

ANALYSE EN COMPOSANTE HYDROLOGIQUE PRINCIPALE DE LA LAGUNE DIGBOUE (SAN PEDRO, CÔTE D'IVOIRE)

AMANI ETCHÉ M.*, WOGNIN AMA V., WANGO TED EDGARD, MONDE S. ET AKA K.

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Département de Géosciences Marines, 22 BP 528 Abidjan 22 Côte d'Ivoire

*Correspondance : etche28@yahoo.fr

RESUME

La lagune Digboué est située au Sud Ouest du littoral ivoirien. Elle a une superficie d'environ 10 km². C'est une lagune fermée peu profonde qui est reliée temporairement à l'océan Atlantique par une passe sableuse d'une cinquantaine de mètres. Elle est ouverte de façon artificielle sur l'océan à chaque grande saison des pluies car les forts ruissellements occasionnent l'inondation des zones environnantes. En outre, ce grau permet le mélange des eaux la lagune Digboué et de l'Océan atlantique. Ces caractères dynamiques influencent l'hydrologie de cette lagune durant cette période. En effet, l'analyse en composante principale de la salinité, la température, le pH, l'oxygène dissous et les MES montre l'existence de corrélation entre certains paramètres hydrologiques. Ainsi, la température, dépendrait du couple salinité-conductivité. Les variabilités du pH par contre seraient liées à la salinité. L'oxygène se singularise tout en étant plus ou moins influencé par ceux-ci.

Mots clés : hydrologie, lagune Digboué, Côte d'Ivoire

ABSTRACT

The Digboue lagoon is located at the western south of the Côte d'Ivoire. Its surface is approximately 10km². Closed lagoon is not deep and connects to the Atlantic Ocean with the sandbar approximately 50m. It is open at the rainy season, when the lagoon burst its banks and flooded the town. Moreover, this opening causes the mixture of two environments. The hydrology's factors which are studied are the salinity, the temperature, the pH, the Oxygen dissolves and the MES. This analysis establishes a correlation between (these) the some parameters. The temperature, it depends appreciably on salinity and conductivity. The evolution of the pH is contrary with that of salinity. Oxygen dissolves moves independently of the other parameters but influenced by those.

Key words : hydrology, Digboue lagoon, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

La lagune Digboué d'une surface de 10 Km², est située au Sud Ouest du littoral ivoirien, dans la région de San-Pedro (figure 1). Elle appartient à l'ensemble typiquement lagunaire développé le long de la côte du golfe de Guinée, sous un régime équatorial de transition. Ce plan d'eau est situé entre le domaine continental et le domaine marin duquel il est séparé par un banc de sable d'environ 50m. Il est peu profond et est délimité par de la végétation. La lagune Digboué, comme toutes les lagunes est sujette à une grande variabilité des conditions hydrodynamiques qui y président et à une extrême vulnérabilité des écosystèmes très divers qu'elle abrite. L'impact d'un aménagement sur ces écosystèmes naturels comme c'est le cas en lagune Digboué qui s'ouvre périodiquement sur la mer ne peut en effet être apprécié si «le cours naturel» suivant lequel il évolue est ignoré. En outre, il faut noter que ce plan d'eau présenterait des problèmes de pollution résultants des activités de production et de consommation anthropiques. Ces eaux de surface sont utilisées par les populations environnantes pour des besoins domestiques et pour la pêche. Il est donc intéressant d'avoir une idée de leur qualité.

Les travaux ont été réalisés durant la grande saison de pluie (mois de juin) où la lagune Digboué connaît une crue débordante qui tend à inonder ces alentours. A cet effet, une passe a été ouverte sur la mer la veille du début de nos travaux pour permettre au trop plein d'eau de se déverser dans la mer.

Le présent travail caractérise l'hydrologie de ce milieu paralytique qui n'a fait l'objet d'aucune étude et évalue le degré de corrélation de ses composantes hydrologiques (salinité, oxygène dissous, température, pH) par une analyse en composante principale.

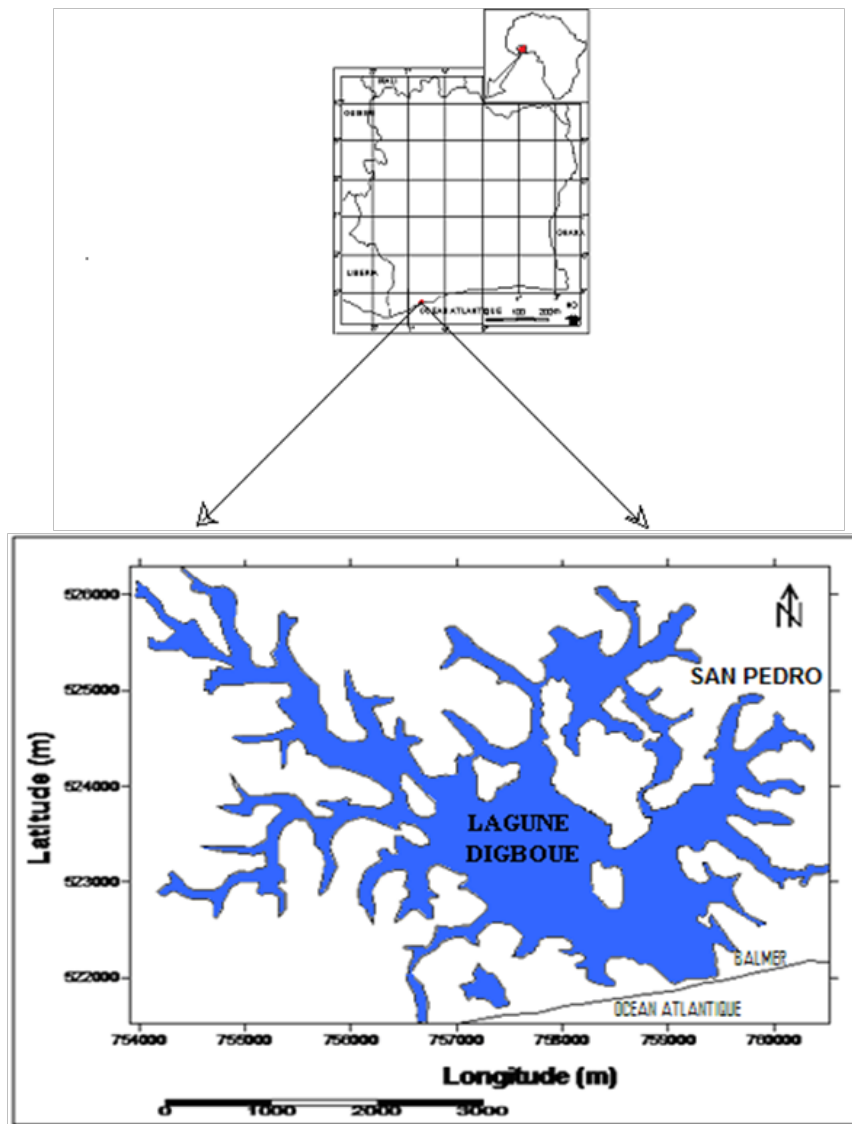


Figure 1 : Situation géographique de la lagune Digbooué

1- MATERIELS ET METHODES

1-1 ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES HYDROLOGIQUES

Les mesures de température, de salinité / conductivité, d'oxygène dissous et du pH ont été faites « *in situ* » à l'aide d'un capteur multiparamètre (WTW 82362, série N°01400024) dans chacune des 46 stations (figure 1). Des prélèvements d'eau superficielle ont été réalisés dans chaque station.

L'étude de la matière en suspension (MES) s'est faite à partir de 46 échantillons d'eau de 500 ml chacun (figure 3). Les eaux ont été filtrées sur une rampe de filtration millipore (composé de six compartiments) à l'aide de papier-filtre WHATMAN GF/F circulaires de 47 mm de diamètre et de porosité $0,45\mu\text{m}$ préalablement pesés. Après séchage à l'étuve à 105°C pendant 2 heures, les filtres sont repesés afin de déterminer les concentrations totales de matières en suspension exprimées en mg.L^{-1} (AFNOR, 1996). En outre, chaque filtrat a été observé à la loupe binoculaire pour en déterminer la nature lithologique.

