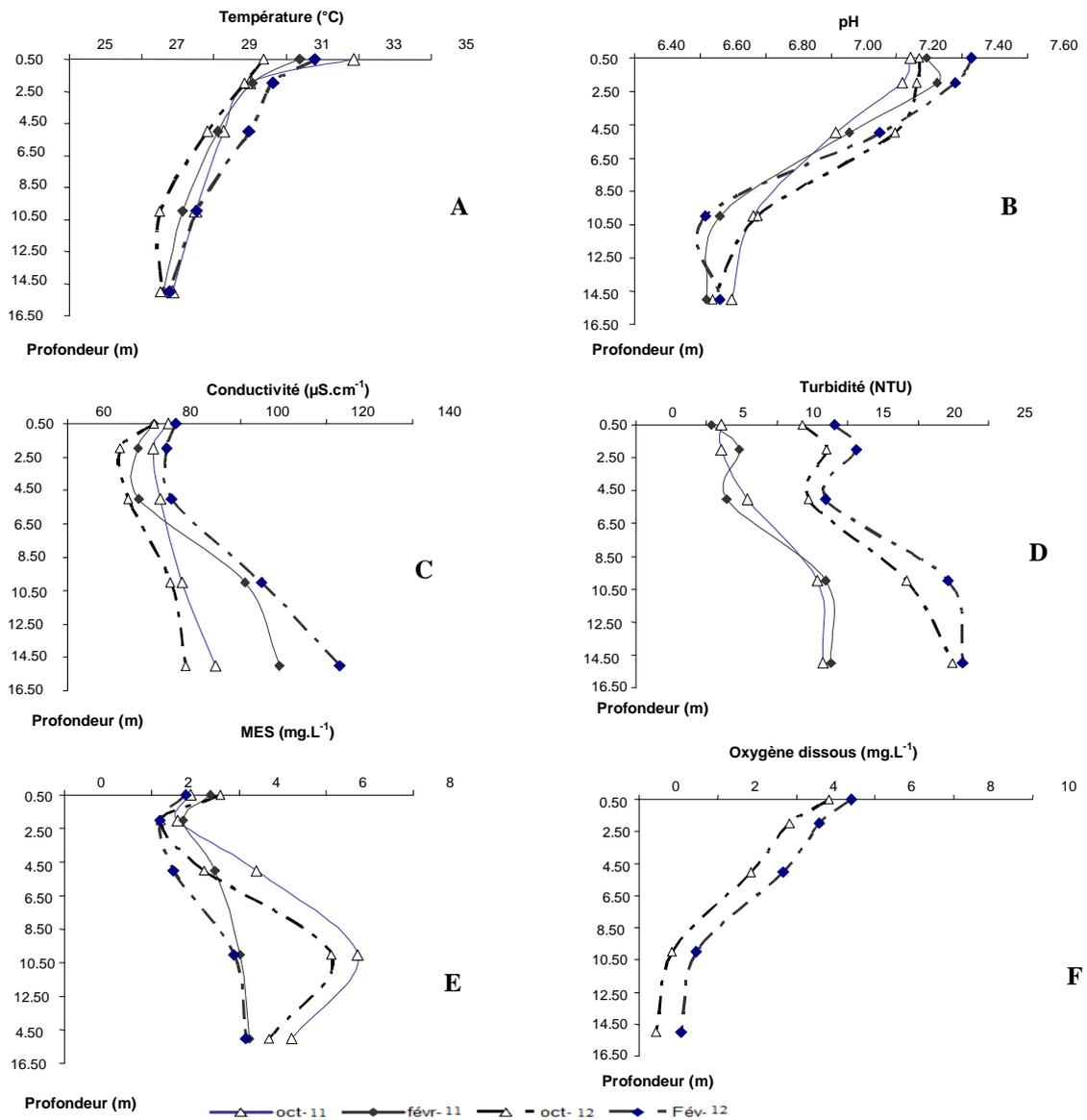


Figure 3. Variations des paramètres physico-chimiques en fonction de la profondeur dans le lac d'Ayamé 1 en Février et Octobre 2011 et Février et Octobre 2012. A: température en degré Celsius; B: PH; C: conductivité; D: turbidité; E: matières en suspension; F: oxygène dissous.

