Télédétection, 2002, vol. 2, n° 4, p. 233-242
Des tirés à part sont disponibles auprès de l'éditeur
Droit de photocopie soumis à l'autorisation

© 2002 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions scientifiques GB*
Imprimé en France

Étude par télédétection aéroportée d'un environnement lagunaire en zone tropicale : cas de la lagune Ébrié en Côte d'Ivoire

KOUADIO AFFIAN*, ÉRIC VALÈRE DJAGOUA,
FERNAND KOFFI KOUAMÉ, PIERRE GIOAN et JEAN BÉMI

Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT),
Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
(UFR STRM), Université de Cocody-Abidjan, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.
Téléphone : 225 05 952 010 ; télécopieur : 225 22 443 500.
Courriel (*) : k_affian@yahoo.fr

(soumis le 8 mars 2001 ; révisé le 5 novembre 2001 ; accepté le 1er février 2002)

La télédétection aéroportée et l'analyse en composantes principales constituent les techniques d'analyse utilisée dans cette étude de l'environnement lagunaire d'Abidjan (lagune Ébrié). Cette lagune située en zone urbaine (plus de 5 millions d'habitants) est le siège d'une forte pression anthropique. Le traitement des données *in situ* (physico-chimie et micro-biologie) prélevées de façon synchrone avec des images aéroportées prises de la même zone ont permis de : subdiviser le périmètre d'étude en cinq zones ; établir une corrélation entre les sédiments en suspension, les paramètres physico-chimiques et les données numériques de l'image aéroportée ; vérifier que l'emploi des images vidéo numériques aéroportées apparaît comme un moyen de télédétection capable de mettre en évidence des eaux à faible teneur en sédiments en suspension par rapport à l'imagerie satellitaire classique.

Mots-clefs : télédétection ; analyse en composantes principales ; traitement numérique ; lagune ; Côte d'Ivoire.

Airbone remote sensing study detection of a lagoon environment in tropical zone : case of the lagoon Ébrié in Côte d'Ivoire

Aerial remote sensing study of a tropical lagoon environment : a case study of the Ébrié lagoon in Ivory Coast. The Ébrié lagoon which is the object of this study is located in the south of Côte d'Ivoire. It is linked to the Atlantic ocean by an artificial channel. It is also characterized by an important anthropic pressure due to its location in a highly populated urban area with more than five millions inhabitants. Aerial remote sensing was used to analyze and to solve both the sampling difficulty associated with the morphological complexity of the lagoon system and mainly the temporal variation of the levels of the physico-chemical and microbiological parameters brought about by the tide and rivers' input. The methodology consisted of coupling simultaneously *in situ* data and those from aircraft recordings using a video-digital camera obtained simultaneously. A principal component analysis of the physico-chemical and microbiological data collected *in situ* and a classification through of the enhanced video camera imagery allowed us to : subdivide the area of study into five zones establish a correlation between suspended sediment, physico-chemical parameters and numerical data from aircraft imagery ; justify the need to use a video-digital camera which appears to be a remote sensing tool capable of detecting and allowing for classification of the body of water with low turbidity.

Keywords : remote sensing ; principal component analysis ; image processing ; lagoon ; Ivory Coast.

1. INTRODUCTION

L'étude du système lagunaire Ébrié, entreprise par le centre universitaire de recherche et d'application en télédétection (CURAT) de l'Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire) a pour objectif principal l'intégration des données issues de la sédimentologie, la géochimie, la bathymétrie, la biologie, la micro-biologie, la physico-chimie ainsi que les données dérivées d'images numériques aéroportées relatives à la lagune Ébrié. Cette recherche permettra de proposer une méthode de gestion intégrée de cet environnement soumis à une forte pression anthropique qui se traduit par des pollutions d'origine diverse.

Les études consacrées à cette lagune tropicale sont très nombreuses et portent sur l'hydrologie (Girard *et al.*, 1971 ; Lehay, 1984 ; Guiral et Fehri, 1988 ; Ramany, 1980 ; Arfi *et al.*, 1989), la bathymétrie (Tastet, 1979), la sédimentologie (Debyser, 1955), la géochimie (Debyser, 1959 ;

* Correspondant principal

Guiral, 1983 ; Carmouze et Caumette, 1985 ; Dufour et Slépoukha, 1975), la biologie (Binder, 1968 ; Daget et Durand 1968) et le benthos (Gomez, 1975 ; 1978 ; Zabi, 1982). Malheureusement, toutes ces études ont été menées de façon parcellaire sans que des liens véritables soient établis entre ces différents aspects. Or, la complexité du fonctionnement de cet environnement lagunaire fait qu'aucune de ces disciplines citées précédemment ne peut à elle seule donner une réponse satisfaisante à la problématique de la gestion intégrée de cet environnement. En outre, les approches méthodologiques sont rendues difficiles à cause, d'une part, de la morphologie complexe du système lagunaire et, d'autre part, de la variabilité temporelle des paramètres physico-chimiques et micro biologiques inhérents à l'influence de la marée et des apports des fleuves. C'est pourquoi la vue synoptique qu'offre l'imagerie aéroportée s'avère très pertinente pour cette étude.

Cet article vise à corréler les données aéroportées acquises d'avion avec les données physico-chimiques et micro-biologiques mesurées *in situ*.

Les paramètres physico-chimiques (température, salinité, conductivité, pH, matières en suspension et oxygène dissous) et les paramètres micro-biologiques (clostridium, coliformes et streptocoque) sont acquis de façon synchrone avec les données vidéo numériques, ce qui permet de dresser une carte de répartition spatiale de ces paramètres à partir de l'image aéroportée à l'instant t. L'objectif final de cette recherche est de pouvoir accéder aux informations relatives à l'état de pollution de la lagune Ébrié par le biais de l'imagerie aéroportée.

