



**ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DISSOUE FLUORESCENTE
(MOD) DES LACS DE YAMOUSSOUKRO (CÔTE D'IVOIRE) PAR
L'UTILISATION DU PARALLEL FACTORS ANALYSIS (PARAFAC)**

**STUDYING FLUORESCENT DISSOLVED ORGANIC MATTER (FDOM) FROM
YAMOUSSOUKRO LAKES (COTE D'IVOIRE) USING THE PARALLEL FACTORS
ANALYSIS (PARAFAC)**

AW S., N'GORAN E. B. Z., KOFFI G. A. R., ASSIDJO N. E.

Laboratoire de Procédés Industriels, de Synthèse, de l'Environnement et des Energies
Nouvelles (LAPISEN), Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-
HB), BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

aw.sadat@yahoo.fr

RESUME

L'objectif de cette étude était de caractériser la matière organique dissoute (MOD) du système lacustre de Yamoussoukro par les Matrices d'Excitation et d'Emission de fluorescence (MEEF) et le PARAFAC. En se basant sur 255 échantillons regroupés en fonction des points et saisons de prélèvements, le PARAFAC a permis d'extraire globalement cinq composants indépendants décrivant la fluorescence de la MOD. Ainsi, on a observé quatre composants, comprenant des pics de protéines (S et BT) et de substances humiques (A, C et M ou α' , α et β) et pour le dernier composant, des pics inconnus non décrits dans la littérature ($\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ = 285 nm/550 nm et $\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ = 345 nm/550 nm). La connaissance des origines des composants et de leur évolution saisonnière pourraient aider à la circonscription des sources de pollutions organiques et à la meilleure gestion de la qualité des eaux de surface.

Mots clés: Matières Organiques Dissoutes, PARAFAC; Système lacustre tropical; Qualité des eaux, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

This study aims for characterizing dissolved organic matter (DOM) from water samples of a tropical lake system (Yamoussoukro, CI) by excitation-emission fluorescence matrix (EEM) and PARAFAC. Based on 225 samples which were group up consider collection points and seasons, PARAFAC permit to extract globally five independent components describing fluorescence of the DOM. One also notes for four components, proteins peaks (S and BT) and humic substances peaks (A, C and M or α' , α and β) and for one component, unknown peaks ($\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ = 285 nm/ 550 nm and $\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ = 345 nm / 550 nm). The knowledge of origins of these DOM components and there evolution in different seasons allows to help districtof organic pollutionsources and monitoring of water quality of surface water.

Keywords: Characterization; EEM; organic pollution; tropical lake system; monitoring of water quality.

INTRODUCTION

Les eaux de surface sont une ressource à divers usages contenant de la matière organique dissoute (Aw, 2009). La matière organique (MO) est l'ensemble des composés et molécules hydrocarbonés d'origine naturelle et anthropique d'un écosystème (Pernet, 2008). Elle est ubiquiste (Labanowski, 2004 ; Huguet, 2007 ; Zhao, 2011) et existe sous forme particulière, colloïdale et dissoute dans les écosystèmes aquatiques (Thurman, 1985 ; Huguet, 2007 ; Louis, 2008). Une partie de la matière organique dissoute (MOD) possède des propriétés optiques ; elle fluoresce quand elle est excitée par UV selon (Senesi, 1993 ; Stedmon *et al*, 2008). Cette propriété de fluorescence est utilisée pour caractériser et quantifier la MOD dans les environnements aquatiques (Chen *et al*, 1993 ; Coble, 1996 ; Skoog *et al*, 1996 ; Sierra *et al*, 2001). Par ailleurs la MOD est connu pour jouer des rôles majeurs dans l'environnement et dans les systèmes aquatiques d'après (Zhao, 2011 ; Holbrook *et al*, 2006 ; Ishii *et al*, 2012). La connaissance de la concentration et de la composition de la MOD à un effet sur les écosystèmes et la santé à travers des procédés comme l'atténuation de la lumière ((Morris *et al*, 1995 ; Markager *et al*, 2000), la disponibilité des nutriments (Holbrook *et al*, 2006), le transport des contaminants et métaux (Louis, 2008) et le traitement des eaux (Wang *et al*, 2007 ; Henderson *et al*, 2009). Aussi , la fluorescence de la matière organique permet d'obtenir des informations quant à la structure, la conformation, le nombre, le type mais aussi la concentration relative des