Figure 3. Changes in physico-chemical parameters related to depth in the Lake Ayamé 1 in February and October 2011 and in February and October 2012. A: temperature in degree Celsius; B: PH; C: conductivity; D: turbidity; E: suspended sediment concentration; F: dissolved oxygen.

Quant à la turbidité (paramètre étroitement lié aux charges en suspension et à l'oxydation), elle augmente légèrement de 0 à 2 m de profondeur, puis diminue jusqu'à 5 m. A partir de 5 m de profondeur où la valeur est environ de 10 NTU, la turbidité croît comme les MES dans les zones profondes pour atteindre des valeurs de 18 NTU. En effet, en surface, les fortes turbidités sont dues au maintien en suspension des particules moins denses que l'eau. Près du fond, les courants déterminent fréquemment des reprises sédimentaires, qui conduisent à une augmentation de la turbidité. De même, la complexation liée surtout aux phénomènes d'oxydation (diminution de l'oxygène dissous) pourrait expliquer cette augmentation de la turbidité. Entre les deux masses d'eau chargées superficielles et pro-

fondes se trouve une eau claire qui est pauvre à la fois en particules largement dissoutes ou oxydées issues de la surface et en particules issues du fond. Dans l'ensemble, on observe qu'en profondeur se produit une baisse de pH et d'oxygène dissous, accompagnée d'une montée de la turbidité et de la salinité. Toutes ces variations pourraient être en rapport avec un processus de précipitation chimique et floculation des gels organiques. L'apparition de nouvelles particules inorganiques et organiques impliquerait une augmentation de la turbidité. Les nouvelles particules acquerraient poids et le décanteraient, en se déplaçant vers le bas et en consommant l'oxygène dans les niveaux les plus profonds.