1-2 ANALYSE EN COMPOSANTE HYDROLOGIQUE PRINCIPALE (ACP)

Le nombre des variables étudiées et l'effectif des échantillons imposent un recours aux analyses multidimensionnelles. L'analyse en composantes principales permet de mettre en évidence les similitudes chimiques et la position graphique que représenteraient deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution. Ainsi deux variables voisines sur le cercle de communauté ont une affinité. Elle permet, en outre, de montrer la différence de comportement de groupes de stations vis-à-vis d'un ou plusieurs individus ou échantillons testés, définissant ainsi une zonation de la lagune en indiquant les individus responsables de ce découpage (Soro, 2003).

Une ACP est effectuée avec le logiciel STATISTICA sur l'ensemble des individus ou unités statistiques qui sont au nombre de 46 dans notre cas. Il s'agit des lieux d'échantillonnage. Les descripteurs ou variables retenus sont six paramètres hydrologiques (salinité, température, pH, conductivité, O_2 dissous) et dont un représentant les éléments en suspension. Ce logiciel génère plusieurs tableaux dont :

- * Les paramètres statistiques ;
- * La matrice de corrélation entre les variables ;
- * La matrice de covariance entre les variables ;
- * les valeurs propres, pourcentages et cumul ;
- * les vecteurs propres et coordonnées des descripteurs ou variables ;
- * les coordonnées des échantillons ou unités statistiques.

1-3 CARTOGRAPHIE DES COMPOSANTES HYDROLOGIQUES

Le programme informatique Map-info a permis la digitalisation et le géo-référentiellement de la photo satellitaire de la lagune Digboué, Envi 4.3 a contribué à l'évaluation des valeurs de la surface et du périmètre de la lagune. Arc-view a permis la réalisation des cartes de répartition spatiales des différents paramètres hydrologiques de la lagune Digboué.

2- RESULTATS

2-1 HYDROLOGIE DE LA LAGUNE DIGBOUÉ

Le tableau I présente les mesures des paramètres hydrologiques des eaux superficielles de la lagune Digboué durant la grande saison pluvieuse de juin.

2-1-1 TEMPERATURE DES EAUX LAGUNAIRES SUPERFICIELLES

La température de la lagune Digboué varie de 27,5°C (température minimale) à 33,4°C (température maximale) avec une température moyenne de 30,05°C et un écart thermique de l'ordre de 1,5°C. La répartition spatiale des températures superficielles n'est pas homogène (figure 2). Elle est irrégulière d'un endroit à l'autre de la lagune. Toutefois, on note que :

- les températures les plus élevées (33,4°C) se situent préférentiellement à proximité de la passe (zone de contact lagune-océan);
- Les valeurs moyennes (30,05°C) se rencontrent dans la zone centrale de la lagune. Quand on s'éloigne du grau, les températures ont une tendance à la baisse. Les températures minimales (27,5°C) s'observent dans les extrémités Nord et Est de la lagune Digboué.

L'hétérogénéité de la température des eaux superficielles de la lagune s'expliquerait par la présence de la passe. En effet, les actions mécaniques des vagues et des courants induisent de fortes variations de températures (Millet, 1986). Par contre, les effets combinés de l'ensoleillement et de l'inertie thermique des couches profondes de ce milieu oligomictique (faible profondeur), déterminent la température moyenne de la lagune Digboué.

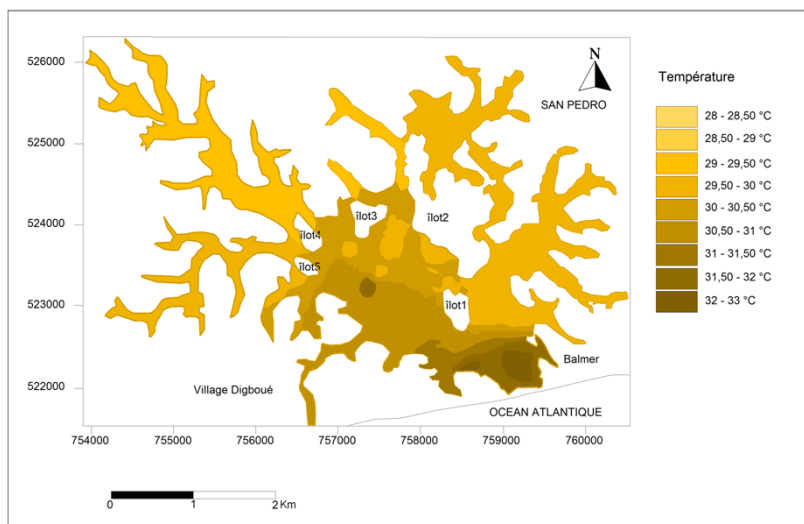


Figure 2: Répartition de la température des eaux superficielle de la lagune Digboué

Tableau I : paramètres hydrologiques de la lagune Digboué durant la grande saison pluvieuse

Ech	L o n g (W)	Lat (N)	Temp C°	pH	Conduct (μ s/Cm)	Sal. (‰)	O ₂ (mg/l)	M E S (cg/l)
SP 1	759106	523113	28,3	8,56	4,3	2,1	13,8	4,56
SP 2	758756	523230	28,1	8,5	4,08	2,1	62,4	1,4
SP 3	758557	523343	28	8,51	2,74	1,3	56,2	1,42
SP 4	758660	523393	27,5	8,53	2,36	1,1	13,9	2
SP 5	758925	523377	27,8	8,59	2,29	1	45,9	6,9
SP 6	759041	523350	28,9	8,56	3,62	1,8	12,7	4,82
SP7	759084	523425	29,3	8,59	3,54	1,8	30,4	2,08
SP8	758890	523553	27,9	5,8	1,88	0,3	12,8	2,52
SP 9	758829	523656	29,4	4,47	3,08	1,5	43	3,16
SP 10	758922	523737	28,2	4,27	1,79	0,7	47,1	2,36
SP 11	758880	523795	29	4,11	2,06	0,9	47,6	8,52
SP 12	758796	523852	28,3	4,1	1,66	0,7	49,6	3,8
SP 13	758701	523834	28,2	3,97	1,67	0,7	45,2	2,56
SP 14	758692	523928	28,9	3,98	1,75	0,7	2,5	1,06
SP 15	758692	523928	29	4	1,5	0,6	35,8	2,46
SP 16	758860	524064	29,1	4,36	1,66	0,6	32,1	0,24
SP 17	758716	523467	29,8	1,1	2,45	4,94	4	6,04
SP 18	758619	523281	29,8	5,14	4	0	3,2	3,28
SP 19	758547	523173	30,2	4,66	4,25	2,2	6,7	3,8
SP 20	758485	523202	31,1	4,7	4,04	2,1	2,2	3,48
SP 21	758403	523402	30,2	4,04	4,79	2,1	2,1	3,08
SP 22	758449	523574	30,2	4,52	3,86	2	3,2	3,8
SP 23	758312	523696	30,3	4,95	3,65	1,8	0,1	2,32
SP 24	758149	523677	29,9	5,3	3,54	1,8	0	2,56
SP 25	757934	523913	30,5	5,16	3,75	1,9	0	3,48
SP 26	757703	524002	29,8	4,77	2,59	1,2	0,7	4,16
SP 27	757593	524104	30,3	5,3	2,9	1,4	0,72	3,16
SP 28	757668	524186	31,3	5,53	2,9	1,4	0,72	4,64
SP 29	757734	524245	30,2	5,41	2,44	1,1	8,4	3,92
SP 30	757727	524516	30,2	5,75	1,63	0,6	0,7	4,48
SP 31	757718	524140	30,5	5,5	3,17	1,6	0,8	4,84
SP 32	757591	523711	30,3	5,6	3,34	1,7	2,5	3,28
SP 33	757453	523430	30,3	5,44	3,68	1,9	3,7	2,32
SP 34	757336	523259	31,6	5,6	4,54	2,4	3	4,28
SP 35	757010	523509	31,3	5,33	3,97	2	0,7	2,48
SP 36	757084	523678	30,4	5,5	3,11	1,5	0,6	1,6

