



Evolution spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de l'eau de l'estuaire du fleuve Comoé (Sud-est de la Côte d'Ivoire)

Keiba Noel KEUMEAN^{1,2*}, Siaka Barthélémy BAMBA², Gbombélé SORO¹,
Bernard Soro METONGO², Nagnin SORO¹ et Jean BIEMI¹

¹Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et du Génie de l'Environnement (LSTEGE),
Université Félix Houphouët Boigny, 22 B.P. 801 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

²Centre de Recherche Océanologiques (CRO), 29 rues des pêcheurs, BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant, E-mail : douman2007@yahoo.fr, Tel : (225) 07 21 17 83

RESUME

Dans le but de faire une caractérisation physico-chimique de l'eau de l'estuaire du fleuve Comoé, une combinaison de méthodes d'analyses statistiques avec les données de la variabilité spatio-temporelle de la qualité de l'eau de l'estuaire a été faite. Les résultats de cette combinaison montrent l'existence de trois familles d'eaux : la première famille est représentée par les stations S1, S2, S3 et S4. Ces stations sont caractérisées par une faible minéralisation, une forte turbidité et des températures élevées. Ces stations sont riches en nitrates. La seconde famille, regroupe les stations S9 et S10. Ces stations sont caractérisées par une faible température, une forte transparence et peu minéralisées. La troisième famille regroupe les stations S5, S6, S7 et S8. Ces stations sont caractérisées par une richesse en phosphates et nitrates. La pollution la plus importante est observée, en général, pendant la saison des pluies. Cette étude a permis de ressortir également l'influence primordiale des variations saisonnières et des activités anthropiques sur la qualité des eaux de l'estuaire.

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : qualité des eaux, paramètres physico-chimiques, estuaire du Comoé, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

L'estuaire du fleuve Comoé fait partie de la zone humide de Grand-Bassam, la plus importante de la Côte d'Ivoire pour son rôle écologique et socio-économique (Beibro et al., 2005). Depuis l'ouverture du canal de Vridi en 1951, un déficit hydrique a été constaté à l'embouchure naturelle du Comoé, car environ 2/3 de son débit emprunte cet exutoire. Le 1/3 restant sort en mer par le canal de Vridi après un parcours de plusieurs kilomètres en lagune Ebrié (Adopo, 2009). La réduction significative des débits fluviaux

pendant l'étiage, notamment ces dernières décennies du fait de l'influence des fluctuations climatiques, favorise les phénomènes de sédimentation (Kouassi, 2007). Ainsi, depuis la chute des volumes d'eau douce empruntant l'estuaire le rapport de force est-il en faveur de la dérive littorale qui ensable la passe (Adopo et al., 2008). Le confinement de longue durée des eaux modifie leurs paramètres physiques (Tastet, 1979). En outre, l'état de l'écosystème devient de plus en plus préoccupant du fait de l'apparition des végétaux aquatiques

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i4.31>

envahissants dont le nombre ne cesse d'augmenter. La présence de ces végétaux rend-t-elle la navigation difficile dans l'estuaire et réduit ainsi le champ d'exploitation des pêcheurs (Hauhout, 2008).

La compréhension du fonctionnement d'un tel écosystème nécessite plusieurs études dont l'une est la détermination de la qualité physico-chimique de l'eau de l'estuaire. De plus cette étude permettra de mettre en évidence l'impact des populations riveraines sur le milieu aquatique.

MATERIEL ET METHODES

Sites d'échantillonnage et campagnes de mesures

Le secteur estuarien du fleuve Comoé est situé à l'extrémité orientale de la lagune Ebrié. Il est situé entre 5°12' et 5°14' de latitude Nord et 3°42' et 3°44' de longitude Ouest. Cette zone constitue le plus vaste estuaire du littoral ivoirien (Koffi et Abé, 1991). La zone d'étude couvre les environs de l'île Morin au Nord, le pont de Moossou à la confluence du fleuve Comoé et de la lagune Ebrié, l'île Bouet, la lagune Ouladine et le cordon littoral au Sud. Elle inclut le bras du fleuve Comoé jusqu'au village de Yaou au Nord-est (Figure 1).

La zone estuarienne est alimentée par le fleuve Comoé qui draine tout l'arrière pays et couvre une superficie de 78000 km². D'après les travaux de Tagini (1971), les roches rencontrées sur le bassin versant du Comoé sont les suivantes : les roches magmatiques, les roches métamorphiques et les roches vertes. A l'embouchure du fleuve, on rencontre des formations sédimentaires très peu développées composées de sables tertiaires plus ou moins argileux et des sables marins quaternaires et actuels qui constituent le cordon littoral.

Dix stations ont été choisies dont deux dans la lagune Ouladine (stations S9 et S10), deux dans la lagune Ebrié (stations S5 et S6), trois dans le fleuve Comoé (Stations S1, S2 et S3) et trois à l'embouchure du fleuve Comoé (stations S4, S7 et S8). Seize campagnes de

mesures ont été réalisées de décembre 2009 à décembre 2011, réparties sur trois saisons : 4 campagnes en saison des crues, 6 en saison sèche, 6 en saison des pluies.

Méthodes d'analyse

Dans le cadre de cette étude, neuf (09) paramètres physico-chimiques ont été analysés, ce sont la température, le pH, la salinité, l'oxygène dissous, la transparence, les matières en suspension (MES), les nitrates, les nitrites et les phosphates.

La température, le pH, l'oxygène, la salinité et la transparence ont été déterminés sur le site du prélèvement. La température, le pH et l'oxygène par un multi-paramètre de type Orion Star 4, la salinité a par un multi-paramètre de type HACH Sension 5 et la transparence a été mesurée selon la méthode du disque de Secchi.

Les MES ont été mesurés selon la méthode décrite par Aminot et Chaussepied (1983). Les nitrates, nitrites et les phosphates ont été mesurés par un spectrophotomètre à UV visible de type Shimadzu UV-160 A après dosage. Les nitrates ont été dosés par la méthode colorimétrique en présence de salicylate de sodium, les nitrites par la méthode colorimétrique en présence de Naphtylamine et éthylène diamine et les phosphates par la méthode colorimétrique en présence de molybdate de d'ammonium et antimoine (III) (Murphy et Riley, 1962).