composés fluorescents de la MO (Coble, 1996) à travers les matrices d'excitation et d'émission de fluorescence (MEEF), générées par l'enregistrement successif de spectres d'émission à des longueurs d'ondes d'excitation croissantes. On peut visualiser l'ensemble du domaine spectral et ainsi distinguer les différents fluorophores qui composent un mélange (Huguet, 2007). Cependant cette caractérisation est souvent laborieuse d'où l'utilisation de techniques d'analyses multivariées de ces matrices pour une meilleure analyse des MEEF. De ces techniques, le PARAFAC est utilisé pour décrire la MOD dans différents environnements (Bro, 1997). Présentant les avantages et inconvénients de l'application de différentes méthodes de décomposition multivariée des MEEF, (Stedmon *et al*, 2008) démontrent que le PARAFAC permet d'obtenir les spectres de fluorescence des fluorophores individuels provenant des MEEF. L'analyse PARAFAC des MEEF est devenue une véritable et prometteuse technique de caractérisation au vu des travaux où cette technique est évoquée: (Holbrook *et al*, 2006 ; Morris *et al*, 1995 ; Henderson *et al*, 2009 ; Stedmon *et al*, 2003 ; Stedmon *et al*, 2005 ; Luciani, 2007 ; Ogoula, 2010). Dans ce contexte de protection de l'environnement, de préservation de la santé et de satisfaction durable des besoins humains, l'analyse de la composition de la MO basée sur les MEEF et le modèle PARAFAC et son application dans la surveillance de la qualité des eaux de surface (Henderson *et al*, 2009) permettent d'étudier la MO afin de détecter les sources de pollutions des eaux de surface. Aussi, nous nous sommes proposés de caractériser la matière organique fluorescente des eaux du système lacustre de Yamoussoukro par l'utilisation des MEEF et du PARAFAC.

MATERIEL ET METHODES

Description de la zone d'étude et prélèvements des données

La ville de Yamoussoukro (capitale politique) est située au centre de la Côte d'Ivoire. La description de la zone d'étude, ainsi que le système lacustre de Yamoussoukro sont présentés par (Aw, 2009 ; Aw *et al*, 2011). En outre, les données qui ont servi à notre étude sont issues des travaux de Aw (2009). Les 17 stations de prélèvement des échantillons ont été ici réparties en quatre groupes de stations en s'appuyant sur les résultats de l'ACP réalisé par (Aw *et al*, 2011) selon le niveau d'anthropisation des stations et de leur couverture par les végétaux aquatiques (macrophytes). Nous avons assimilé les groupes de stations à des points de prélèvement en tenant compte de leur niveau d'anthropisation. Ainsi, les stations du point I correspondent aux lacs (1 et 10)

situés aux deux entrées du système lacustre, Ces stations sont relativement peu anthropisées mais avec de fortes densités de macrophytes. Le point II comprend les stations des lacs 2, 3, 4 (E2, S2, E3, S3, E4 et S4). Ces lacs comptaient parmi les moins anthropisés du système et n'étaient pas envahis de macrophytes. Le point III, constitué des stations E8, S8, E9 et S9 provenant respectivement des lacs 8 et 9, est relativement plus anthropisé. Ces lacs présentent un niveau intermédiaire d'envahissement mixte par les macrophytes et le phytoplancton. La station du lac 6 (S6) était couverte de macrophytes pendant les prélèvements et les stations du lac 5 (E5a, E5b et S5) présentaient des niveaux de couverture différents. Toutefois, les lacs 5 et 6, les plus anthropisés du système, ont constitués le point IV.