SP 37	757472	523257	30,6	5,44	3,62	1,8	0,5	5,92
SP 38	757613	523076	30,9	5,32	4,09	2,1	0,5	3,28
SP 9	757807	523015	30,9	5,45	3,82	1,9	0,4	4,4
SP 40	758284	522899	30,9	5,17	3,37	1,8	0,5	2,96
SP 41	758391	522783	31,2	5,19	3,94	2	0,6	4,24
SP 42	758426	522592	31,4	5,05	4,34	2,2	0,4	2,44
SP 43	758620	522249	33,4	5,22	10,93	6,3	0,5	3,84
SP 44	758799	522343	32,4	5,12	6,43	3,5	0,6	3,72
SP 45	759066	522356	32,9	5,25	8,07	4,5	0,4	3,16
SP 46	759285	522292	33	4,37	8,12	4,5	0,5	3,72

2-1-2-PH DES EAUX DE LA LAGUNE DIGBOUE

Le pH de la lagune varie de 1,1 (pH minimal) à 8,59 (pH maximal) avec un écart type de 1,67. Les eaux superficielles de la lagune ont un potentiel hydrogène (pH) moyen de 5,4, ce qui leur confère une acidité. Toutefois, dans des secteurs circonscrits par des végétaux, les eaux lagunaires sont basiques (figure 3). La répartition spatiale du pH est hétérogène sur tout le plan d'eau lagunaire. Il se dégage trois (3) zonations :

- les eaux sont très acides avec un pH pouvant atteindre 1,1 au Nord-Est (îlot 2) et dans les chenaux extrêmes. Ce secteur lagunaire présente une forte concentration végétale et rurale. Il s'en suit une dystrophie provoquée par un enrichissement organique ponctuel (rejets, enclos, cité lacustre,...). Cette forte acidification s'expliquerait par l'enrichissement organique et un mauvais brassage des eaux (Millet, 1986).

- les eaux sont de faible acidité dans l'axe principal de la lagune. L'origine se trouverait dans les influences marines (présence de la passe) et dans une bonne circulation des eaux.

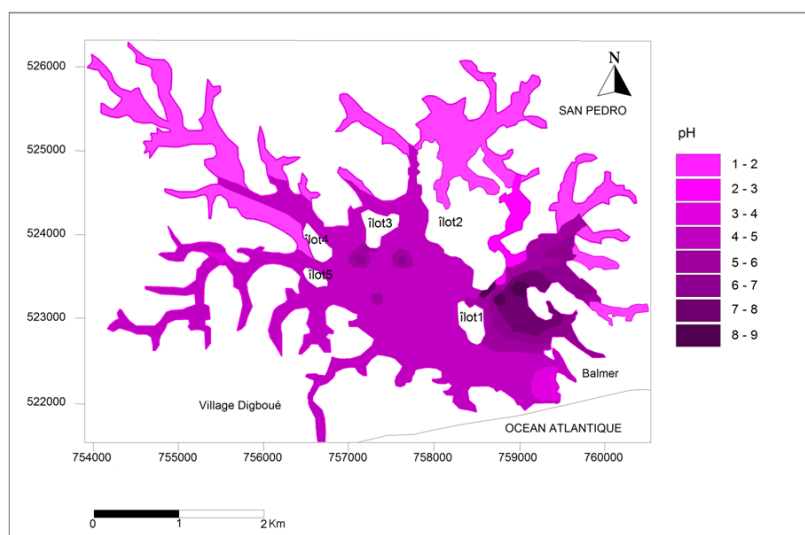


Figure 3: Répartition du pH des eaux de surface de la lagune Digboué

- la troisième zone se localise au Sud-Est de la lagune Digboué. Les eaux lagunaires y sont basiques (8,59). Cette basicité serait liée à la contamination du milieu par les bactéries ou pigments chlorophylliens très sensibles à la lumière et au potentiel d'hydrogène (Houma, 2004). Ce phénomène s'expliquerait aussi par l'influence des eaux marines qui sont plus alcalines que les eaux continentales. Les eaux marines ont pu être piégées après l'ouverture de la passe.

2-1-3 CONDUCTIVITE DES EAUX SUPERFICIELLES DE LA LAGUNE DIGBOUE

Les eaux de la lagune Digboué présentent une conductivité moyenne de 3,59 $\mu\text{s}/\text{Cm}$. Les conductivités maximale et minimale sont respectivement de 10,93 et de 1,5 $\mu\text{s}/\text{Cm}$. L'écart-type est de 2,07.

La répartition spatiale de la conductivité des eaux de la lagune Digboué (figure 4) révèle une inégale distribution des mesures sur toute la surface lagunaire. Les basses valeurs s'observent dans la partie centrale et dans les bras distaux de la lagune. Par contre, la conductivité la plus élevée a été mesurée aux environs de la passe. Cela indique une minéralisation des eaux (Soro, 2003). En effet, à proximité de la passe, le secteur est sous influence marine (l'eau de mer à une forte conductivité). Les échanges ou le contact entre les eaux lagunaires et celles de la mer, accroissent la conductivité. Les eaux deviennent fortement minéralisées. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du grau la conductivité baisse.

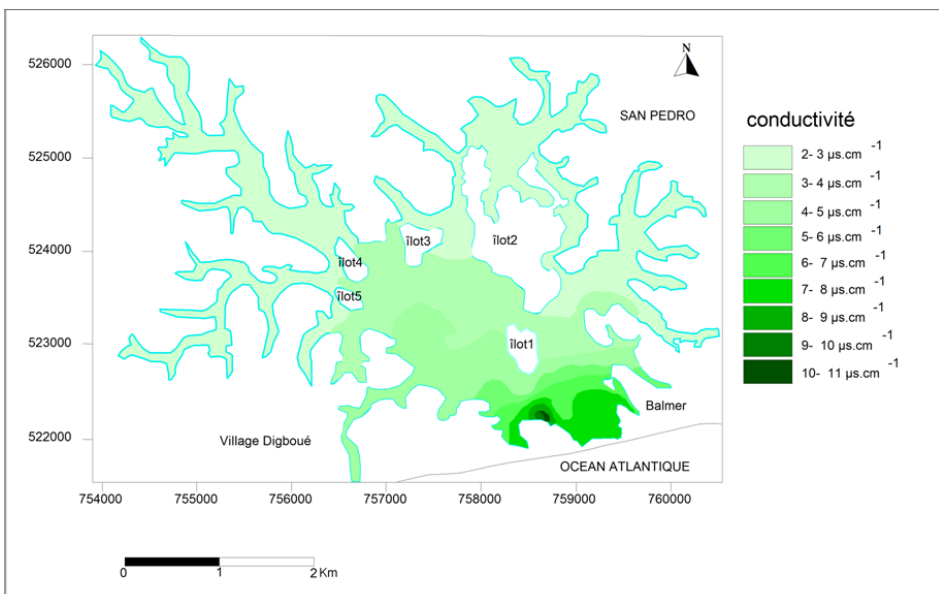


Figure 4 : Carte de répartition de la conductivité des eaux en lagune Digboué

2-1-4 SALINITE DES EAUX SUPERFICIELLES DE LA LAGUNE DIGBOUE

La salinité est faible dans la lagune Digboué. Néanmoins, elle varie dans l'espace. La salinité varie de 0‰ à 6,3‰ (salinité maximale). La salinité moyenne est de 1,88‰ avec un écart type de 1,37. La carte de répartition de la salinité (figure 5) montre que les fortes salinités s'observent dans les eaux proches de la passe. Par contre, les eaux présentent une faible salinité dans les 2/3 de la lagune, après l'îlot 1.