2. CADRE DE L'ÉTUDE

Le système lagunaire Ébrié (figure 1), s'étend sur une superficie de 566 km^2 il est étiré sur 130 km et atteint une largeur maximum de 7 km avec une profondeur moyenne de 4,8 m pouvant atteindre 15 à 20 m par endroits. Il présente une morphologie complexe constituée de plusieurs lagunes annexes (Adjin et Potou) et de baies (Marcory et Koumassi), d'où son appellation de système lagunaire Ébrié (Tastet, 1971). Le système lagunaire Ébrié est formé d'un plan d'eau principal orienté est-ouest, entre 3°40' et 4°50' de longitude ouest et 5°15' et 5°20' de latitude nord (figure 1).

Il est en communication permanente avec l'océan Atlantique par le canal artificiel de Vridi ouvert en juillet 1950 dans le cordon littoral sableux, de 0,8 à 8 km de longueur et de 2 à 6 m d'altitude (figure 2). Le bassin versant du système lagunaire Ébrié couvre 93 600 km^2 dont 78 000 km^2 sont drainés par le fleuve Comoé (figure 1) et le reste par les fleuves Agnéby et Mé (Girard *et al*, 1971). Les débits moyens en crue enregistrés pour les fleuves Mé, Agnéby et Comoé sont respectivement estimés à 172 m^3/s, 206 m^3/s et 1814 m^3/s. Le fleuve Comoé, à lui seul est responsable de 70 % des apports d'eau douce. Dans la région d'Abidjan, la lagune Ébrié est soumise à une forte pression anthropique qui se traduit entre autres, par des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, mais également de déchets solides.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1. Acquisition des données physico-chimiques et micro-biologiques

Six variables physico-chimiques (température, salinité, conductivité, pH, matières en suspension et oxygène dissous) et trois variables micro-biologiques (clostridium, coliformes et streptocoques) ont été mesurées. Toutes ces variables sont indicatrices de la qualité de l'eau. Les variables physico-chimiques permettent d'apprécier l'influence relative des apports de la mer et des fleuves tandis que les variables micro-biologiques indiquent le niveau de pollution de la lagune. En effet, le milieu aquatique est un réservoir privilégié de micro-organismes pathogènes tels que les salmonelles, les shigelles, les vibrions, les staphylocoques, etc. Devant la difficulté d'isoler et d'identifier ces germes lors d'un suivi routinier, on recherche les bactéries témoins de contamination fécales qui sont normalement absentes des eaux non polluées. Les bactéries recherchées sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux ou thermotolérants, les streptocoques fécaux et les clostridium sulfito-réducteurs.

Tous les échantillons ont été prélevés *in situ* le 01-10-1998 entre 11 h 05 et 11 h 55 dans huit sites de la baie de Koumassi et à 20 cm en dessous de la surface de l'eau (figure 2). Les paramètres mesurés sont de ce fait représentatifs des conditions de surface de l'eau de la lagune. Par ailleurs, le temps de prélèvement relativement court (50 mn) permet de montrer que les paramètres mesurés ne sont pas sous l'influence de la marée dont le retard dans la baie de Koumassi est de 1 h 30. Plusieurs paramètres ont été déterminés directement après le prélèvement. Il s'agit de la température, de l'oxygène dissous, de la conductivité, du pH et de la salinité qui ont été mesurés à l'aide du thermo-salinomètre AMEL Aquamaster modèle 345.