Les données pluviométriques de la région de Grand-Bassam ont été acquises respectivement auprès de la Société d'Exploitation et de Développement Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM). Les caractéristiques hydrologiques (débits) du fleuve Comoé ont été obtenues auprès de la Direction Générale de l'Alimentation en Eau (DGAE).

Méthodes statistiques

Pour l'analyse et l'interprétation de ces résultats, une étude des relations d'interdépendance a été réalisée en utilisant

l'analyse en Composantes Principales (A.C.P). L'ACP est une technique mathématique permettant de réduire un système complexe de corrélation en un nombre réduit de dimension (Bourache et Saporta, 1983). Ces composantes principales doivent être non corrélées entre elles et de variances décroissantes, de manière à permettre de mieux expliquer les différences entre les individus. C'est un outil de choix en hydrochimie, puisque les paramètres chimiques sont généralement soumis à des variations remarquables aussi bien dans le

temps que dans l'espace et que ces variables sont nombreuses pour un échantillon donné. Elle révèle en outre les facteurs qui sont à l'origine de l'évolution des variables et de leurs relations (Foucart, 1982). L'analyse a été effectuée sur une matrice des données constituée de 160 prélèvements (10 stations et 16 campagnes) au cours desquels neuf variables ont été mesurés (température, salinité, pH, oxygène dissous, transparence, matières en suspension, nitrates, nitrites et phosphates) avec le logiciel XLSTATPRO 2012 édité par Addinsoft.

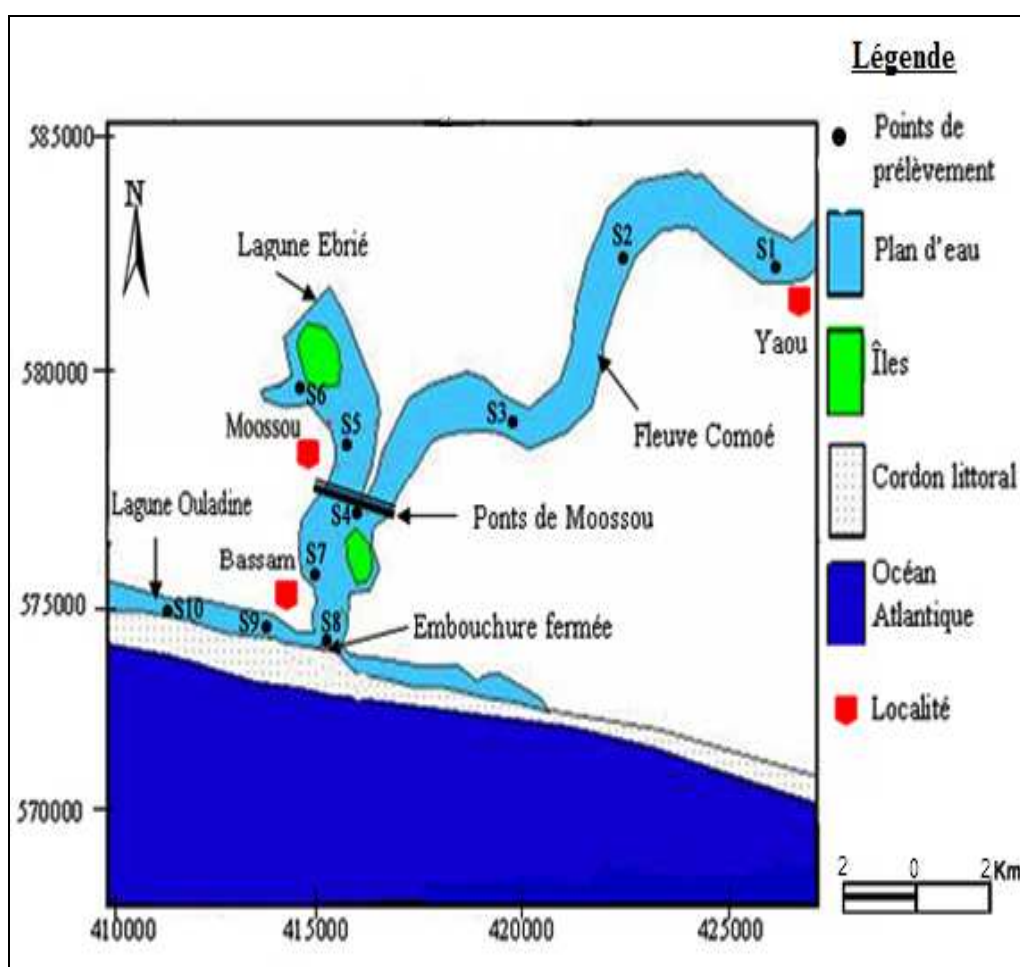


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et des stations.

RESULTATS

Paramètres physiques

Température

L'analyse des valeurs moyennes de la température montre des valeurs comprises entre 27,20 °C et 32,45 °C. Les eaux de l'estuaire présentent une absence de variation thermique importante (Tableau 1). L'évolution saisonnière de la température de l'eau au niveau de l'estuaire est caractérisée par des valeurs élevées en saison sèche et qui atteignent souvent les 32 °C. La température la plus faible a été mesurée en saison des pluies et surtout dans le mois d'août (upwelling côtier) (Figure 2). La température présente au niveau de l'estuaire une augmentation de l'embouchure à l'amont.

Salinité

Les eaux de l'estuaire ont une salinité faible et présentent des valeurs moyennes comprises entre 0‰ et 2,55‰. Les coefficients de variation sont dans l'ensemble très élevés traduisant des différences de teneurs très significatives entre les divers points de prélèvements (Tableau 1). Au cours de notre période d'étude, l'évolution spatiale de la salinité révèle des valeurs nulles au niveau des stations S1 et S2 (Figure 3). Pour la variation saisonnière, on note une augmentation de la salinité en saison sèche qui serait favorisée par l'étiage du fleuve Comoé et l'entrée des eaux marines. Une baisse des teneurs en saison des pluies et en saison de crue du Comoé. On constate une augmentation de la salinité de l'amont vers l'embouchure.

pH

L'évolution du pH au niveau de l'estuaire témoigne de faibles variations, le pH est acide à modérément neutre durant toute la période d'étude et les valeurs sont comprises entre 6,06 et 7,85. Les coefficients de variation sont dans l'ensemble très faibles ce qui montre une bonne distribution des valeurs au sein des différentes stations (Tableau 1). L'évolution saisonnière est marquée par l'enregistrement de faibles valeurs de pH lors du mois de juin (saison de pluie) et octobre (crue du Comoé) (Figure 4). On constate une augmentation du pH de l'amont vers l'embouchure.