La teneur en sel de la lagune décroît du Sud vers le Nord. Cette évolution s'expliquerait par l'éloignement du contact de la lagune avec la mer. Outre les apports de la marée, l'apport naturel direct des précipitations et l'ensoleillement estival conduisant à l'évaporation des eaux, augmentent la salinité des eaux lagunaires (Chaouti *et al.*, 2005). Ces variations de salinité montrent que les eaux lagunaires sont renouvelées. En effet, dans les plans d'eau de petite taille (comme la lagune Digboué), la salinité apparaîtrait comme un bon indicateur du degré d'échange avec la mer et de la dynamique de circulation des eaux (Phleger *et al.*, 1962). Ainsi, la salinité des eaux évolue proportionnellement à la prédominance des eaux marines dans le domaine lagunaire. Cette évolution est déterminante pour la qualité des eaux.

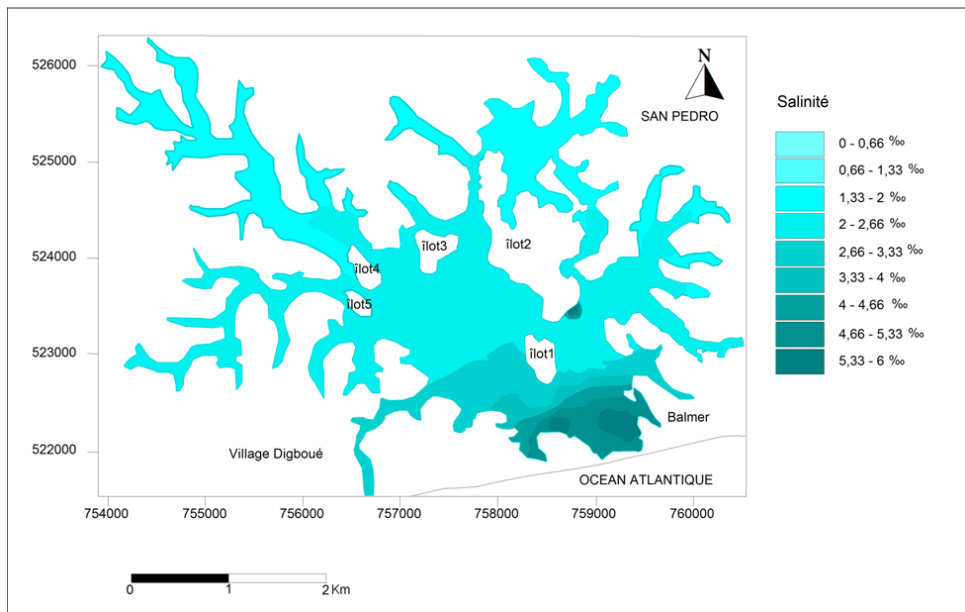


Figure 5: Carte de répartition de la salinité des eaux de la lagune Digboué

2-1-5 OXYGENE DISSOUS DES EAUX LAGUNAIRES DE SURFACE

Les teneurs minimales et maximales en oxygène dissous sont respectivement de 0 et de 62,4 mg/l. La valeur moyenne est de 13,79 mg/l. L'écart-type est de 19,84. La répartition des teneurs en oxygène dans les eaux lagunaires n'est pas homogène. Il s'en dégage deux zones (figure 6) :

- les faibles teneurs en oxygène dissous se localisent dans la moitié Ouest et dans les bras de la lagune. Ces teneurs s'expliqueraient par une baisse de l'activité photosynthétique du fait de la faible concentration végétale ;

- à l'Est de la lagune Digboué, l'oxygène dissous présente des valeurs élevées. Elles se localisent à proximité des zones à forte couverture végétale. Ces milieux sont peu profonds avec une activité *in situ* photosynthétique des végétaux aquatiques. La forte concentration en oxygène dissous, montre que cette zone présente peu de pollution organique. C'est donc un milieu à bonne aération favorisant un bon développement biologique. En outre, cela s'oppose à tout processus d'eutrophisation (Millet, 1986).

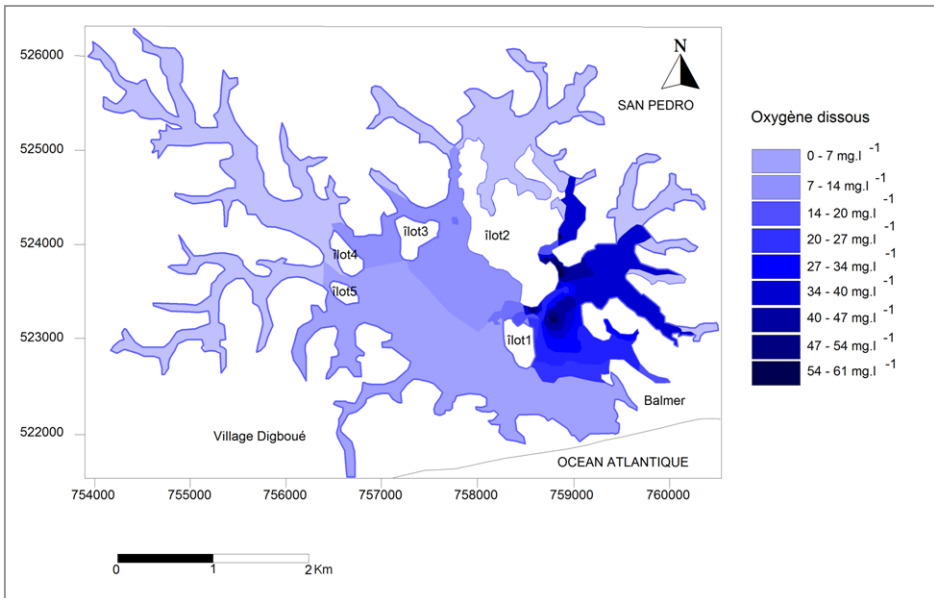


Figure 6: Carte de répartition de l'oxygène dissous des eaux de surface en lagune Digboué

2-1-6 MATIERES EN SUSPENSION

Sur la lagune Digboué, les charges des eaux en matières solides en suspension, varient de 8,52 cg/l (valeur maximale) à 0,24 cg/l (valeur minimale) avec une moyenne de 3,4 cg/l. L'écart-type des MES est 0,017.

La carte de distribution des matières en suspension (figure 7) indique que les eaux à forte charge sédimentaire occupent une partie de la surface lagunaire. Ils se localisent dans le secteur du grau, dans des zones circonscrites autour de l'îlot 1 et au Sud des quatre autres îlots. Cette forte charge sédimentaire est due, d'une part à la taille des particules et d'autre part, à la vitesse du courant. Les forts courants peuvent mettre en suspension des particules lourdes (Millet, 1986). Ces éléments viendraient de ce fait accroître la charge sédimentaire.

Les faibles teneurs en matière en suspension mesurées dans les bras lagunaires seraient occasionnées par l'absence ou la rareté de cours d'eau susceptible d'accroître la charge sédimentaire des eaux ou la teneur de matière en suspension (Aka, 1991).