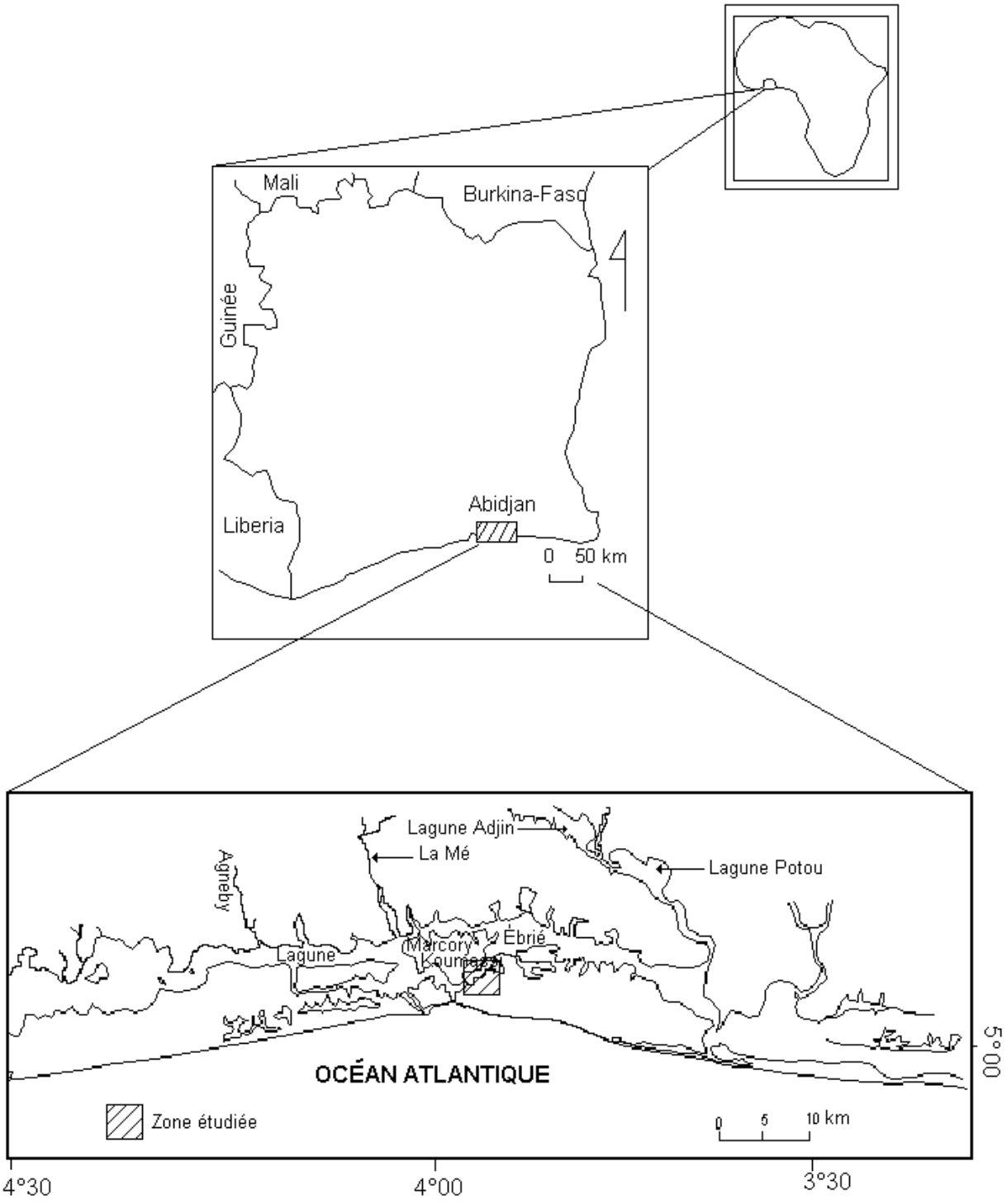


FIGURE 1 Localisation du site d'étude. *Localization of the study site*.

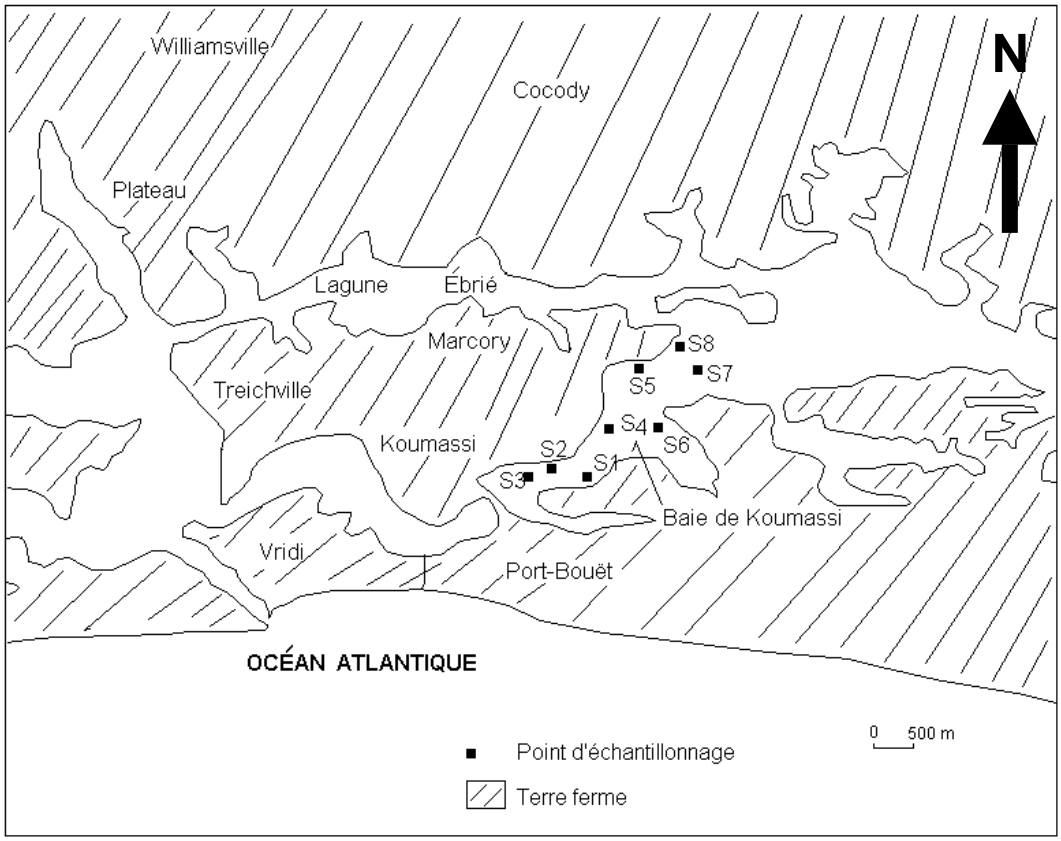


FIGURE 2 Localisation des échantillons dans la baie de Koumassi. *Localization of the sampling points in the Koumassi bay.*

La précision de cet instrument de mesure est de 0,01 pour le pH, 0,1 % pour l'oxygène dissous, 0,1 pour la conductivité, 0,1 ºC pour la température et 0,1 ‰ pour la salinité. Les échantillons destinés à l'analyse micro-biologique ont été prélevés à l'aide de flacons stériles à bouchon en verre de 500 ml, puis conservés dans une glacière à 4 ºC. Les échantillons destinés à l'analyse des matières en suspension (MES) ont été conservés à la température ambiante.

3.2. Acquisition des données aéroportées

L'image aéroportée est acquise au moyen d'une caméra vidéo numérique modèle SSC DC 30/30P/34/40 embarquée sur un avion (King and Vlcek, 1990). La caméra est dotée des caractéristiques suivantes :

- distance focale : 12–120 mm ;
- angle d'ouverture : 3,1°–29,4° ;
- distance objet : 1,5 à l'infini.

L'image de cette caméra est acquise dans le visible et en couleur.