L'oxygène dissous

La station S1 représente celle où l'oxygène dissous est élevé (Figure 5). La teneur en oxygène dissous diminue de l'amont vers l'aval. Les eaux présentent des teneurs moyennes en oxygène dissous allant de 5,46 mg.L⁻¹ en amont à 3,08 mg.L⁻¹ en aval (Tableau 1). L'évolution saisonnière de ce paramètre est caractérisée par de faibles valeurs en saison sèche et saison de pluie. La saison de crue semble améliorer la teneur en oxygène des eaux superficielles de l'estuaire.

Transparence (m)

Le suivi de la transparence montre des variations saisonnières importantes. La profondeur de disparition du disque de Secchi est comprise entre un minimum de 0,47 m et un maximum de 1,40 m (Tableau 1). Les valeurs les plus faibles indiquant un faible niveau de transparence coïncident avec la saison de crue et de pluie (Figure 6). L'évolution de la transparence se fait de l'amont vers l'embouchure au niveau de l'estuaire du Comoé.

Matières en suspension

Les moyennes des matières en suspension montrent des valeurs comprises entre 1,51 mg.L⁻¹ et 23,33 mg.L⁻¹ (Tableau 1). La variation saisonnière des MES montre deux périodes contrastées : une période d'étiage du fleuve Comoé correspondant à la saison sèche où les eaux sont peu chargées en MES avec des concentrations inférieures 7 mg.L⁻¹ et une période de crue et de la grande saison de pluie où les eaux sont chargées en MES avec des concentrations maximales de 39 mg.L⁻¹. L'évolution spatiale des MES au niveau de l'estuaire se fait de l'aval vers l'amont avec une forte valeur obtenue à la station S4 au mois d'octobre (Figure 7).

Les paramètres chimiques

Phosphates

Les valeurs moyennes des phosphates sont comprises entre 60,43 µg.L⁻¹ et 304,13 µg.L⁻¹ (Tableau 2). Toutes les stations ont des valeurs moyennes élevées (concentration ≥ 100 µg.L⁻¹) en saison de pluie et période de crue (Figure 8). Les coefficients de variation sont élevés traduisant des différences de teneurs très significatives entre les divers points de

prélèvements à cette même période. Les plus faibles valeurs sont enregistrées en saison sèche à toutes les stations.

Nitrates

L'évolution des nitrates au niveau de l'estuaire montre des valeurs comprises entre 162,83 $\mu\text{g.L}^{-1}$ et 613,10 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Les coefficients de variation sont élevés aux différentes stations sauf en période d'étiage où des faibles valeurs ont été enregistrées à certaines stations (Tableau 2). Au point de vue saisonnier, les périodes de pluies (saisons de pluies et crue du Comoé) drainent plus de nitrates que la période d'étiage (saison sèche). Sur toutes les stations d'études, les concentrations restent supérieures à 100 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Figure 9). Certaines stations restent plus riches en nitrates avec des teneurs allant jusqu'à 800 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Nitrites

L'évolution des nitrates montre des teneurs légèrement faibles. Toutes les stations présentent des valeurs oscillant entre 8,75 $\mu\text{g.L}^{-1}$ et 69,35 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Tableau 2). Les stations en amont de l'estuaire présentent des valeurs plus faibles par rapport aux stations aval. Pour la variation saisonnière des nitrites, la période d'étiage représente la plus faible valeur sur l'ensemble des stations. Les valeurs maximales sont observées en période de pluies avec des coefficients de variation élevés (Figure 10).

Analyse en Composante Principale

Le pourcentage de variance exprimée pour chaque facteur est donné dans le Tableau 3. Ces valeurs donnent la contribution de chaque facteur au nuage de points. Les trois premiers facteurs expriment 92,53% de la variance dont 62,34% pour F1, 16,98% pour F2 et 13,21% pour F3. Le facteur F1 est très important par rapport aux autres facteurs et le plan factoriel (F1-F2) exprime 79,32% de la variance totale du nuage de points. La représentation des données dans le plan (1-2) rend compte de manière assez satisfaisante de la proximité des éléments.

Espace des variables

Les résultats de l'analyse montrent que la première composante F1 qui contribue avec

62,34% d'inertie, est défini par les paramètres transparence (0,99), pH (0,92) et salinité (0,92) dans sa partie positive et les paramètres température (-0,97), oxygène dissous (-0,89) et MES (-0,88) dans sa partie négative (Figure 11). Le facteur F1 définit le gradient de minéralisation et le rythme saisonnier.

Avec une inertie de 16,98% la deuxième composante F2 est défini par les paramètres phosphates (0,87) et nitrites (0,50) dans sa partie positive et par les nitrates (-0,63) dans sa partie négative (Figure 11). Le fait que les fortes valeurs de ces paramètres soient obtenues en saison de pluies et de crue du Comoé explique une origine superficielle de ces éléments. Le facteur F2 définit le facteur origine anthropique des nutriments par les apports superficiels.

Enfin, le facteur F3 qui contribue avec 13,21% d'inertie est défini par les nitrites et les nitrates qui tous deux sont les produits de l'oxydation de l'azote (Figure 12). Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement à un taux faible. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre *Nitrosomonas*, puis en nitrates par les bactéries du genre *Nitrobacter*. Le facteur F3 exprime le phénomène de la nitrification.

Espaces des unités statistiques

Dans le plan factoriel F1XF2, trois familles d'unités statistiques se distinguent (Figure 11). La première famille est représentée par les stations S1, S2, S3 et S4. Ces stations sont caractérisées par une faible minéralisation, une forte turbidité et des températures élevées. Ces stations sont riches en nitrates. La seconde famille, quant à elle regroupe les stations S9 et S10. Ces stations sont caractérisées par une faible température, une forte transparence et peu minéralisés. La troisième famille regroupe les stations S5, S6, S7 et S8. Ces stations sont caractérisées par une richesse en phosphates et nitrites.