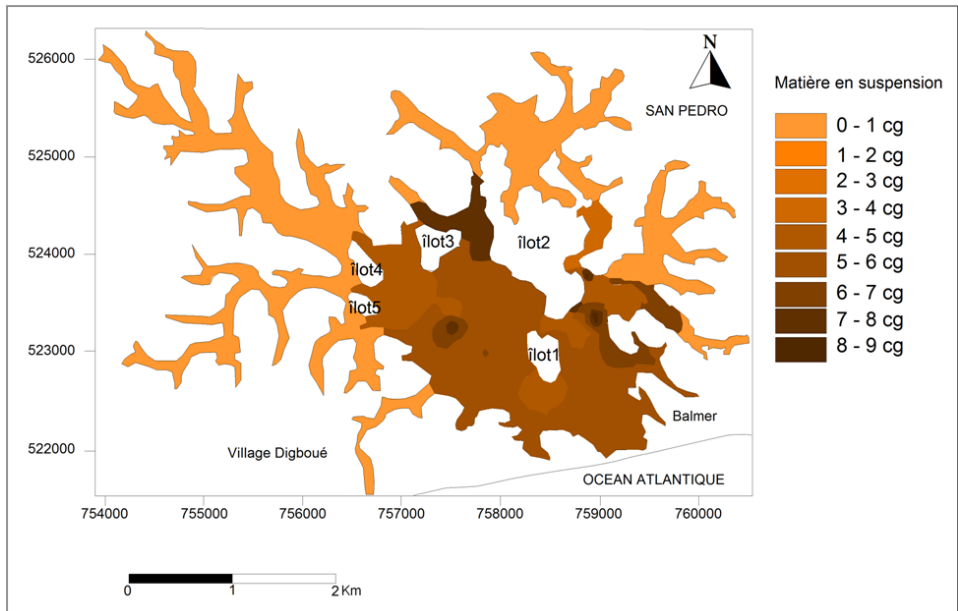


Figure 7: Carte de répartition de la matière en suspension en lagune Digboué

2-2 ANALYSE EN COMPOSANTES HYDROLOGIQUES PRINCIPALES

Les données statistiques des variables physico-chimiques de la lagune Digboué sont présentées dans le tableau II. A l'analyse, il ressort que :

- la température varie de 27,50 à 33,40°C avec une moyenne de 30,05°C ;
- les eaux de la lagune sont très acides par endroits avec un pH de 1,10;

- la conductivité de la lagune oscille entre des extrêmes de 1,64 à 10,93 μS ;
- la salinité des eaux lagunaires varie de 0,3 à 6,3 ‰ avec des teneurs par endroit;
- l'oxygène dissous présente des valeurs maximales de 62 mg/l ;
- la charge sédimentaire (MES) des eaux lagunaires varie entre une masse inférieure de 0,24 cg/l et supérieure de 8 cg/l.

L'ACP des variables mesurées (température, pH, conductivité, salinité, oxygène dissous et MES) en lagune Digboué s'avère indispensable pour apprécier leur degré de corrélation et cerner leurs interactions au cours de leur évolution. Une telle approche nécessite, outre l'établissement d'une matrice de corrélation, l'estimation des valeurs propres pour la détermination des plans factoriels.

TableauII: Paramètres statistiques de la lagune Digboué

Variabiles	Moyenne	Ecart Type
Température (°C)	30,05	1,5
pH	5,40	1,67
Conductivité (μS)	3,70	2,07
Salinité (‰)	1,88	1,37
O ₂ dissous (mg/l)	13,79	19,84
MES (cg/l)	3,4	1,7

2-2-1 MATRICE DE CORRELATION

Le tableau III représente la matrice de corrélation montrant les relations entre les variables hydrologiques prises deux à deux. L'analyse de ce tableau montre que :

- il existe une bonne corrélation ($r=0,85$) entre la conductivité et la salinité ;
- la corrélation entre la température et la salinité est moyenne car le coefficient est de 0,69 ;
- entre la température et la conductivité, la corrélation est aussi bonne ($r=0,76$) ;
- l'oxygène dissous et la température présentent un degré de corrélation négatif de -0,69.

Ces différentes corrélations révèlent les interactions entre la salinité, la conductivité et la température. Cette interdépendance s'expliquerait soit par une origine commune (ou même plan factoriel) soit par un processus identique régulant leur évolution dans l'environnement.

La valeur négative du coefficient de corrélation entre O_2 et T ($r=-0,69$), traduit des interactions inverses. Ces paramètres hydrologiques n'ont ni le même plan factoriel ni le même mécanisme déterminant leur évolution dans le milieu.

Tableau III: Matrice de corrélation

MATRICE	Température	pH	Conductivité	Salinité	O_2 dissous	MES
Température	1,00					
pH	-0,33	1,00				
Conductivité	0,76	0,03	1,00			
Salinité	0,69	-0,16	0,85	1,00		
O_2 dissous	-0,69	0,25	-0,39	-0,36	1,00	
MES	0,12	-0,09	0,05	0,17	-0,07	1,00

2-2-2 VALEURS PROPRES

Les valeurs propres, présentées dans le tableau IV, permettent une estimation quantitative des facteurs efficients rendant compte au mieux du maximum de l'information statistique. Ce tableau montre le pourcentage de variance exprimé par chaque facteur.

Tableau IV: Valeurs propres et proportions des variances exprimées par les facteurs

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeurs propres	2,98	1,12	0,97	0,66	0,19	0,08
% Variance exprimée	49,70	18,60	16,18	11,04	3,15	1,32
% Variance cumulée	49,70	68,31	84,49	95,53	98,68	100,00

A l'analyse de ce tableau, on remarque que les trois premiers axes factoriels expriment respectivement 49,70%, 18,60% et 16,18% de la variance exprimée. Ces facteurs expriment 84,49% de la variance cumulée. Au vu de ces pourcentages, ces facteurs (Fact.1, Fact.2 et Fact.3) fournissent à eux seuls 84,49% de l'information statistique. C'est donc à juste titre que notre ACP ne prendra en compte que trois facteurs pour l'analyse des plans factoriels. Cette approche permettra d'apprécier la répartition spatiale des différents paramètres hydrologiques en fonction des axes factoriels Fact.1, Fact. 2 et Fact. 3 (espace des variables). En outre, l'évolution spatiale des unités statistiques (u.s) en fonction des axes factoriels sera abordée (espace des unités statistiques).

2-2-3 PLAN FACTORIEL FACT 1-FACT 2

Espace des variables

► Le facteur fact 1 est bipolaire et extrait plus de 49,70% de l'inertie totale. Ainsi, sur cet axe se projette un maximum de variables. Il

est déterminé par la conductivité, la salinité et la température. Son pôle positif est défini par les teneurs en conductivité, en salinité et en température. Par contre, l'oxygène dissous se définit sur la partie négative de cet axe. Ils sont soumis à un même phénomène et ont une origine commune (figure 8).

La corrélation entre la salinité et la conductivité est bonne ($r=0,84$), ces deux paramètres sont d'origine marine. En effet, après l'ouverture du grau, le contact des deux milieux (lagune et mer) a occasionné la propagation des eaux marines dans la lagune. Les eaux continentales ont une salinité et une conductivité plus faible que celles de la mer. Les fortes salinités et conductivités (des eaux lagunaires) sont dues à une prédominance des eaux marines à ces différents endroits du plan d'eau lagunaire.

La corrélation entre l'oxygène dissous et la température, est négative ($r= -0,69$). Ces deux paramètres évoluent donc de façon contraire. En effet, la concentration de l'oxygène diminue lorsque la température augmente. La saturation en oxygène dépend de la salinité, de la pression partielle d'oxygène dans l'atmosphère et de la température (lois de Henry). Il y a une inversion de teneur entre les variations de sel et d'oxygène: au maximum de sel mesuré, correspond le minimum d'oxygène.

La salinité et la conductivité rendent compte de la minéralisation de l'eau. Par contre, l'oxygène dissous, qui évolue inversement avec la température, traduirait l'aération du milieu. Ainsi, le facteur 1 (Fact.1) explique de ce fait le phénomène de minéralisation des eaux lagunaires dû à une intrusion des eaux marines en lagune Digboué.

► Le facteur Fact 2 qui extrait environ 18,60% de la variance totale est unipolaire. Il est défini du côté positif par le pH dont les variations sont d'origines diverses. Citons entre autre l'enrichissement organique et le mauvais brassage des eaux. Rappelons que, l'effet de l'alternance des processus de photosynthèse et de respiration des plantes est lié à la contamination des milieux par les bactéries ou les pigments chlorophylliens très sensibles à la lumière et au potentiel d'hydrogène (Millet, 1986 ; Houma, 2004).

En outre, cette variation du pH s'expliquerait par l'influence des eaux marines plus alcalines que les eaux continentales. La présence du grau, faciliterait cette intrusion saline. Ainsi le facteur 2 (Fact. 2) traduirait l'influence d'un milieu extérieur (domaine marin) sur le chimisme des eaux de la lagune Digboué.