Dans le cadre de ce travail, l'image utilisée a été enregistrée le 01-10-1998 à 11 h 34, à une altitude de vol de 265 m. Dans un premier temps, elle a été échantillonnée avec le logiciel MiroVIDEO DC 30, puis transférée dans le logiciel EASI PACE de PCI pour les traitements ultérieurs.

3.3. Analyse en laboratoire des données physico-chimiques et micro-biologiques

La mesure de la matière en suspension (MES) est obtenue par la filtration d'une certaine quantité de l'échantillon d'eau prélevée sur une rampe de filtration dotée de filtres Whatman GF/C préalablement pesés. Le poids des particules en suspension recueilli est déterminé après séchage et pesé du filtre. La teneur en MES est calculée en faisant le rapport du poids obtenu avec la quantité d'eau filtrée.

Au niveau de l'analyse micro-biologique, le dénombrement des micro-organismes (streptocoque, coliforme et clostridium) dans l'eau débute par la

filtration de 100 ml de l'échantillon par dépression sur un filtre stérile en nitrate de cellulose, de porosité 0,45 µm qui est placé sur un support de filtration à l'aide de pinces métalliques flambées à l'alcool éthylique à 90 %. La membrane de cellulose est ensuite retirée après rinçage par une solution tampon phosphatée et déposée sur un milieu de culture. Une quantité de 0,1 ml de l'échantillon est ensuite incubée à une température propre à chaque type de micro-organisme recherché. Après le décompte des colonies, le nombre de micro-organismes est obtenu par la formule suivante :

$$Nc = \frac{(Cp - Cn)*100}{V*D}$$

où :

Nc : nombre de bactéries (confirmées) recherchées pour 100 ml d'échantillon ;

Cp : nombre de colonies (présomptives) caractéristiques comptées ;

Cn : nombre de colonies présomptives non confirmées ;

V : volume d'échantillon ensemencé (ml) ;

D : taux de dilution de l'échantillon ensemencé.

3.4. Analyse en composantes principales normées

L'analyse en composantes principales normées (ACPN) est un outil d'analyse de données qui permet d'expliquer la structure des corrélations ou des covariances en utilisant des combinaisons linéaires des données originelles. Son utilisation permet de réduire et d'interpréter les données sur un espace réduit (Clarke and Ainsworth, 1993).

Cette méthode est appliquée dans notre cas pour apprécier certes les relations entre les différentes variables que nous avons mesurées, mais surtout pour accéder à leur structuration afin de pouvoir les regrouper par zone. Le regroupement par zone répond ainsi à l'objectif visé dans cette approche qui est de corréler des classes obtenues par le rehaussement de l'image aéroportée avec des zones aux caractéristiques communes définies à la surface du plan d'eau de la lagune.

Appliquée à l'ensemble des neuf variables à l'aide du logiciel *Number Cruncher Statistic System 60 (NCSS60)*, l'ACPN permet d'établir des corrélations entre chaque couple de variables (tableau 1). L'ensemble des données originales, représentant neuf mesures acquises sur les huit sites de prélèvement se réduit alors à huit mesures sur deux composantes principales à partir desquelles l'analyse de la structure des corrélations entre les variables est effectuée.

3.5. Traitement de l'image numérique

Le traitement de l'image nécessite en tout premier lieu une correction géométrique, puisque la caméra n'avait pas d'axe optique vertical (Royer *et al.*, 1985). La méthode de correction de type polynomiale a été retenue. Elle permet le redressement de l'image à partir de points de contrôle connus, saisis directement au clavier. Dans notre cas nous avons utilisé neuf points de contrôle couvrant la totalité de l'image. Ces points concernent les pointes des îles, les édifices situés en bordure de la zone d'étude et des enclos construits dans la lagune par les pêcheurs artisanaux. La précision obtenue est de 0,5 m. Pour améliorer le contraste du plan d'eau (Piech and Walker, 1971 ; Morel and Prieur, 1977 ; Guyot, 1989), on a procédé à un rehaussement obtenu à l'aide d'un étalonnement linéaire. Ce traitement a permis d'apprécier la correspondance entre les différentes classes obtenues et les valeurs des paramètres physico-chimiques et micro-biologiques acquises sur le plan d'eau.

4. RÉSULTATS

4.1. Caractérisation de la baie de Koumassi

Les résultats issus de l'analyse en composantes principales normées (ACPN) indiquent que les deux premières composantes représentent 86,16 % de la variance totale. Par conséquent, la majeure partie de la variation au sein de l'échantillon observé peut se traduire par les deux premières composantes. Ainsi, la représentation dans un système bidimensionnel des neuf paramètres mesurés sur des données collectées en huit points sur deux principales composantes Y_1 et Y_2 paraît raisonnable.

Ces considérations nous ont permis d'obtenir la matrice de corrélation des données (tableau 2), la représentation graphique des corrélations entre les différentes variables (figure 3), le regroupement des sites d'échantillonnage (figure 4) et, enfin, la définition de zones au sein du site d'étude (figure 5).

La disposition de la presque totalité des variables selon un croissant (figure 3) réparti dans les quadrants I et III, permet de mettre en évidence une relation entre les différentes variables, notamment l'existence d'un rapport étroit entre les données micro-biologiques (coliformes) avec certaines variables physiques (oxygène dissous, température, salinité, conductivité et pH).