Tableau 1 : Variation saisonnière des paramètres physicochimiques des eaux de l'estuaire du Comoé de 2009 à 2011.

Station	Saisons	T (°C)		pH		Salinité (‰)		O ₂ (mg.L ⁻¹)		Transp (m)		MES (mg.L ⁻¹)	
		m	cv	m	cv	m	cv	m	cv	m	cv	m	cv
S1	Sèche	31,45	1	6,13	2	-	-	5,20	25	1,08	14	2,73	21
	Pluie	28,22	7	6,10	3	-	-	4,76	18	0,57	43	10,50	60
	Crue	28,77	3	6,07	1	-	-	5,91	19	0,47	43	18,77	57
S2	Sèche	31,35	2	6,15	3	-	-	4,85	23	1,03	11	2,43	8
	Pluie	28,22	7	6,15	3	-	-	3,95	32	0,52	47	10,98	43
	Crue	28,77	3	6,08	3	-	-	5,90	22	0,47	52	18,33	49
S3	Sèche	31,20	2	6,16	3	0,12	35	4,22	22	1,05	8	2,40	19
	Pluie	28,37	6	6,07	4	-	-	4,83	7	0,52	43	12,60	37
	Crue	28,95	4	6,06	4	-	-	5,34	29	0,53	43	18,43	53
S4	Sèche	30,47	3	6,17	7	0,22	48	4,84	28	1,00	12	3,15	19
	Pluie	28,25	5	6,32	4	0,07	95	4,98	9	0,55	49	13,85	26
	Crue	28,80	3	6,32	2	0,02	98	5,89	16	0,53	31	23,33	47
S5	Sèche	30,12	4	6,66	6	0,5	37	3,82	26	1,28	12	2,23	8
	Pluie	28,17	5	6,42	6	0,25	83	4,97	11	0,60	59	10,10	49
	Crue	28,52	3	6,40	2	0,10	71	5,39	24	0,52	53	17,25	56
S6	Sèche	30,02	4	6,74	8	0,62	36	4,03	21	1,25	9	1,98	19
	Pluie	28,42	6	6,55	5	0,25	83	5,08	6	0,65	40	8,50	37
	Crue	28,40	3	6,50	2	0,12	87	5,58	24	0,62	35	15,80	51

S7	Sèche	29,57	4	6,60	4	0,57	14	3,70	18	1,32	15	1,83	19
	Pluie	28,07	6	6,50	3	0,25	66	3,33	32	0,60	31	8,60	48
	Crue	28,22	2	6,67	3	0,35	59	5,26	23	0,65	32	14,75	58
S8	Sèche	29,45	4	6,78	4	0,77	31	3,55	17	1,32	3	1,51	18
	Pluie	28,00	7	6,64	4	0,55	61	3,28	29	0,70	42	8,80	48
	Crue	28,02	3	6,75	3	0,45	66	5,28	28	0,67	45	15,13	58
S9	Sèche	29,15	4	7,60	2	2,00	26	3,19	16	1,40	10	1,51	21
	Pluie	27,37	7	7,42	5	1,30	46	4,01	6	0,87	28	7,05	56
	Crue	27,80	3	6,98	2	1,32	58	5,01	28	0,77	39	12,35	57
S10	Sèche	28,87	4	7,85	2	2,55	14	3,08	16	1,28	15	1,67	7
	Pluie	27,20	7	7,65	4	1,90	22	3,10	17	1,03	14	7,28	65
	Crue	27,45	3	7,33	3	1,82	38	5,18	21	0,90	33	13,80	47

(m : moyenne ; cv (%) : coefficient de variation).

Tableau 2 : Variation saisonnière des paramètres chimiques des eaux de l'estuaire du Comoé de 2009 à 2011 (m : moyenne ; cv (%) : coefficient de variation).

Station	Saisons	PO ₄ ³⁻ (µg.L ⁻¹)		NO ₃ ⁻ (µg.L ⁻¹)		NO ₂ ⁻ (µg.L ⁻¹)	
		m	cv	m	cv	m	cv
S1	Sèche	84,93	18	193,60	25	24,03	25
	Pluie	219,78	46	560,43	34	33,78	43
	Crue	143,57	33	417,33	33	10,46	15
S2	Sèche	68,03	86	163,85	31	24,23	44
	Pluie	304,13	56	613,10	14	42,48	50
	Crue	263,00	51	179,78	34	8,75	31
S3	Sèche	111,10	30	180,75	18	21,10	44
	Pluie	260,90	58	449,32	36	59,70	41
	Crue	224,85	49	243,65	27	13,65	44
S4	Sèche	60,43	33	193,20	44	19,25	29
	Pluie	220,53	46	430,42	31	33,87	59
	Crue	307,95	27	249,12	27	16,70	55
S5	Sèche	95,90	18	276,55	16	20,18	20
	Pluie	246,55	30	429,80	20	53,15	48
	Crue	280,90	27	377,67	51	67,25	45
S6	Sèche	92,20	12	200,53	24	25,47	65
	Pluie	292,90	35	441,70	43	69,12	35
	Crue	143,93	45	339,47	59	83,20	37
S7	Sèche	110,83	19	168,85	14	29,75	12
	Pluie	279,83	33	461,55	35	69,35	22
	Crue	277,32	44	276,60	33	66,80	48
S8	Sèche	93,33	10	147,27	26	27,48	7
	Pluie	302,40	33	463,23	33	63,07	32
	Crue	128,10	37	369,77	39	51,58	17
S9	Sèche	92,88	23	163,65	17	23,15	9
	Pluie	206,00	30	548,30	32	34,82	43
	Crue	132,00	49	260,67	37	40,68	40
S10	Sèche	88,10	13	162,83	30	18,08	29
	Pluie	217,12	54	361,45	34	45,87	48
	Crue	224,53	61	289,75	60	52,75	23

Tableau 3 : Pourcentage des facteurs.