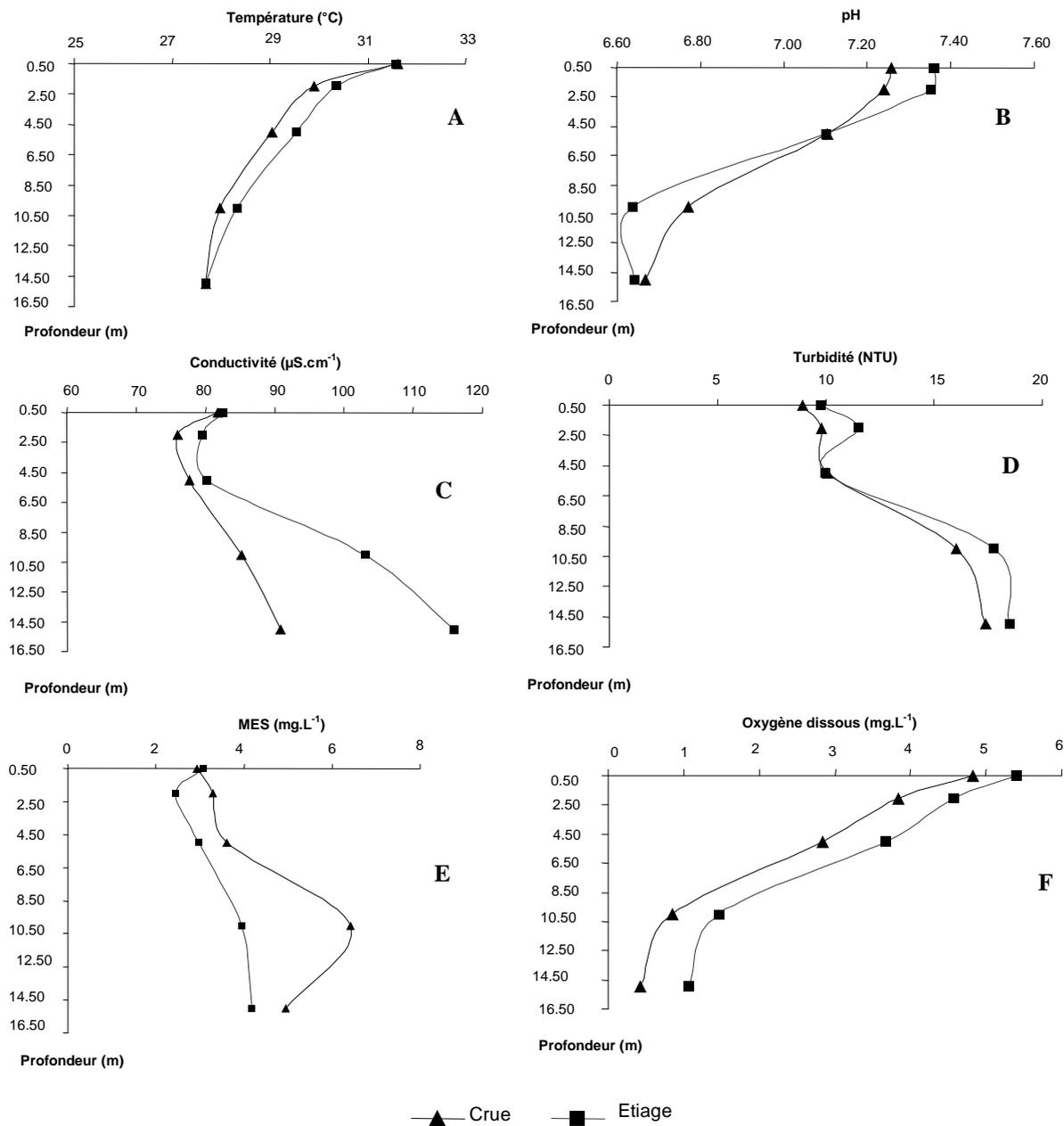


Figure 4. Variations moyennes des paramètres physico-chimiques en fonction de la profondeur dans le lac d'Ayamé 1 en périodes de crue (octobre) et d'étiage (février). A: température en degré Celsius; B: PH; C: conductivité; D: turbidité; E: matières en suspension; F: oxygène dissous.

Figure 4. Average changes in physico-chemical parameters related to depth in the Lake Ayamé 1 during floods (October) and low flow (February). A: temperature in degree Celsius; B: PH; C: conductivity; D: turbidity; E: suspended sediment concentration; F: dissolved oxygen.

Corrélation entre les paramètres physico-chimiques

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques du lac d'Ayamé 1 ont été obtenues à partir de la moyenne des concentrations des échantillonnages saisonniers. L'Analyse en Composante Principale Normée (ACP) a permis d'apprécier la corrélation des variables physico-chimiques et le comportement de celles-ci en fonction des saisons et de la profondeur. Seuls les axes 1 (95,3 %) et 2 (4,2 %) qui expriment 99,5 % de l'information ont été retenus pour l'ordination (Tab. 1).

Le tableau (Tab. 2) présente la matrice de corrélation des variables physico-chimiques prises en compte durant la période d'étude. Cette matrice de corrélation montre que le pH, la température et le taux d'oxygène dissous sont positivement et fortement corrélés. De même, la concentration en MES, la conductivité et la turbidité sont positivement corrélés.

Tableau 1. Valeurs des axes de l'analyse en composante principale normée (ACP).

Table 1. Values of the axes of the normalized principal component analysis (ACP).

Axes	1	2	3	4
Valeurs propres	0,953	0,042	0,003	0,002
% des valeurs propres cumulées	95,3	99,5	99,8	100

L'analyse factorielle effectuée à partir des variables physico-chimiques (Fig. 5) fait remarquer que la distribution des paramètres physico-chimiques est essentiellement gouvernée par les saisons hydrologiques et la profondeur. L'axe 1, fortement corrélé à la conductivité, matérialise un gradient minéralisation. Les variables physico-chimiques telles que le pH, la température et le taux d'oxygène dissous ont une variation similaire d'une saison à l'autre. Par contre, la conductivité, la turbidité et les concentrations en MES, dépendent fortement des saisons et de la profondeur. En effet, pendant les périodes de crue les charges solides sont très élevées dans les zones profondes et la minéralisation est influencée essentiellement par les apports fluviaux. En période d'étiage, la conductivité devient importante dans les zones profondes.