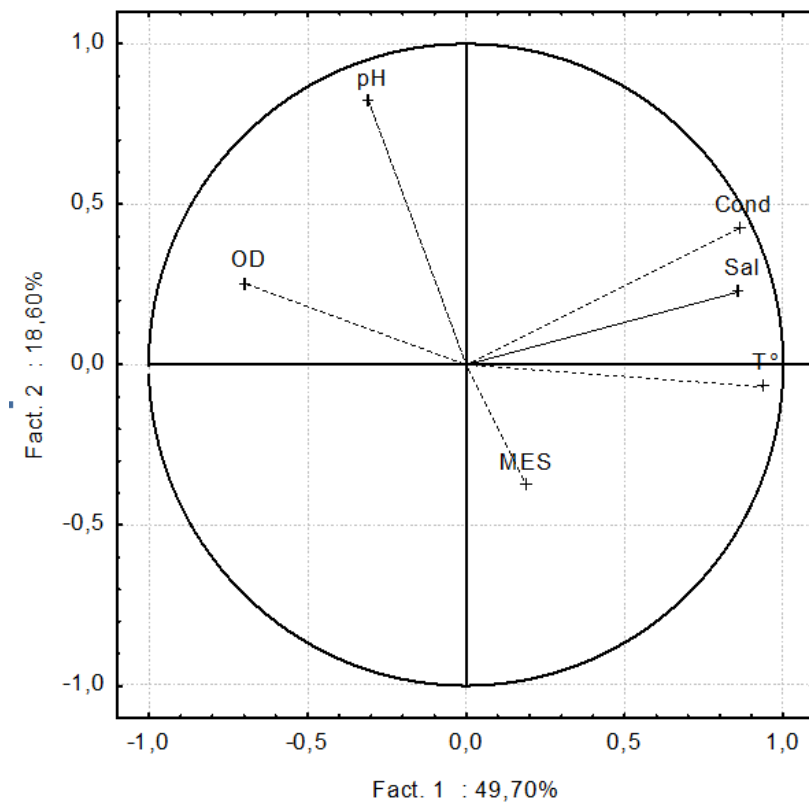


Figure 8: Espace des variables du plan factoriel Fact.1 X Fact.2

Espace des unités statistiques

Dans ce plan, trois familles d'unités statistiques se distinguent (figure 9 et tableau V):

► La première famille (Fact. 1) d'unités statistiques, regroupe les stations de prélèvement 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7. Elle se localise dans la partie Est de la lagune Digboué qui est caractérisée par une forte teneur en oxygène dissous (62,4mg/l). La salinité, la conductivité et la température sont faibles. Mais, ces dernières évoluent inversement aux variations de l'oxygène dissous. Ces paramètres sont influencés par le facteur 1 (Fact.1) et le facteur 2 (Fact. 2). ils traduisent respectivement, la minéralisation et l'influence du milieu extérieur sur le chimisme de l'eau (avec un pH basique).

► La deuxième famille (F2), regroupe les unités statistiques des stations 43, 44, 45 et 46. Ces prélèvements ont été effectués au Sud de la lagune à proximité de la passe. Ce secteur est sous l'influence du facteur 1 (Fact. 1) traduisant la minéralisation. En outre la température, la salinité et la conductivité sont élevées contrairement à l'oxygène dissous qui est faible.

La troisième famille (F3) englobe le reste des unités statistiques (35 prélèvements). Ces unités sont caractérisées par un pH acide. Elles sont influencées par les deux facteurs : la minéralisation et le phénomène d'oxydo-réduction.

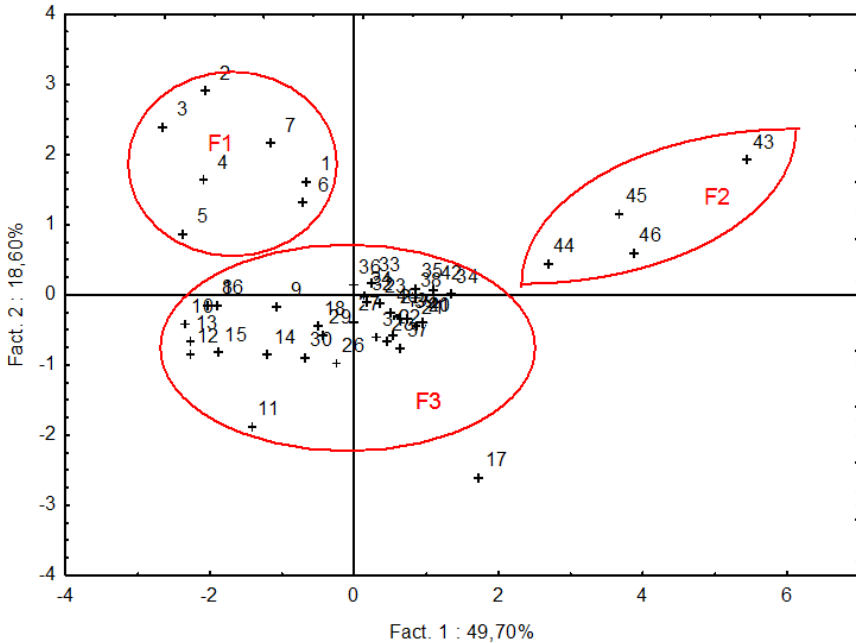


Figure 9 : Espace des unités statistiques dans le plan Fact. 1-Fact. 2

Tableau V : Tableau récapitulatif des différentes familles dans le plan fact 1-fact 2

N ° Ech	Longitude (W)	Latitude (N)	Famille	N° Ech	Longitude (W)	Latitude (N)	Famille
SP 1	759106	523113	F1	SP 24	758149	523677	F3
SP 2	758756	523230	F1	SP 25	757934	523913	F3
SP 3	758557	523343	F1	SP 26	757703	524002	F3
SP 4	758660	523393	F1	SP 27	757593	524104	F3
SP 5	758925	523377	F1	SP 28	757668	524186	F3
SP 6	759041	523350	F1	SP 29	757734	524245	F3
SP7	759084	523425	F1	SP 30	757727	524516	F3
SP8	758890	523553	F3	SP 31	757718	524140	F3
SP 9	758829	523656	F3	SP 32	757591	523711	F3
SP 10	758922	523737	F3	SP 33	757453	523430	F3
SP 11	758880	523795	F3	SP 34	757336	523259	F3
SP 12	758796	523852	F3	SP 35	757010	523509	F3
SP 13	758701	523834	F3	SP 36	757084	523678	F3

SP 14	758692	523928	F3	SP 37	757472	523257	F3
SP 15	758692	523928	F3	SP 38	757613	523076	F3
SP 16	758860	524064	F3	SP 9	757807	523015	F3
SP 17	758716	523467	F3	SP 40	758284	522899	F3
SP 18	758619	523281	F3	SP 41	758391	522783	F3
SP 19	758547	523173	F3	SP 42	758426	522592	F3
SP 20	758485	523202	F3	SP 43	758620	522249	F2
SP 21	758403	523402	F3	SP 44	758799	522343	F2
SP 22	758449	523574	F3	SP 45	759066	522356	F2
SP 23	758312	523696	F3	SP 46	759285	522292	F2

2-2-4 PLAN FACTORIEL FACT 1-FACT 3

Espace des variables

L'axe factoriel Fact.3 est unipolaire. Il n'est défini que négativement par la charge sédimentaire (MES). La concentration des MES varie avec les apports continentaux et en fonction de l'intensité des courants marins. Le Fact.3 est caractérisé par l'hydrodynamisme des eaux continentales et marines (figure 10).