Mesure des MEEF

Les échantillons prélevés sur le système lacustre de Yamoussoukro sont au nombre de 255. La fluorescence de chaque échantillon a été mesurée à l'aide du fluorimètre Fluoromax-2. Les intervalles spectraux d'excitation et d'émission ont été choisis de telle sorte qu'ils contiennent les pics de fluorescence les plus représentatifs de la MOD (Coble, 1996). Les graphiques qui sont produits par le Fluoromax-2 sont les MEEF. Ces dernières sont produites à partir de l'enregistrement successifs de spectres d'émission (300 à 600 nm; incrément 5 nm) à des longueurs d'onde d'excitation prises tous les 5 nm entre 200 et 450 nm.

Analyse PARAFAC des MEEF

Le PARAFAC est une méthode d'analyse de données (MEEF) basée sur un modèle trinéaire. Le modèle PARAFAC est une routine numérique permettant d'estimer les variables à partir des mesures en minimisant l'écart résiduel avec le modèle trinéaire (Zhao, 2011 ; Bro, 1997 ; Stedmon *et al*, 2003 ; Luciani, 2007). Le principal problème lié à l'utilisation du modèle PARAFAC constitue le choix du nombre de fluorophores qui est subjectif et fonction de l'utilisateur. Cette insuffisance ne suffit pas à endiguer le développement de l'utilisation de l'analyse PARAFAC pour caractériser les composants fluorescents de la MOD selon (Stedmon *et al*, 2008). Pour notre étude, la version 7.14.0.739 (Release 2012a) de MATLAB a été utilisée pour conduire l'analyse PARAFAC. Le PARAFAC, via la boîte d'outil DOM Fluor (version 7.1), a été employée pour créer un modèle qui décrit les différents composants de la MOD des eaux de

lacs. Les 255 MEEF ont été scindées en huit jeux (Tableau 1) selon les quatre points de stations de prélèvements définis plus haut et les deux saisons regroupant des mois secs ou pluvieux. L'ensemble des mois secs (pluvieux) constitue une saison dite sèche (pluvieuse). Avant cela, les 255 MEEF ont fait l'objet d'une analyse PARAFAC globale.

Tableau 1 : Jeux de données à traiter avec le PARAFAC.

Nom des jeux de données	Nombre de stations	Nombre d'échantillons	Nombre de MEEF
P1 SS	3	24	24
P2 SS	6	48	48
P3 SS	4	32	32
P4 SS	4	32	32
P1 SP	3	21	21
P2 SP	6	42	42
P3 SP	4	28	28
P4 SP	4	28	28

P : Point, SS : Saison Sèche et SP : Saison Pluvieuse

RESULTATS

Analyse globale

L'analyse PARAFAC de l'ensemble des 255 échantillons dans un seul jeu de données donne les composants suivants (figure 1) :

- Le composant 1 ($\lambda_{ex}; \lambda_{em} = 240 \text{ nm}; 410 \text{ nm}$ et $\lambda_{ex}; \lambda_{em} = 330 \text{ nm}; 410 \text{ nm}$) représente des substances humiques terrestres et marines car constitué des pics A et M (Coble, 1996). L'apparition du pic M dans des échantillons d'eaux douces met en doute l'origine marine de ce fluorophore qui pourrait être terrigène (Luciani, 2007).