Les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenues dans cette étude sont semblables notamment, concernant le taux d'oxygène dissous, à celles de Galy-Lacaux *et al.* (1999) sur le même lac. Par ailleurs, ces valeurs sont voisines de celles obtenues par Kouassi (2007) sur le lac de Taabo.

La charge moyenne des eaux du lac d'Ayamé 1 est de $3,79 \text{ mg.L}^{-1}$. Le produit de cette concentration par les apports liquides dont la valeur moyenne est de $51 \text{ m}^3/\text{s}$ permet de déduire le flux particulaire total entrant dans le lac d'Ayamé 1 à environ 9843 t/an . Les concentrations en MES sont comparables pour une même saison. Par contre, d'une saison à une autre, elles varient du simple ($2,61 \text{ mg.L}^{-1}$ en période d'étiage) au double ($4,24 \text{ mg.L}^{-1}$ en période de crue). Cette augmentation est liée aux apports des eaux de ruissellement qui sont assez chargées dans le lac. Nos résultats concordent avec ceux de Bricquet *et al.* (1997), Picouet (1999), Zhongyuan (2001), Orfeo & Stevaux (2002), Benedetti (2003), Bouanani (2004), Andrew *et al.* (2004), Sarma (2005), Kaiqin *et al.* (2005), Abderrahmane

& Abdesslam (2013) qui rapportent qu'une forte corrélation existe entre les charges solides en suspension et les variations des apports liquides. Par ailleurs, le transport solide en suspension dans le lac d'Ayamé est relativement faible par rapport aux valeurs obtenues par Kouassi (2007) et Kouassi *et al.* (2013) qui trouvent une concentration moyenne en MES de 12 mg.L^{-1} , soit un apport particulaire annuel d'environ 54029 tonnes sur le lac de Taabo en Côte d'Ivoire. De même, le transport solide en suspension du lac d'Ayamé 1 est faible par rapport aux valeurs trouvées par Okocha *et al.* (2002), Bessenasse *et al.* (2003), Bessenasse (2004) et Ghenim (2008) dans le bassin du Niger et dans les retenues d'eau en Algérie où les flux entrant varient entre 200 et 800 milliers de tonnes par an.

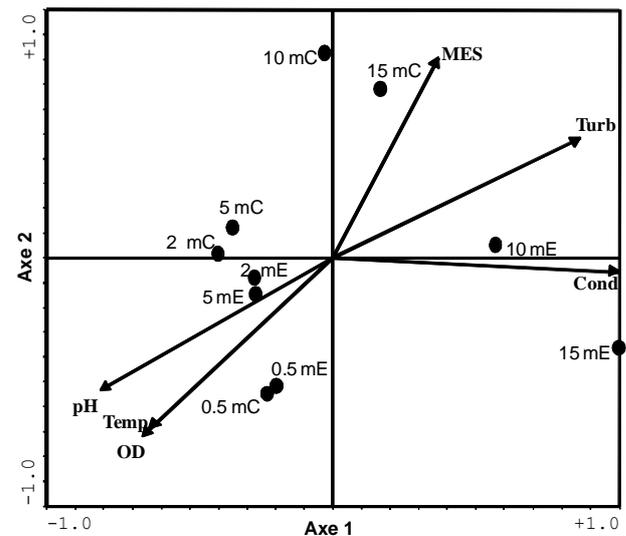


Figure 5. ACP des variables physico-chimiques et des saisons en fonction de la profondeur dans le lac d'Ayamé. m_C: mètre en période de crue; m_E: mètre en période d'étiage; Temp.: température; OD: oxygène dissous; Turb.: turbidité; Cond.: conductivité; MES: matière en suspension.

Figure 5. Plot of seasonal variations of physico-chemical parameters depending of depth in the Ayamé Ilake. m_C: meter in high water level; m_E: meter in low water level; Temp.: Temperature; DO: dissolved oxygen; Turb.: Turbidity; Cond.: Conductivity; MES: Suspended sediment concentration.

Les charges solides en suspension, relativement faibles dans le lac d'Ayamé 1, peuvent s'expliquer par le fait que le bassin versant de ce lac se trouve dans une zone forestière. En effet, la présence de la forêt limite l'action érosive de l'eau.