TABLEAU 1 Valeurs brutes issues de la mesure des paramètres prélevés *in situ* dans la baie de Koumassi. *Data value of the* in situ *parameters collected in the Koumassi bay.*

	Température (°C)	ph	Conductivité (us/cm)	Salinité (pm)	Oxygène dissous (%)	Sédiments en suspension (mg/l)	Clostridium (nombre/l)	Streptocoques (nombre/l)	Coliformes (nombre/l)
S1	30,1	8,2	9000	5	76,8	6	85	4250	12640
S2	29,4	8,46	4500	2,5	83,9	3,6	175	2050	10200
S3	29	8,06	2500	1	73,9	9,2	210	1240	13740
S4	29,3	7,5	2000	1	86,7	4	80	1800	3840
S5	28,6	7,2	750	0	72,5	20,8	1080	2780	75
S6	29,4	8,1	2400	1,5	87,4	5	65	1160	2950
S7	28,7	6,8	310	0	71,4	17,6	95	4580	2340
S8	28,9	6,9	400	0	78,3	9,2	25	17480	2150

TABLEAU 2 Matrice de corrélation obtenue à partir de l'analyse en composantes principales normées des paramètres physico-chimiques prélevés *in situ* dans la baie de Koumassi. *Sample correlation matrix obtained from the standardized component analysis applied to* in situ *physical and chemical parameters collected in the Koumassi bay.*

	Température	ph	Oxygène dissous	Conductivité	Salinité	Sédiment en suspension	Clostridium	Streptocoque	Coliforme
Température	1	0,728928	0,479534	0,921616	0,948585	–0,755307	0,052303	–0,189507	0,559883
PH	0,728928	1	0,464196	0,73379	0,747131	–0,687829	0,5781	–0,480842	0,749215
Oxygène dissous	0,479534	0,464196	1	0,159382	0,235695	–0,814941	–0,130486	–0,191877	–0,107749
Conductivité	0,921616	0,73379	0,159382	1	0,99459	–0,522592	0,224689	–0,241909	0,736531
Salinité	0,948585	0,747131	0,235695	0,99459	1	–0,571103	0,187786	–0,251227	0,6912
Sédiment en suspension	–0,755307	–0,687829	–0,814941	–0,522592	–0,571103	1	–0,166028	0,014111	–0,398151
Clostridium	0,052303	0,5781	–0,130486	0,224689	0,187786	–0,166028	1	–0,40303	0,756556
Streptocoques	–0,189507	–0,480842	–0,191877	–0,241909	–0,251227	0,014111	–0,40303	1	–0,198596
Coliformes	0,559883	0,749215	–0,107749	0,736531	0,6912	–0,398151	0,756556	–0,198596	1

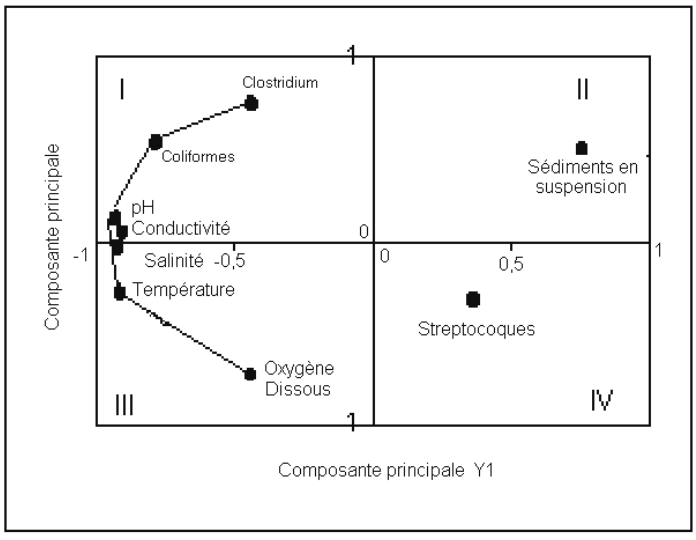


FIGURE 3 Relation entre les différents paramètres dans les plans factoriels Y1 et Y2. *Relationship between the different parameters suggested by the factorial planes Y1 and Y2.*