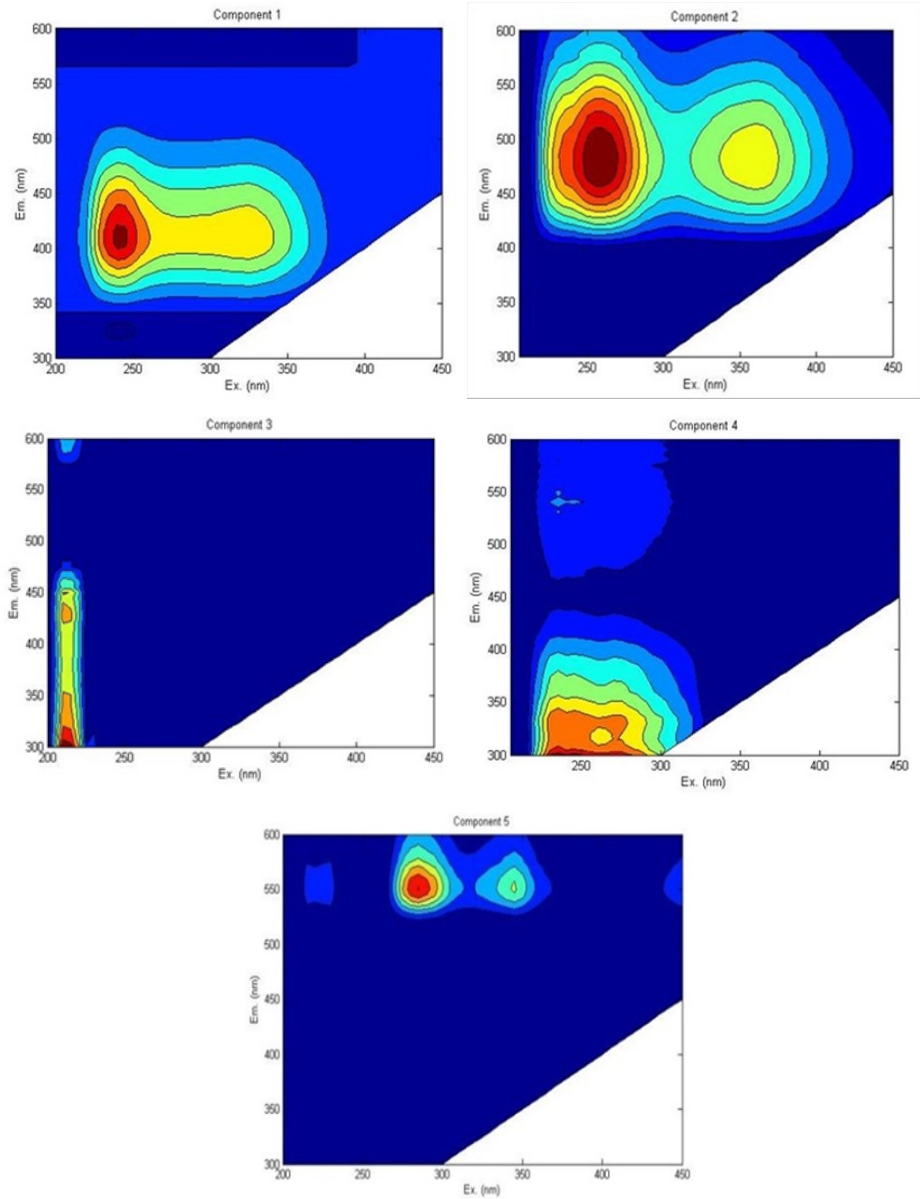


Figure 1 : Composants obtenus par PARAFAC du jeu global des données.

- Le composant 2 (λ_{ex} ; λ_{em} = 260 nm; 480 nm et λ_{ex} ; λ_{em} = 360 nm; 480 nm) indique l'existence de substances humiques terrestres exclusivement. Il est constitué de deux bandes de fluorescence α' et α (Parlanti *et al*, 2000).
- Le composant 3 (λ_{ex} ; λ_{em} = 210 nm; 300 nm) représente un pic protéinique de type tyrosine (pic SR) selon (Burdige *et al*, 2004).
- Le composant 4 (λ_{ex} ; λ_{em} = 235-270 nm; 300 nm) montre lui un pic nommé BT qui est de la protéine proche du tryptophane (Burdige *et al*, 2004).
- Le dernier composant, avec en longueur d'onde d'émission 550 nm et un intervalle de longueur d'onde d'excitation de 285 à 345 nm, n'est répertorié dans aucune étude antérieure. Le composant 5 de l'analyse globale des données semble donc être inconnu.