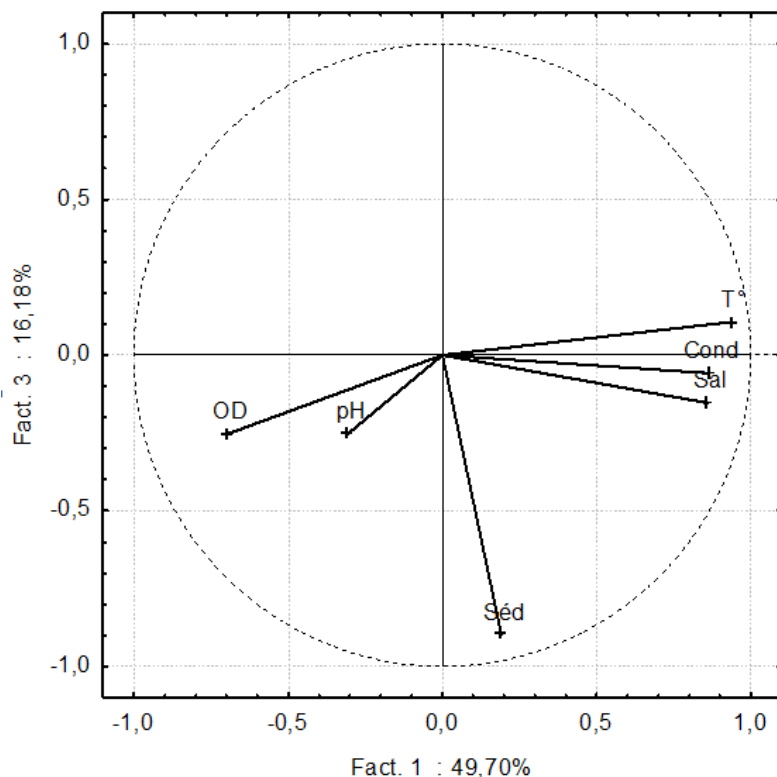


Figure 10: Espace des variables du plan factoriel Fact.1 X Fact.3

Espace des unités statistiques

Le plan factoriel Fact 1-Fact 3 de la figure 11 présente trois (3) familles (tableau VI):

- La première famille (F1) est représentée par les unités statistiques des points de prélèvement 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7. Elle est située dans la partie Est de la lagune Digboué et est caractérisée par les valeurs de MES élevées. Cette famille est sous l'influence du Fact.3 traduit par l'hydrodynamisme des eaux continentales et marines.

- La deuxième famille (F2), regroupe les unités statistiques des stations 43, 44, 45 et 46. A proximité de la passe, les teneurs en MES sont moyennes. En outre, les valeurs de la salinité et de la conductivité sont élevées avec un faible taux d'oxygène dissous. Cette famille F2 est influencée par le facteur 1 (Fact.1) qui est le phénomène de minéralisation et le facteur 3 (Fact.3) traduisant l'hydrodynamisme des eaux continentales et marines.

- Les unités statistiques de la troisième famille (F3) sont au nombre de 35. F3 regroupe donc la plus grande population d'unités statistiques. Ce grand nombre d'unités statistiques rend difficile la détermination des facteurs influençant les paramètres hydrologiques.

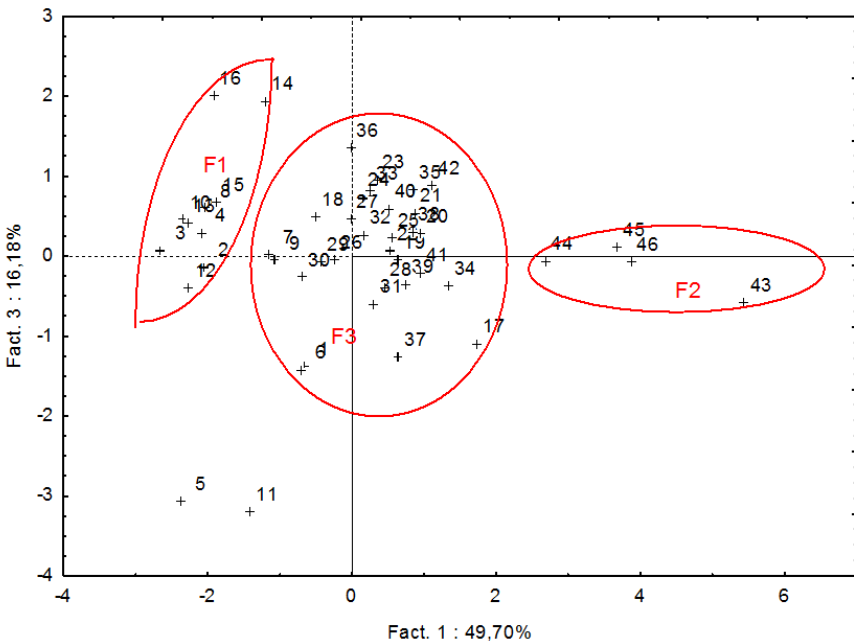


Figure 11 : Espace des unités statistiques dans le plan fact 1-fact 3

Tableau VI : Tableau récapitulatif des différentes familles dans le plan fact 1-fact 3

N° Ech	Longitude (W)	Latitude (N)	Famille	N° Ech	Longitude (W)	Latitude (N)	Famille
SP 1	759106	523113	F1	SP 24	758149	523677	F3
SP 2	758756	523230	F1	SP 25	757934	523913	F3
SP 3	758557	523343	F1	SP 26	757703	524002	F3
SP 4	758660	523393	F1	SP 27	757593	524104	F3
SP 5	758925	523377	F1	SP 28	757668	524186	F3
SP 6	759041	523350	F1	SP 29	757734	524245	F3
SP7	759084	523425	F3	SP 30	757727	524516	F3
SP8	758890	523553	F1	SP 31	757718	524140	F3
SP 9	758829	523656	F3	SP 32	757591	523711	F3
SP 10	758922	523737	F1	SP 33	757453	523430	F3
SP 11	758880	523795	F3	SP 34	757336	523259	F3
SP 12	758796	523852	F1	SP 35	757010	523509	F3
SP 13	758701	523834	F3	SP 36	757084	523678	F3
SP 14	758692	523928	F1	SP 37	757472	523257	F3
SP 15	758692	523928	F1	SP 38	757613	523076	F3
SP 16	758860	524064	F1	SP 9	757807	523015	F3
SP 17	758716	523467	F3	SP 40	758284	522899	F3
SP 18	758619	523281	F3	SP 41	758391	522783	F3
SP 19	758547	523173	F3	SP 42	758426	522592	F3
SP 20	758485	523202	F3	SP 43	758620	522249	F2
SP 21	758403	523402	F3	SP 44	758799	522343	F2
SP 22	758449	523574	F3	SP 45	759066	522356	F2
SP 23	758312	523696	F3	SP 46	759285	522292	F2

Ainsi, la lagune peut être structurée en trois parties : (i) une zone à l'Est où le pH est élevé ce qui confère aux eaux leur basicité ; (ii) une zone à proximité du grau où les valeurs de la salinité et de la conductivité sont élevées, par contre celles de l'oxygène dissous restent faibles et (iii) le dernier secteur, prenant en compte le reste des variables, ne peut être déterminé de façon précise.

3-DISCUSSIONS

Les différents paramètres étudiés (salinité, conductivité, température, pH, oxygène dissous et les MES) varient selon un rythme journalier, saisonnier et climatique. Il existe entre certains de ces paramètres une corrélation (figure 12).

► **Corrélation entre la salinité, conductivité et la température**

La salinité est certainement le paramètre dont la variabilité en lagune, reflète au mieux les influences externes. Cette variabilité sera fonction du milieu de la provenance de l'intrusion saline, de la périodicité et du volume des apports en eau continentale et marine, de la morpho-bathymétrie lagunaire (dépression, haut fond, chenaux, cloisonnement,...) et des conditions climatiques régissant les précipitations et l'évaporation locales (Millet, 1986). Rappelons que, c'est le régime d'évaporation intense qui peut conditionner à la fois la dynamique et la qualité des eaux lagunaires (et plus particulièrement sous climat aride ou semi-aride).

La salinité et la conductivité évoluent de manière synchrone et sont fortement corrélées. Les nombreuses études lagunaires effectuées dans différentes régions du globe soulignent les influences des conditions dynamiques locales et surtout des conditions climatiques régionales sur la gamme des valeurs et l'amplitude des variations de la salinité et de la conductivité des eaux (Millet, 1986).