	F1	F2	F3
Valeur propre	5,611	1,528	1,189
Variabilité (%)	62,339	16,982	13,207
% cumulé	62,339	79,321	92,529

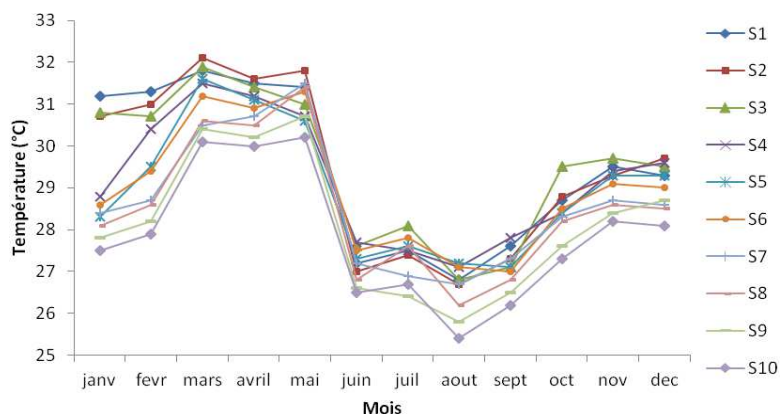


Figure 2 : Variation moyenne mensuelle de la température des eaux de l'estuaire du Comoé.

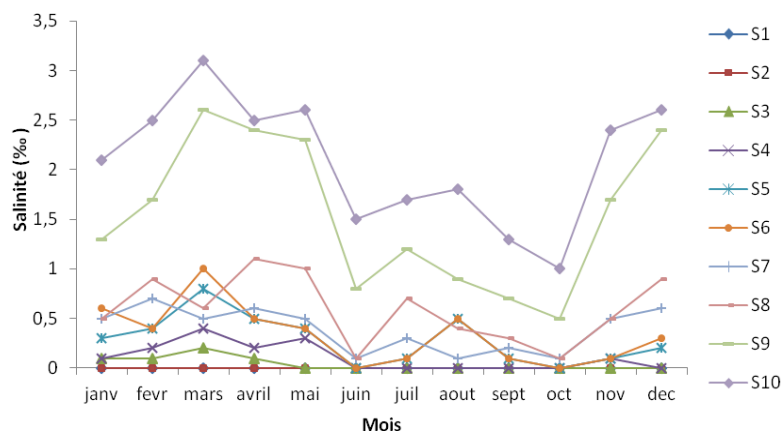


Figure 3 : Variation moyenne mensuelle de la salinité des eaux de l'estuaire du Comoé.

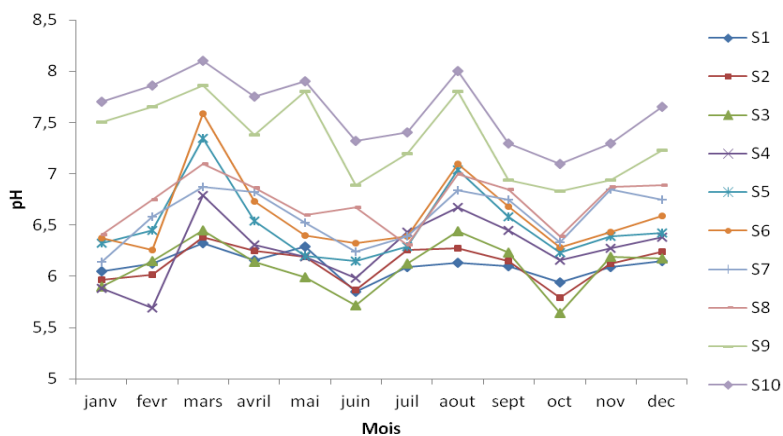


Figure 4 : Variation moyenne mensuelle du pH des eaux de l'estuaire du Comoé.

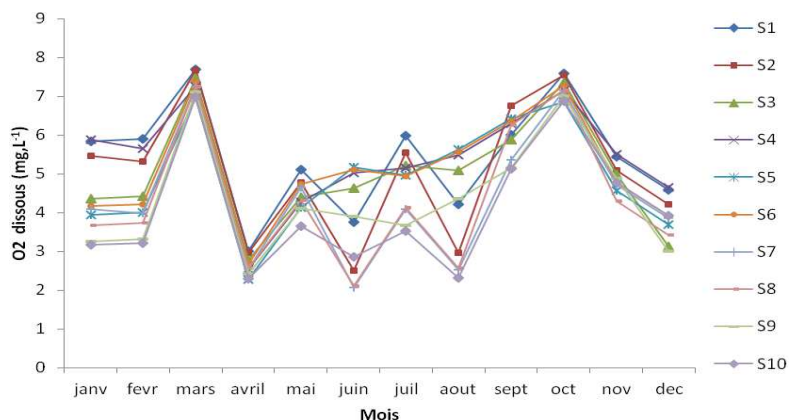


Figure 5 : Variation moyenne mensuelle de l'oxygène dissous des eaux de l'estuaire du Comoé.

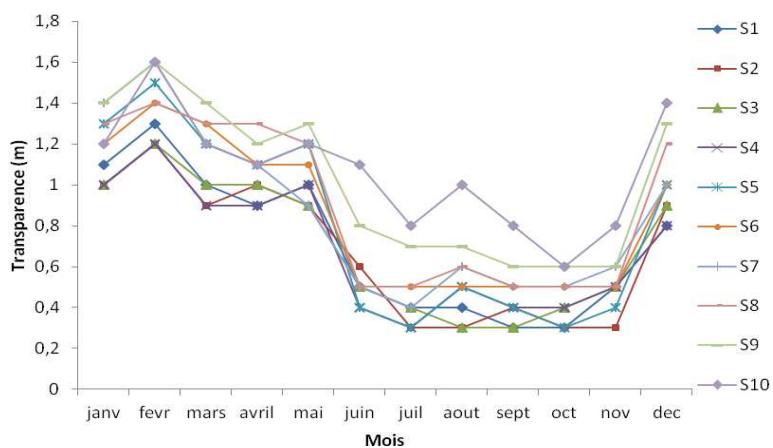


Figure 6 : Variation moyenne mensuelle de la transparence des eaux de l'estuaire du Comoé.