Nature des matières en suspension (MES)

L'observation à la loupe binoculaire des particules recueillies sur les filtres montre d'une part des constituants organiques et d'autre part des constituants inorganiques. Les constituants organiques renferment des débris végétaux, des insectes, etc. La fraction inorganique, la plus abondante, est majoritairement formée d'argiles et de quartz détritiques.

Nature des sédiments du fond du lac d'Ayamé 1

Sur un ensemble de 93 échantillons de sédiments prélevés dans le lac, seulement 14 contenaient du sable perceptible au toucher. Les sédiments sableux seron-

Tableau 2. Matrice de corrélation des caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac d'Ayamé 1. Temp. température, OD. oxygène dissous, Turb. turbidité, Cond. conductivité, MES. matières en suspension.

Table 2. Correlation Matrix of the physico-chemical characteristics of the water of the lake of Ayamé 1. Temp. Temperature, DO. dissolved oxygen, Turb. turbidity, Cond. conductivity, SSC. suspended sediment concentration.

	pH	Temp.	Cond.	Turb.	MES	OD
Moyenne	7,014	29,374	87,295	12,964	3,787	2,899
Ecart type	0,2861	1,4113	12,1347	3,7303	1,1131	1,7313
pH	1					
Temp.	0,9119	1				
Cond.	-0,7784	-0,5986	1			
Turb.	-0,9371	-0,8524	0,8357	1		
MES	-0,7386	-0,736	0,3247	0,6848	1	
OD	0,9585	0,9693	-0,6219	-0,8935	-0,8283	1

trent aux voisinages des îles et des berges. D'une façon générale, les substrats qui combleront le fond de la cuvette d'Ayamé 1 sont constitués essentiellement de vases (85%). Diomandé (2001) qui a fait le même constat sur la nature des sédiments du lac d'Ayamé 1 souligne que la vase qui occupe le fond de ce lac est une des conséquences de la décomposition des végétaux aquatiques dans le fond lacustre. Cette abondance de vase a plusieurs sources. L'une des sources potentielles est la végétation submergée par la retenue d'eau et dont les témoins apparents sont les bois morts que l'on observe dans le lac. En effet, le lac d'Ayamé 1, à l'instar des autres lacs de la Côte d'Ivoire, n'a pas subi de déboisement avant sa mise en eau.

Par ailleurs, le lac reçoit des éléments nutritifs (nitrates, phosphates) provenant du lessivage des terres cultivées sur le bassin versant par les eaux de ruissellement (Galy-Lacaux *et al.* 1999, Ouattara 2000, Diomandé 2001). Ces éléments nutritifs favorisent le développement algal dans le lac d'Ayamé 1. Or, selon Ramade (1989), la décomposition des végétaux aquatiques qui envahissent le lac enrichit l'eau et les sédiments en matière organique.

CONCLUSION

Les études effectuées dans le lac du barrage hydroélectrique d'Ayamé 1, au cours de nos campagnes réalisées en périodes de crue (octobre 2011 et octobre 2012) et en périodes d'étiage (février 2011 et février 2012), nous ont montré que le fond du lac est très vaseux. Les flux sédimentaires venant du ravinement des berges et des eaux de la Bia couplés à la forte activité anthropique, concourent au comblement des fonds.

L'analyse des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques à des stations situées de l'amont vers l'aval du lac permet de conclure que la variation horizontale de ces paramètres n'est pas assez significative. Par contre, sur le plan vertical, la variation est relativement significative. De même, d'une saison à une autre, ces paramètres varient sensiblement. Ainsi, pendant les périodes de crue, les charges solides sont relativement plus élevées ($4,24 \text{ mg.L}^{-1}$) que pendant les périodes d'étiage

($2,61 \text{ mg.L}^{-1}$). Les charges solides en suspension ont une valeur moyenne est de $3,79 \text{ mg.L}^{-1}$.

Les charges solides en suspension sont composées d'une fraction inorganique et d'une fraction organique. La fraction inorganique est essentiellement composée de quartz détritiques et d'argiles diverses. La fraction organique est formée de fibres végétales et des débris d'organismes. Ces matières en suspension et les sédiments vaseux rendent les eaux turbides.