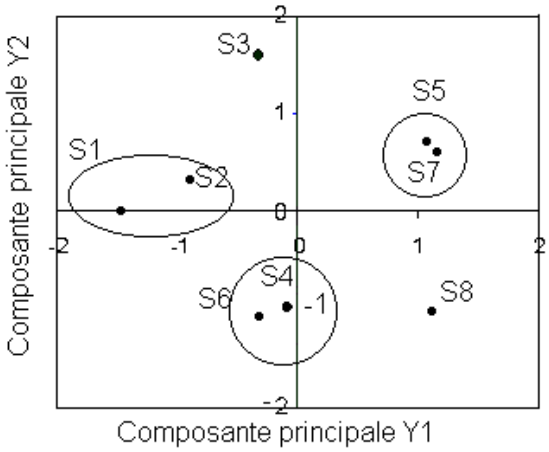
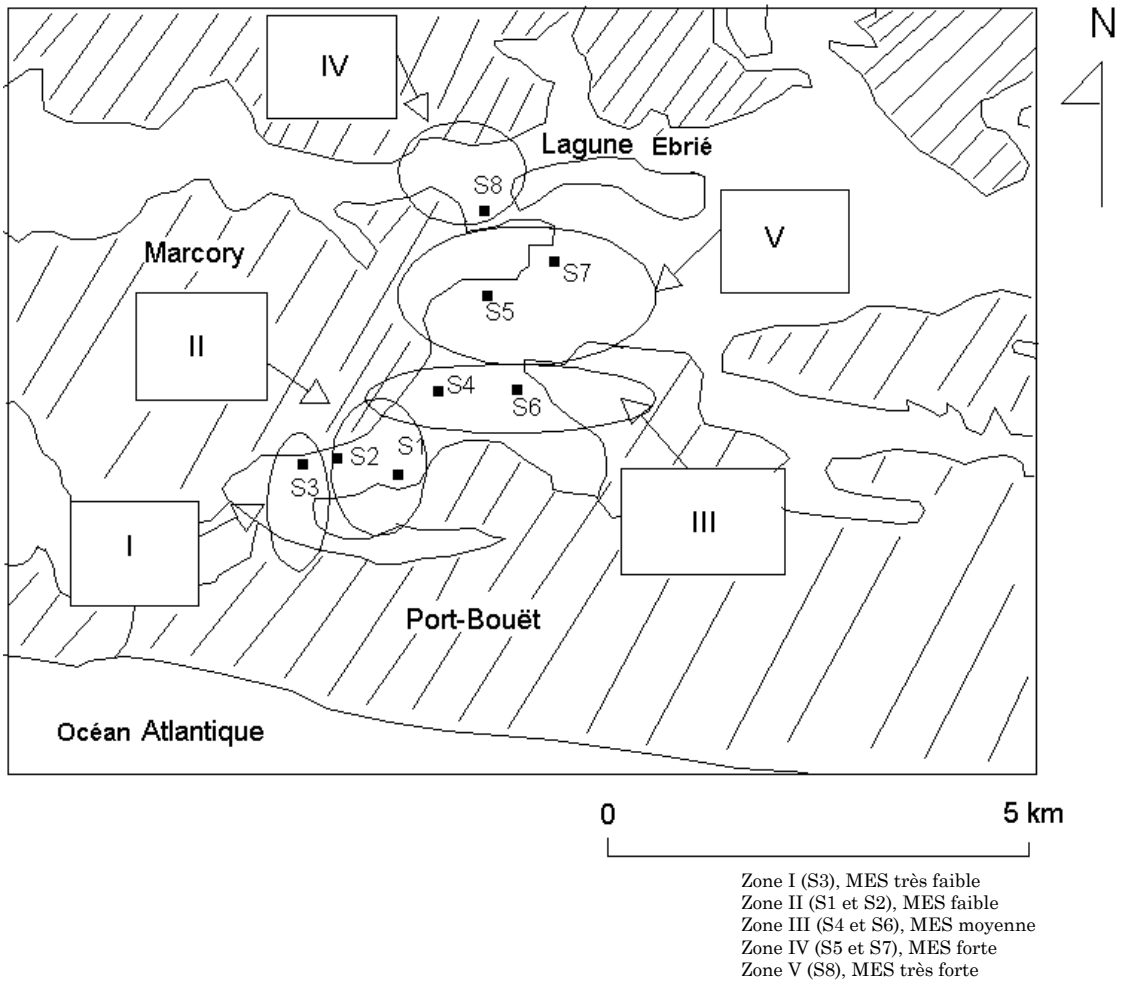


FIGURE 4 Regroupement des sites d'échantillonnage à l'aide des plans factoriels Y1 et Y2. *Clusters of sampling sites based on the factorial planes Y1 et Y2.*



Zone I (S3), MES très faible
Zone II (S1 et S2), MES faible
Zone III (S4 et S6), MES moyenne
Zone IV (S5 et S7), MES forte
Zone V (S8), MES très forte

FIGURE 5 Zones définies par l'analyse en composantes principales normées. *Regions determined from the Standardized component analysis.*

Ce rapprochement est souligné, sur le tableau 2, par des corrélations positives : 0,559 avec la température, 0,691 avec la salinité, 0,735 avec la conductivité et 0,749 avec le pH. Par ailleurs, l'examen des coefficients de corrélation entre les couples de variable (tableau 2), montre que la MES a une faible corrélation avec les bactéries : clostridium (r = –0,166), coliformes (r = –0,398), streptocoques (r = 0,0147), mais un coefficient de corrélation significatif et négatif avec la température (r = –0,755), la salinité (r = –0,571), le pH (r = –0,687) et l'oxygène dissous (r = –0,814. Ces résultats montrent qu'il n'y a pas de relation entre la charge turbide et l'occurrence des bactéries. Ils montrent aussi que, lorsque la charge turbide du fleuve Comoé augmente, la valeur des paramètres physico chimiques décroît. Cette influence de la charge turbide sur les paramètres mesurés *in situ* s'est exprimée par le regroupement des sites S3, (S1 et S2), (S4 et S6), (S5 et S7) et S8 mis en évidence par l'analyse en composantes principales (figure 4). Une fois reportés sur la carte, ces regroupements permettent d'identifier des zones (figure 5) qui indiquent le passage progressif d'un état de concentration élevée de MES au niveau du chenal principal du fleuve Comoé (site S8) à un état de faible concentration en MES au fond de la baie (site S3), de sorte que la classification suivante peut être proposée :

zone I (S3), à MES très faible ;
zone II (S1 et S2), à MES faible ;
zone III (S4 et S6), à MES moyenne ;
zone IV (S5 et S7, à forte MES ;
zone V (S8), à très forte MES.

4.2. Corrélation entre données in situ *et données aéroportées*

Afin d'établir une relation entre les différentes variables mesurées *in situ* et les données numériques issues de l'image aéroportée, une superposition des cartes issues de ces deux approches a été réalisée.