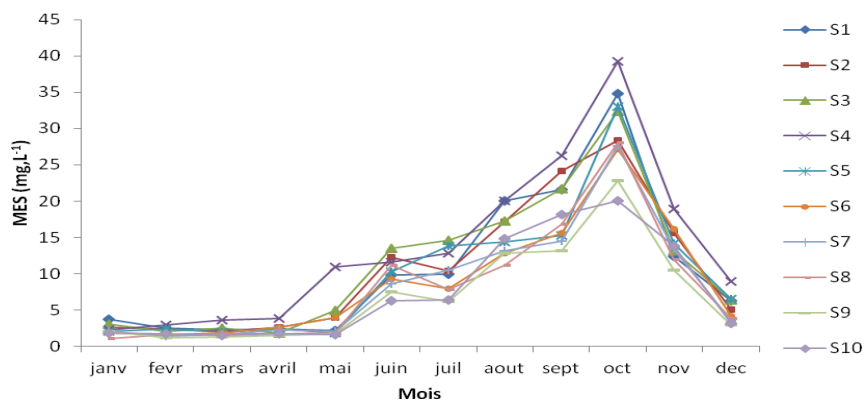


Figure 7 : Variation moyenne mensuelle des MES des eaux de l'estuaire du Comoé.

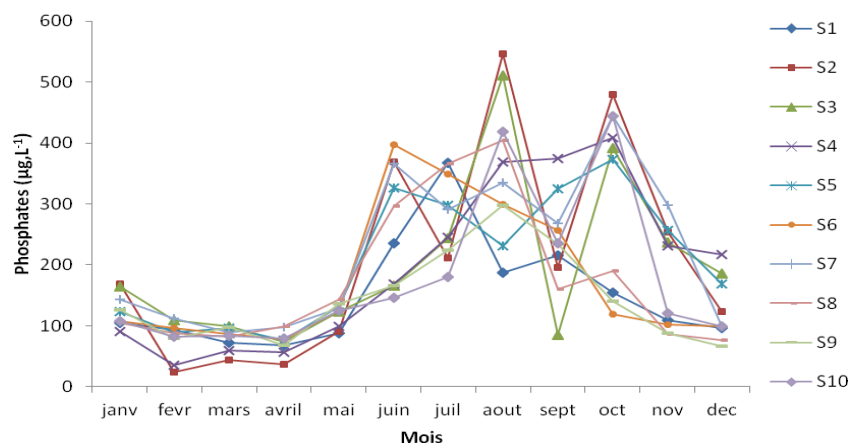


Figure 8 : Variation moyenne mensuelle des phosphates des eaux de l'estuaire du Comoé.

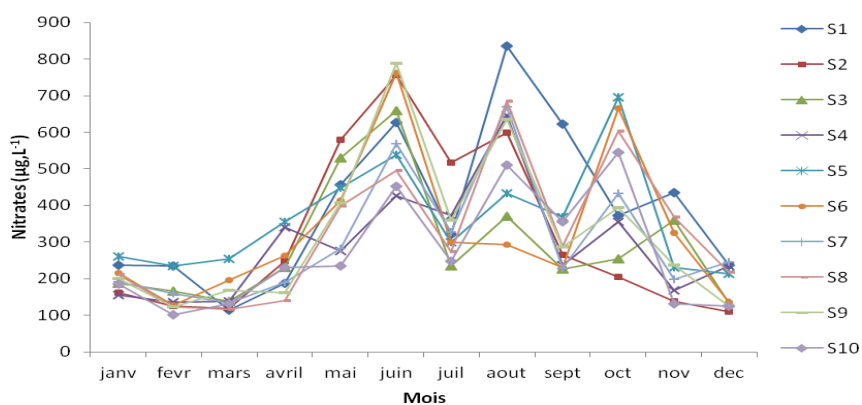


Figure 9 : Variation moyenne mensuelle des nitrates des eaux de l'estuaire du Comoé.

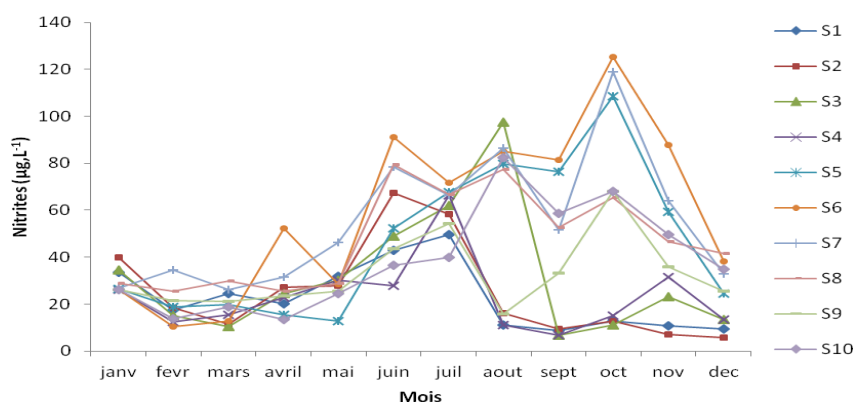


Figure 10 : Variation moyenne mensuelle des nitrates des eaux de l'estuaire du Comoé.

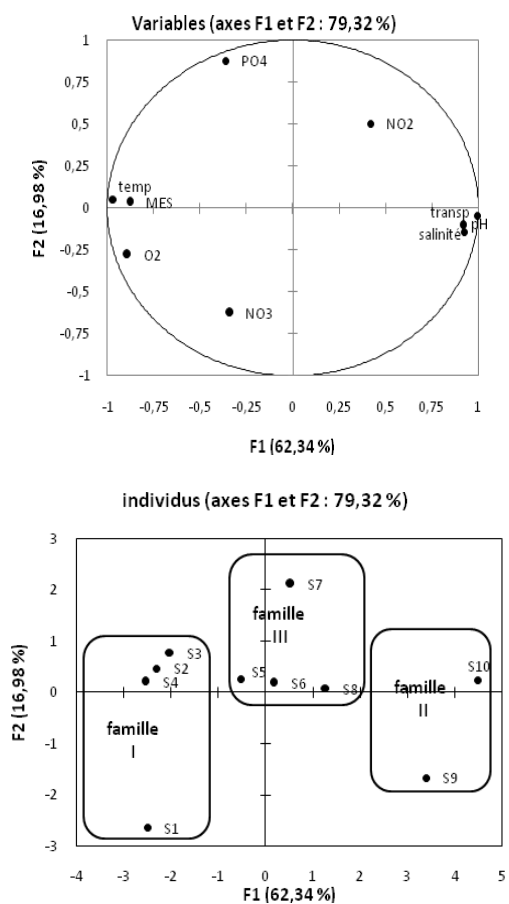


Figure 11 : Analyse en Composantes Principales dans le plan factoriel F1-F2 (espace des variables et unités statistiques).