La présence accrue de vase dans le lac suggère une tendance au comblement général des fonds. Les études bathymétriques en cours permettront d'évaluer l'ampleur de ces phénomènes de sédimentation.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements à la Compagnie Ivoirienne d'Électricité (CIE) et particulièrement la Direction des Usines hydroélectriques d'Ayamé pour son soutien technique sur le terrain. Cette recherche a également fait l'objet d'un soutien financier et logistique de la Fondation Internationale pour la Science (IFS, Suède). Nous adressons nos sincères remerciements à cette institution pour sa contribution à nos travaux. Les auteurs remercient les évaluateurs du Bulletin Dr. M. Achab et Dr. J. A. Morales pour leurs corrections et commentaires.

REFERENCES

- Abderrahmane N.G. & Abdesselam M. 2013. Estimation de la précision de la relation en puissance reliant la concentration au débit liquide. *Revue Nature & Technologie. C- Sciences de l'Environnement*, 09, 54660.
- Adjanohoun E. & Guillaumet J.L. 1971. La végétation. *In* : Durand J., Dufour P., Guiral D. & Zabi S. (Eds.): Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. *Mém. ORSTOM*, Paris, 50, 161-162.
- Andrew S., Wendy D. & Amanda H. 2004. Suspended-sediment transport rates at the 1.5-year recurrence interval for ecoregions of the United States: transport conditions at the bankfull and effective discharge? *Geomorphol.*, 58, 243-262.
- Avenard J. M. 1971. Aspect de la géomorphologie. *In* : Durand J., Dufour P., Guiral D. & Zabi S. (Eds.). Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. *Mém. ORSTOM*, 50, Paris, 1672.
- Benedetti M.M. 2003. Controls on overbank deposition in the