Pendant la saison sèche, la température de la lagune est élevée. L'important ensoleillement et la faible profondeur de la lagune, favoriseraient dans une grande mesure un fort réchauffement des eaux lagunaires. Cela occasionne l'évaporation des eaux donc une augmentation de la salinité et une forte minéralisation. Cette dernière induit une hausse de la conductivité.

► **Corrélation inverse entre l'oxygène dissous et la température**

L'oxygène est un élément indispensable à la respiration de la faune et de la flore. Un milieu équilibré présente des valeurs de saturation en O₂ proche de 100%. La saturation prend en considération les fluctuations de température et de salinité. Ces dernières provoquent des variations dans la capacité de l'eau à capter de l'oxygène (Chaouti et al, 2005). Par exemple entre 2004 et 2006, les teneurs en oxygène dissous de la lagune Smir étaient de 100% (Chaouti et al, 2005) mais, en juillet 2006, la saturation en O₂ est fortement réduite et atteint 50,9%. Cette baisse en O₂ s'explique par une augmentation de la température des eaux atteignant son maximum (29,5°C) en juillet 2006 et une salinité élevée (25 g/l).

► **Evolution spatiale du pH**

Un pH élevé indique une alcalinité assez prononcée des eaux de la lagune. Cette alcalinité est due aux apports marins (Chaouti et al., 2005). C'est un facteur limitant dans les écosystèmes aquatiques. En effet, lorsque le pH est inférieur à 4,5 ou supérieur à 10, il devient toxique pour la faune (Bloundi, 2005). Outre les eaux marines qui

sont saturées (à l'exception des eaux profondes qui peuvent remonter en lagune temporairement sous l'effet des *upwellings*) les eaux de précipitation le sont également. Citons aussi, les eaux de ruissellement et d'écoulement des tributaires qui sont aussi saturées, si elles ne sont pas très enrichies en matières organiques. En général le pH pour une lagune « équilibrée » se situe autour de 8,2 (Millet, 1986)

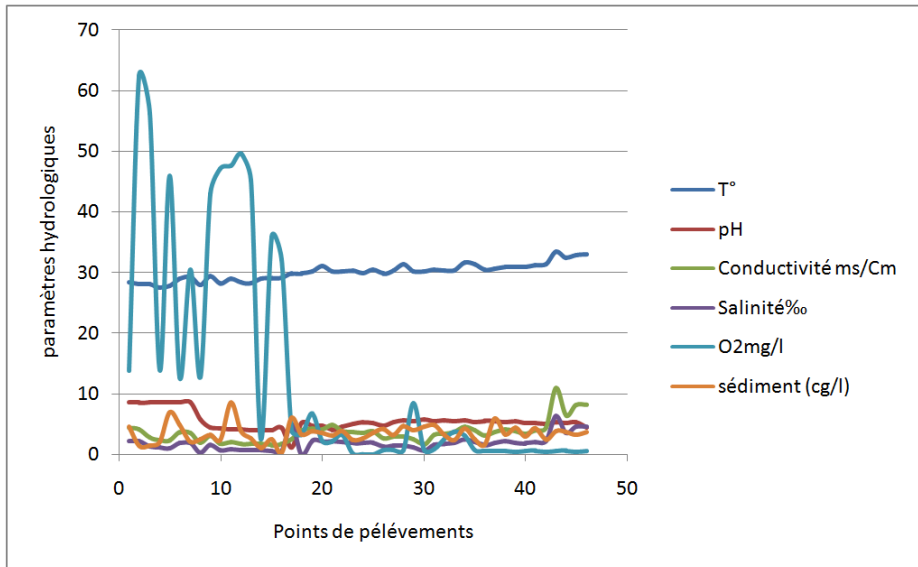


Figure 12 : Courbe de corrélation entre les paramètres hydrodynamiques

► Mise en solution et transport de la Matière en suspension

Le comportement des particules en suspension à leur entrée en lagune dépend du contact eau douce- eau salée caractéristique de ce type de milieu. Le type de transport est déterminé d'une part par la taille de particules (plus elles sont petites et plus elles sont à même d'être transportées par suspension) et d'autre part par la vitesse du courant. Plus le courant sera fort et plus il sera capable de mettre en suspension des particules lourdes (Millet, 1986).

En amont, les eaux continentales présentent un milieu plus acide, où les particules et les ions sont dans un état dispersé et dans lequel les processus d'absorption particulaire et d'interaction eau- sédiment sont dominants. En lagune, le milieu se stabilise sous l'effet de l'influence marine. En effet, les particules en suspension subissent généralement un phénomène de floculation dès leur entrée en lagune. La floculation apparaît à une salinité voisine de 1,5 ‰, indifféremment pour tous les types d'argiles couramment rencontrés en aval des cours d'eau (Lafond, 1967).

CONCLUSION

L'ouverture artificielle et temporaire du cordon lagunaire sur la mer, vient modifier périodiquement le régime hydrologique de la lagune Digboué, soumis à des influences diverses. L'interaction entre les paramètres hydrodynamiques de la lagune montre qu'il existe une corrélation entre les paramètres étudiés. La salinité et la conductivité évoluent de façon synchrone. La température dépend sensiblement de la salinité et de la conductivité. Les paramètres (oxygène et température) évoluent de façon contraire. Une augmentation du niveau de l'eau occasionne une baisse de la salinité, de la conductivité et de la température. Il semble qu'un seuil de floculation soit très vite atteint pour des taux de salinité assez bas. L'analyse en composante principale a permis de confirmer l'existence effective des corrélations entre la salinité, la conductivité et la température. Aussi, une corrélation inverse existe entre la température et l'oxygène dissous. Ces différents éléments (la salinité, la conductivité et la température) sont influencés par le phénomène de minéralisation. L'influence du milieu extérieur sur le chimisme de l'eau fait varier le pH. Les matières en suspension agissent sous l'effet de la dynamique de l'eau avec les apports continentaux, et en fonction de l'intensité des courants marins.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR** -Association Française de Normalisation (1996). Analyses organoleptiques, mesures physico-chimiques, paramètres globaux, composés organiques. Qualité de l'eau *6^{ème} édition, Tome 2, 629p.*
- AKA K.**, 1991. La sédimentation quaternaire sur la marge de Côte d'Ivoire : Essai de modélisation. *Thèse Doctorat Etat*, Université de Cocody, (Côte d'Ivoire), n°146, 233 p.
- BLOUNDI M.K.**, 2005. Etude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental): Impacts des facteurs anthropiques, *Thèse Doctorat*, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Université de Mohamed V- Agdal, Maroc. 237 p.
- CHAOUTIA., BAYED A. (2005).** Effets d'une perturbation anthropique sur les conditions hydrologiques de la lagune de Smir (Nord-Ouest, Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau 18 (Hors-série) : 181-197.*
- HOUMA F., BELKESSA R., KHOUIDERA., BACHARI N., DERRICHE Z.**, 2004. Etude corrélative des paramètres physico-chimiques et des données satellites IRS1C pour caractériser la pollution aquatique. Application à la baie d'Oran, Algérie. *Revue des sciences de l'eau*, 17/4, pp.429-446.
- LAFOND L.R.**, 1967. Etudes littorales et estuariennes en zone intertropicale humide. *Thèse Doctorat d'Etat*, Univ. d'Orsay. 836p

- MILLET B.**, 1986. Hydrologie et hydrochimie d'un milieu lagunaire tropical : le lac Togo. *Etudes et Thèses*. Edition ORSTOM, 224 p.
- PHLEGER F.B., EWING G.C.**, 1962. Sedimentology and oceanography of coastal lagoons in Baja, California, Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 73 : 143 - 182.
- SORO G.**, 2003. Evaluation des métaux lourds (Co, Cr, Mn, Ni et Zn) dans les sédiments de la lagune Ebrié, Abidjan (Côte d'Ivoire). *Mém. DEA*, Univ. Cocody, Côte d'Ivoire, 70p.