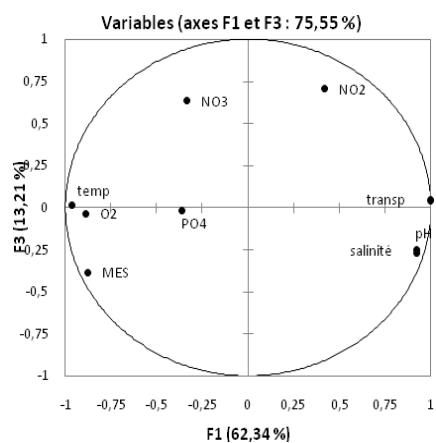


Figure 12 : Analyse en Composantes Principales dans le plan factoriel F1-F3 de l'espace des variables.

DISCUSSION

La température des eaux estuariennes du Comoé montre une évolution saisonnière à aspect plus ou moins sinusoïdal. Les variations saisonnières des températures superficielles observées restent liées aux conditions locales. Les mêmes observations ont été faites par El Morhit et al. (2013) sur l'estuaire du Loukkos au Maroc. La température des eaux d'un estuaire dépend de celle des eaux salées côtières et celles des eaux douces. Son cycle est déterminé par le rapport des influences marines et fluviales (Benmessaouda, 2007).

En zone estuarienne, la salinité représente un facteur clé, car elle est fonction du rythme et de l'amplitude de la marée d'un coté et du débit fluvial de l'autre ; dans notre cas, après la fermeture de l'embouchure du Comoé, on assiste à un confinement des eaux de l'estuaire. Le débit fluvial est devenu le principal moteur du point de vue de l'hydrodynamique estuarienne. Toute chose qui provoque la chute de la salinité, Haridi et al. (2011) ont fait le même constat dans la rivière-estuaire du Mafrag en Algérie. En effet, les faibles valeurs de salinité enregistrées pendant les saisons pluvieuses et la saison de crue du Comoé sont dues à la dilution des eaux estuariennes par les eaux de ruissellement et les eaux douces. Mama et al. (2011) font les mêmes constats sur le lac Nokoué au Bénin où les apports du fleuve Onémé abaissent considérablement la salinité du lac.

Comme la salinité, le pH des eaux de l'estuaire dépend des apports continentaux et océaniques. Les valeurs de pH dans l'estuaire du Comoé sont relativement acides (pH voisin de 5) dans la partie amont puis atteignent des valeurs proches de la neutralité à l'embouchure. Les faibles valeurs de pH observées pendant la saison des pluies et de crue du Comoé traduisent les effets directs des eaux de pluies et continentales à travers la crue du Comoé. El Morhit et al. (2012) font le même constat sur l'estuaire du Loukkos au Maroc où les eaux montrent un pH très

variable, en rapport avec les fluctuations de la salinité qui suit le cycle marégraphique.

Les teneurs en oxygène dissous sont d'une manière générale, supérieure à 4 mg.L^{-1} dans la partie amont durant toute l'année et sont insignifiantes au niveau de l'embouchure. Ces valeurs sont inférieures à celles de Sankaré et Etien (1991) qui ont trouvés des valeurs supérieures à 4 mg.L^{-1} sur tout l'estuaire. Cette faible oxygénation des eaux peut être liée au confinement de l'estuaire et à la présence des matières organiques transportées dans l'estuaire par les eaux de ruissellement. Mais, les teneurs élevées au niveau de la zone amont semblent être liées à l'abondance de la végétation et l'importance du courant. Ce même constat a été fait par Kadri et al. (2012) sur le cours supérieur de l'Oued Za au Maroc.

Les quantités des MES contenues dans les eaux de l'estuaire montrent une croissance nette de l'aval vers l'amont, ce même gradient a été décrit par Adopo (2009) sur le même site. Cet auteur attribue cette croissance aux phénomènes de décantation qui se traduit par les dépôts progressifs des charges solides lors du transport. La forte charge exceptionnellement enregistré en octobre est probablement le résultat d'une manifestation hydrologique brutale (crue), dont la charge en MES peut être attribuée à une intense érosion du bassin versant, suite à des pluies brutales qui occasionnent une augmentation des matières en suspension. C'est aussi le cas de l'Oued Moulouya du Maroc oriental (Makhoukh et al., 2011).

D'une manière générale, les teneurs en NO_3^- , NO_2^- et PO_4^{3-} sont élevées pendant la saison des pluies et en particulier lors de la petite saison des pluies qui coïncide avec le passage de la crue du Comoé. A l'opposé, les concentrations minimales sont enregistrées lors de la saison sèche. En saison des pluies le taux élevé en sels nutritifs serait le fait de la circulation et du renouvellement des eaux, qui entraîne une remontée des sédiments qui viennent également enrichir la colonne d'eau (Makhoukh et al., 2011). A cela s'ajoute le

fait que la population riveraine et les animaux défèquent directement ou indirectement dans les eaux. Cette situation est comparable à celle décrite par Hayé et al. (2007) au niveau de la baie de Biétri en lagune Ebrié, Côte d'Ivoire. Selon Somé et al. (2008) en transportant des particules de terre, les eaux de ruissellement transportent aussi les éléments nutritifs dissous associés à ces sédiments. C'est ainsi que ces éléments nutritifs sont entraînés dans les eaux. Martin et Meynard (1997) ont établi un rapport entre le système de culture, l'érosion et la pollution de l'eau par les éléments nutritifs. En effet, selon ces auteurs, si les apports d'engrais minéraux ou organiques en agriculture constituent une porte d'entrée de certains éléments nutritifs dans le sol, les pratiques agricoles (travail du sol, absence d'aménagement anti-érosif, etc.) facilitent leur mobilisation par les eaux de ruissellement. Les temps de transfert de certains éléments comme les nitrates vers les eaux sont très variables selon les milieux et peuvent être de quelques jours ou mois à plusieurs années (Dubois, 1998). L'évolution des phosphates suit celle des nitrates.