L'image numérique fait l'objet d'une classification (figure 6). Ayant été acquise dans le domaine du visible, en l'absence de bloom planctonique, sa structuration est liée à la couleur de l'eau, qui est elle même fonction de la teneur en sédiment (Affian *et al.,* 1993 ; Froidefond *et al.,* 1991). La superposition de cette image classée suivant des valeurs radiométriques sur la carte issue de la classification basée sur la charge turbide (figure 5) permet de proposer la répartition en cinq classes de concentrations des matières en suspension (M.E.S.) allant de 7 mg/l à 10 mg/l. Les valeurs relativement élevées (10 mg/l) des MES notées au nord-est sur la figure 6 s'expliquent par la proximité du chenal principal du fleuve Comoé à cet endroit. Du nord-est vers le sud-ouest, on quitte le chenal principal pour pénétrer à l'intérieur de la baie ; la dilution des eaux entraîne la baisse de la charge turbide (7,49 mg/l) au fond de la baie. Les fortes teneurs de MES traduisent donc l'apport important du fleuve Comoé, dont les MES se répartissent graduellement du nord est vers le sud-ouest de la baie. On peut donc, tout comme à partir de l'imagerie satellitaire (Affian *et al*., 1993), établir une classification de la charge turbide à partir de l'imagerie vidéo numérique. La charge turbide est, soit en corrélation négative avec les teneurs en clostridium et coliformes, soit en corrélation très faible avec les streptocoques. Cela montre que les causes de la prolifération de ces bactéries sont surtout liées aux apports d'origine anthropique en provenance de la ville d'Abidjan.

L'analyse de l'image vidéo numérique se révèle très intéressante, car elle permet de détecter des charges turbides relativement faibles, ce qui n'est pas le cas des images satellitaires où seules les charges turbides relativement élevées peuvent être détectée (Froidefond *et al*., 1991).

5. DISCUSSION

Bien que cette approche nous donne de bons résultats dans le cas présent, il est à noter que la généralisation de la méthodologie proposée et la séquence de traitement présentée ne peuvent constituer un modèle d'analyse précis à grande échelle qu'à condition que des corrections atmosphériques précises et l'établissement de courbes de régression entre les comptes numériques et les valeurs de turbidité puissent être effectuées. La classification de l'image aéroportée à été mise en relation avec les particules en suspensions car, en période de crue, il ne peut y avoir de bloom planctonique dans les eaux lagunaires ; la couleur de l'eau est plutôt en rapport avec sa charge solide (Tastet, 1979).

La présence de bactéries (streptocoque et clostridium) non liée à l'apport des eaux de la Comoé montrent que ces contaminations proviennent de la ville d'Abidjan et en particulier des eaux usées non préalablement traitées avant d'être déversées dans la lagune. Il est donc urgent que les eaux usées soient traitées avant d'être déversées dans la lagune. Ces résultats montrent par ailleurs que la consommation des eaux de puits par les populations de la commune de Koumassi pourrait être une source de maladies diarrhéiques étant entendu que les nappes phréatiques peu profondes sont en relation avec l'eau de la lagune.

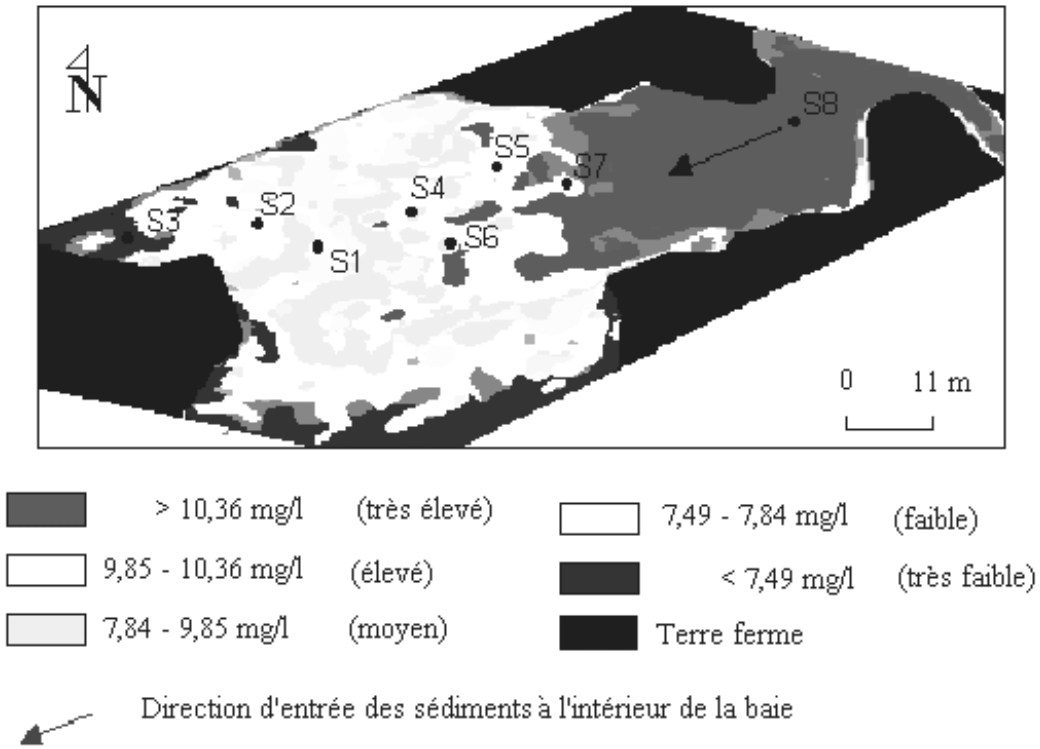


FIGURE 6 Répartition de la charge turbide issue du traitement de l'image aéroportée. *Suspended matter concentration map obtained through a processed aerial imagery.* (voir image couleur I à la fin de la revue).

6. CONCLUSION

Les méthodes de télédétection aéroportée et d'analyse en composantes principales normées (ACPN), appliquées aux données *in situ* permettent de : proposer une classification du plan d'eau de la baie de Koumassi en cinq secteurs basée sur la teneur des sédiments en suspension ; établir une corrélation entre les sédiments en suspension, les paramètres physico-chimiques et les données numériques de l'image aéroportée ; montrer la capacité de détection des faible teneurs en matière en suspension par la caméra vidéo numérique modèle SSC DC 30/30P/34/40 aéroportée ; montrer que la pollution d'origine bactériologique vient des eaux usées déversées sans traitement dans la lagune.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la présidence de l'Université de Cocody qui, à travers le concours des projets de recherche, a financé en partie ce travail. Les remerciements vont également à l'endroit du professeur Chidi IBE, coordonateur du projet *Grand écosystème marin de l'ONUDI* (Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel) pour son soutien financier accordé à l'acquisition des images aéroportées.