- Upper Mississippi River. *Geomorphology* 56, 2716290.
- Bessenasse M., Kettab A., Paquier A., Ramez P. & Galea G. 2003. Simulation numérique de la sédimentation dans les retenues de barrages: cas de Zardezas, Algérie. *Rev. Sci. Eau*, 16, 1036122.
- Bessenasse M. 2004. Problématique de l'envasement des barrages algériens. *Tribune de l'eau* n°631/56632/6, 39643.
- Bouanani A. 2004. *Hydrologie, transport solide et modélisation étude de quelques sous bassins de la tafna (NW d'Algérie)*. Thèse Doc. Etat, Univ. Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 249 p.
- Bricquet J.P., Mahe G., Bamba F., Diara M., Mahieux A., Des Tureaux T., Orange D., Picouet C. & Olivry J.C. 1997. Erosion et transport particulaire par le Niger: du bassin supérieur à l'exutoire du delta inférieur (bilan de cinq années d'observation). *IAHS*, 246, 3356346.
- Dejoux C. (Ed.) 1988. *La pollution des eaux continentales africaines: expérience acquise, situation actuelle et perspectives*. Ed. Masson, 513 p.
- Diomande D. 2001. *Macrofaune benthique et stratégies alimentaires de Synodontis bastiani et S. schall en milieu fluvio-lacustre (bassins Bia et Agnébi; Côte d'Ivoire)*. Thèse Doc. Unique, Univ. d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 236 p.
- Durand J. & Guiral D. 1994. Hydroclimat et hydrochimie. Environnement et ressource aquatique de Côte d'Ivoire. (Tome 2). In : Durand J., Dufour P., Guiral D. & Zabi S. (Eds). Les milieux lagunaires. *Mém. ORSTOM*, 50, Paris, 1296136.
- Galy-Lacaux C., Delmas R., Kouadio G., Richard S. & Gosse P. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles*, 13, 2, 5036517.
- Ghenim A.N. 2008. *Etude des écoulements et des transports solides dans les régions semi-arides méditerranéennes*. Thèse Univ. Tlemcen, 134 p.
- Girard G., Sircoulon J. & Toucheboeuf P.P. 1971. Aperçu sur les régimes hydrologiques. In : Durand J., Dufour P., Guiral D. & Zabi S. (Eds). Le milieu naturel de Côte d'Ivoire *Mém. ORSTOM*, 50, Paris, 1096155.
- Kaiqin X., Zhongyuan C., Yiwen Z., Zhanghua W., Jiqun Z., Seiji H., Shogo M. & Masataka W. 2005. Simulated sediment flux during 1998 big-flood of the Yangtze (Changjiang) River, China. *J. Hydrol.*, 313, 2216233.
- José F. L., Joao M.D & Ivan D. 2006. Numerical modeling of cohesive sediment transport in the Ria de Aveiro lagoon, Portugal. *J. Hydrol.*, 319, 1766198.
- Kassoum T. 1979. Caractéristiques limnologiques du lac de Kossou (Côte d'Ivoire). *Ann. Univ. Abidjan. Série E (Ecologie)*, XII, 30669.
- Kouassi K. L., Kouamé K.I., Konan K.S., Angoulo M.S., Demé M. & Meledje N.H. 2013. Two-Dimensional Numerical Simulation of the Hydro-Sedimentary Phenomena in Lake Taabo, Côte d'Ivoire. *Water Resources Management*, 27(12), 437964394. doi 10.1007/s11269-013-0417-x.
- Kouassi K.L., Wognin A.V.I., Gnagne T., Nogo Y.A., Courivaud J.R., Kassy P., Demé M. & Aka K. 2007. Caractérisation des sables et morphologie du fond du lac du barrage hydro-électrique de Taabo (Côte d'Ivoire). *Sci. Nat.*, 4(1), 93-103.
- Kouassi K.L. 2007. *Hydrologie, transport solide et modélisation de la sédimentation dans les lacs des barrages hydro-électriques de Côte d'Ivoire: cas du lac de Taabo (Côte d'Ivoire)*. Thèse Doct., Univ. d'Abobo-Adjamé, 209 p.
- Nogo A. 2000. *Etude de l'érosion des sols de la région de Buyo: analyse des facteurs et essai d'évaluation des risques par la télédétection et les systèmes d'information géographiques*. Thèse 3^{ème} Cyc. Univ. d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 155 p.
- Okacha T., Abdelkader M. & Med A.T. 2002. Mise en place d'un système d'information géographique pour le suivi et la quantification de l'érosion hydrique: application au bassin versant de l'Asser (Tlemcen). *Sécheresse*, 13, 3, 96175.
- Orfeo O. & Stevaux J. 2002. Hydraulic and morphological characteristics of middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brazil). *Geomorphology*, 44, 3096322.
- Ouattara A. 2000. *Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte d'Ivoire)*. Thèse Doct. Univ. Unique. Kath. Louvain, Belgique, 207 p.
- Picouet C. 1999. *Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé: le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur*. Thèse Doct. Univ. Montpellier II, Sci. et Technol. de Languedoc, France, 386 p.
- Ramade F. (Ed.) 1993. *Dictionnaire encyclopédique de l'Ecologie et des Sciences de l'environnement*. Ediscience international. Paris, 3346355.
- Ramade F. (Ed.) 1989. *Ecologie appliquée*. Ediscience international, Paris, 267 p.
- Reizer C. (Ed.) 1967. *Aménagement piscicole du lac artificiel d'Ayamé*. Centre Technique Forestier Tropical, 108 p.
- Sarma J.N. 2005. Fluvial process and morphology of the Brahmaputra River in Assam, India. *Geomorphology*, 70, 2266256.
- Sechaud & Metz. 1958. Aménagement de la chute d'Ayamé sur la Bia, 20 p.
- Vanden B.J.P. & Bernacsek G. 1990. Source book for the inland fishery resources of Africa (vol. 2), FAO, 240 p.
- Yapo O.B. 2002. *Evaluation de l'état trophique du lac de Buyo (Côte d'Ivoire)*. Thèse Doct. Unique, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 296 p.
- Zhongyuan C., Jiufa L., Huanting S. & Wang Z. 2001. Yangtze River of China: historical analysis of discharge variability and sediment flux. *Geomorphology*, 41, 77691.

Manuscrit soumis le 26/06/2013

Version révisée acceptée le 13/11/2013

Version finale reçue le 28/11/2013

Mise en ligne le 23/04/2014