En saison sèche, la prolifération des algues restent la plus importante source de consommation des sels nutritifs. En période, d'étiage on assiste à une importante sédimentation des sels nutritifs du fait de la faible circulation des eaux de l'estuaire. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par El Morhit et al. (2013) sur l'estuaire du Loukkos au Maroc. Selon cet auteur, les faibles quantités en sels nutritifs peuvent être expliquées par l'action de la microflore aquatique qui les utilise pour la synthèse de molécules organiques.

Conclusion

Les résultats de l'analyse physico-chimique présentés dans ce travail, ont montré une grande variabilité spatiale et saisonnière des paramètres hydrochimiques et physico-chimiques. Les eaux de l'estuaire du Comoé sont turbides et leurs teneurs en sels nutritifs caractérisent un environnement eutrophe. Ce

niveau trophique est causé par les apports d'eaux continentales et les apports anthropiques d'effluents domestiques et agricoles. Les variations des paramètres physico-chimiques notamment les fortes teneurs de MES et les teneurs importantes en sels nutritifs laissent présager des conditions anoxiques qui limitent l'autoépuration de l'écosystème. L'Analyse en Composantes Principales des données physico-chimiques nous ont permis de faire ressortir la corrélation existante entre les différents paramètres et de différencier une zonation de la qualité de l'eau de l'estuaire.

REFERENCES

- Adopo KL. 2009. Caractérisation du fonctionnement hydro-sédimentaire d'un environnement estuarien en zone tropicale : cas de l'embouchure du fleuve Comoé a Grand-Bassam (Sud-est de la Cote d'Ivoire). Thèse Unique de doctorat, Université de Cocody, 154p.
- Adopo KL, Kouassi KL, Wognin AVI, Mondé S, Aka K. 2008. Caractérisation des sédiments et morphologie de l'embouchure du fleuve Comoé (Grand-Bassam, Côte d'Ivoire). *Rev. Paralia*.
- Aminot A, Chaussepied M. 1983. *Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin*. CNEXO, Editions Jouve: Paris; 395.
- Beibro YH, N'douba V, comité RAMSAR de Côte d'Ivoire. 2005. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR).
- Benmessaouda F. 2007. Qualité physico-chimique, métallique, bactériologique des eaux de l'estuaire du Bou Regreg et impact sur la biologie et la démographie de *Venerupis decussata* (Linné, 1958) et *Cardium edule* (Linné, 1957). Thèse de doctorat, Université Mohammed V-Agdal, faculté des sciences Rabat, 289p.
- Bourache JM, Saporta G. 1983. *L'Analyse des Données* « que sais-je » n° 1854. Presse Universitaire : France.
- Dubois SF. 1998. Les nitrates: origines et impacts sur le milieu. *Agriculture et Environnement*, **6**: 95-104.

- El Morhit M, Fekhaoui M, Serghini A, El Bliidi S, El Abidi A, Yahyaoui A, Hachimi M. 2012. Etude de l'évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques caractérisant la qualité des eaux de l'estuaire du Loukkos (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, **34**(2): 151-162.
- El Morhit M, Fekhaoui M, Serghini A, El Bliidi S, El Abidi A, Yahyaoui A. 2013. Typology of water quality in the Loukkos river estuary (Morocco). *Larhyss Journal*, **12**: 7-24.
- Foucart S. 1982. *Analyse Factorielle. Programme sur Ordinateur*. Masson: Paris, France.
- Haridi A, Taammallah ZF, Ziouch OR, Ounissi M. 2011. Le phosphore dissous dans la rivière-estuaire du Mafrag : Répartition et niveaux de concentrations. *Nature et Technologie*, **7**: 102-108.
- Hauhout C. 2008. Les problèmes de l'aménagement de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand-Bassam. *Cahiers d'Outre-mer*, **219**: 50-72.
- Hayé CV, Dongui BK, Kouassi AM, Pellerin J, Trokourey A. 2007. Evaluation quantitative et qualitative des effluents industriels de la baie de Biétrie (Lagune Ebrié, Abidjan, Côte d'Ivoire). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **09**: 39-103.
- Kadri IB, Berrahou A, El Halouani H, et Chafi A. 2012. Evaluation de la qualité du cours supérieur de l'Oued Za (Maroc oriental). *Sci. Lib. Ed. Mersenne*, **120709**(4).
- Koffi K, Abe J. 1991. Contribution à l'étude des modifications hydro-sédimentaires consécutives à la réouverture artificielle de l'embouchure du Comoé à Grand-Bassam *Journal Ivoirien d'Océanologie et Limnologie*, **1**(2): 47-60.
- Kouassi KL. 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. Thèse de doctorat, Univ. d'Abobo-Adjamé, 209p.
- Makhoukh M, Sbaa M, Berrahou A, Van Clooster M. 2011. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc Oriental). *Larhyss Journal*, **09**: 149-169.
- Mama D, Deluchat V, Bowen J, Chouti W, Yao B, Gnon B, Bandu M. 2011. Caractérisation d'un système lagunaire en zone tropicale : cas du lac Nokoué (Bénin). *Eur. J. Sci. Res.*, **56**(4): 516-528.
- Martin Ph, Meynard JM. 1997. Système de culture, érosion et pollution des eaux par l'ion nitrate. In *Production Végétale et Qualité de l'Eau*, Aupelf-Uref (ed). Inera, Isbn 2-9380-0708-2: 412p.
- Murphy J, Riley JP. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, **27**: 31-36.
- Sankaré Y, Etien N. 1991. Analyse des effets de l'ouverture du chenal de Grand-Bassam (estuaire du fleuve Comoé, Lagune Ebrié) sur la macrofaune benthique lagunaire. *Journal Ivoirien d'Océanologie et Limnologie*, **1**(2): 81-90.
- Somé K, Dembélé Y, Somé L, Millogo RJ. 2008. Pollution agricole des eaux dans le bassin du Nakanbé : cas des réservoirs de Loumbila et de Mogtédou au Burkina Faso. *Sud Sci. Technol.*, **16**.
- Tagini B. 1971. *Esquisse Structurale de la Côte d'Ivoire. Essai de Géotectonique Régionale*. SODEMI : Abidjan ; 302 p.
- Tastet JP. 1979. Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo et Bénin). Thèse DES, Univ. de Bordeaux I, 175p.