Références

Affian, K., Jourda, P., Aka, K. et Abé, J. (1993) Caractérisation du panache turbide d'un fleuve en zone intertropicale à l'aide d'une image HRV de SPOT : cas du Bandama en Côte d'Ivoire. *In* J.-M. Dubois, M. R. Boussema, F. Boivin et P. Lafrance (dir), Télédétection des ressources en eau. Actes des journées scientifiques de Tunis. AUPELF-UREF, Montréal, p. 205-213.

Arfi, R., Guiral, D. et Torreton, J., P. (1989) Cycle hydrologique annuel d'une baie lagunaire eutrophe : la baie de Biétri (lagune ébrié, Côte d'Ivoire). Revue d'Hydrobiologie Tropicale, vol. 22, n° 4, p. 263-273.

Binder, E. (1968) Répartition des mollusques dans la lagune ébrié (Côte d'Ivoire). Cahier de l'ORSTOM, série hydrobiologie, vol. 2, n° 4, p. 3-34.

Carmouze, J.P. et Caumette, P. (1985) Les effets de la pollution organique sur les biomasses et activités de phytoplancton et des bactéries hétérotrophes dans la lagune Ébrié (Côte d'Ivoire). Revue d'Hydrobiologie Tropicale, vol. 18, p. 183-211.

Clarke, K.R. and Ainsworth, M. (1993) A method of linking multivariate community structure to environmental variables. Marine Ecology Serie, vol. 92, p. 205-219.

Daget, J. et Durand, J.R. (1968) Étude du peuplement des poissons d'un milieu saumâtre tropical poikilohalin : la baie de Cocody en Côte d'Ivoire. Cahier de l'ORSTOM, série océanographie, vol.11 , n° 4, p. 431-454.

Debyser, J. (1955) Etude sédimentologique du système lagunaire d'Abidjan. Revue de l'Institut Français du Pétrole, vol.10, p. 319-334.

Debyser, J. (1959) Contribution à l'étude géochimique des vases. Thèse de doctorat ès sciences naturelles, Paris, 251 p.

Dufour, P. et Slépoukha, M. (1975) L'oxygène dissous en lagune Ébrié : influence de l'hydroclimat et des pollutions. Document Scientifique du Centre de Recherche Océanographique, Abidjan, vol. VI, p. 75-118.

Froidefond, J., M., Castaing, P., Mirand, M. and Ruch, P. (1991) Analysis of the turbid plume of the Gironde (France) based on SPOT radiometric data. Remote Sensing of Environment, vol. 36, p. 149 -163.

Girard, G., Sircoulon, J. et Toucheboeuf, P. (1971) Aperçu sur les régions hydrologiques. *in* : le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM, n° 50, p. 109-156.

Gomez, M. (1975) Premières données sur la faune benthique de la lagune Ébrié, Mémoire de DEA, Institut d'Écologie Tropicale, Université d'Abidjan, 36 p.

Gomez, M. (1978) Données biologiques sur deux peuplements benthiques autour de l'île Bouley et de l'île Leydet. Thèse de doctorat 3ème cycle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 108 p.

Guiral, D. (1983**)** Physico-chimie et bio géochimie des eaux et des sédiments à la station d'aquaculture de Layo (lagune Ébrié, Côte d'Ivoire). Document Scientifique du Centre de Recherche Océanographique, Abidjan, vol. XIV, p. 1-29.

Guiral, D. et Fehri, J. (1988) Caractérisation ionique et isotopique d'un système hydrologique tropical : la lagune Ébrié (Côte d'Ivoire). Oceanologica Acta, vol. 14 n° 1, p. 47-55.

Guyot, G. (1989) Signatures spectrales des surfaces naturelles. Télédétection satellitaire, n° 5, Paradigme, Caen, 178 p.

King, D. and Vlcek, J. (1990) Development of a multispectral video system and its application in forestery. Canadian Journal or Remote Sensing, vol. 16, n° 1, p.15-23

Lehay, D. (1984) Système lagunaire Ébrié (Abidjan, Côte d'Ivoire) : synthèse des données, modellisation de la courantométrie, dispersion. Mémoire de DEA, Université de Brest, 111 p.

Morel, A. and Prieur, L. (1977) Analysis of variations in ocean color. Limnology Oceanography, vol. 22, p. 709-715.

Piech , K. R. and Walker, J. E. (1971) Aerial color analysis of water quality. Journal of Surveying and Mapping Division, vol. 97, n° 502, p. 185-197.

Ramany, B. P. (1980) Les systèmes lagunaires Ébrié en Côte d'Ivoire : fonctionnement hydrodynamique et salinité. Thèse de doctorat. Université d'Abidjan, 247 p.

Royer, A., Vincent, P. and Bonn, F. (1985) Evaluation and correction of viewing angle effects on satellite measurements of bidirectional reflectance. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 51, n° 12, p. 1899-1914.

Tastet, J.-P. (1971) Le contexte géologique du site d'Abidjan. Annales de l'Université d'Abidjan, Série G, tome III, p. 225-246.

Tastet, J.-P. (1979) Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du golfe de guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin). Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, n° 621, 181 p.

Zabi, G. S. F. (1982). Répartition et abondance des espèces de la macrofaune benthique de la lagune Ébrié (Côte d'Ivoire). Document Scientifique du Centre de Recherche Océanographique, Abidjan, vol. 13, p. 73-96.