Analyses individuelles, impacts des saisons et des points.

Les Tableaux 2 et 3 montrent le bilan faisant état des résultats de nos travaux traitant de l'étude de la MOD avec le PARAFAC pour différents points d'échantillons prélevés en saison sèche et en saison pluvieuse avec ceux d'études menées précédemment.

En saison sèche, d'un point à un autre, l'on remarque des composants ayant des origines identiques. En effet, les composants 1 et 2 du point I, le composant 2 du point II, le composant 1 du point III et celui du point IV sont composés des pics A et C (Coble, 1996) ou α' et α selon (Parlanti *et al*, 2000) qui représentent des substances humiques de type terrestre. Les composants 3, 1, 2 et 2 appartenant respectivement au point I, au point II, au point III et au point IV sont constitués de deux pics (A et M) selon Coble (1996) montrant des substances humiques de type terrestre (pic A) et de type marin (pic M). Enfin, le point II est le seul hébergeant de la protéine en saison sèche. En saison de pluies, les substances humiques (terrestre et/ou marine) sont communes aux quatre points puisque les pics A, C et M (Coble, 1996) y sont détectés. Les pics protéiniques quant à eux sont présents dans les trois derniers points analysés. La tyrosine est observée dans ces trois points. Dans le point IV est obtenu le tryptophane représentant la MOD autochtone. Le tryptophane a comme la tyrosine une origine biologique algale ou bactérienne récente, phytoplanctonique et correspond à une fraction très labile de la MOD. Les saisons n'impactent pas véritablement le point I. En effet, les pics observés sont

les mêmes et représentent des substances humiques de type terrestre et marin. Quant au point II, même si le nombre de composants passe de deux en saison sèche à quatre en saison pluvieuse, les mêmes types de composants sont trouvés d'une saison à une autre à savoir les substances humiques et la tyrosine (protéine). Cela traduit une influence inexistante des saisons sur ce point de lacs. Pour le point III, l'observation d'un fluorophore d'origine protéinique de type tyrosine en saison pluvieuse pourrait montrer une influence des saisons sur la composition de la MOD de ce point de lacs. Pour preuve, l'analyse des échantillons prélevés en saison sèche a permis d'obtenir deux composants représentant les substances humiques. Ces dernières sont d'ailleurs toujours présentes en saison pluvieuse (composants 1 et 2). Enfin, En saison pluvieuse, l'analyse PARAFAC du point de stations IV donne des pics d'origine protéinique (tyrosine et tryptophane) et des composants indiquant la présence de substances humique. Pourtant en saison sèche, seules les substances humiques sont représentées à travers les pics A, C et M.

Tableau 2 : Description des composants identifiés par l'analyse PARAFAC des points de stations en saison sèche dans cette étude et leur comparaison avec des composants obtenus précédemment.

Période	Points de Prélèvements	Composant	Ex (nm)	Em (nm)	Composants identifiés d'études précédentes	Description/ origine
Saison sèche	Point I	1	245/330	425	$\alpha^{[18]}$, $2^{[25]}$, $A^{[6]}$, $A^{[4]}$, $5^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $C^{[6]}$, $1^{[26]}$	Substances humiques
		2	260/370	485	$3^{[26]}$, $1^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $\alpha^{[18]}$, $C^{[6]}$, $C^{[4]}$	
		3	245/290	395	$3^{[24]}$, $2^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[6]}$, $A^{[4]}$, $3^{[25]}$, $M^{[6]}$	
	Point II	1	240/330	405	$3^{[24]}$, $2^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[6]}$, $A^{[4]}$, $2^{[26]}$, $M^{[4]}$, $1^{[29]}$	Substances humiques + Protéines
		2	260/360	480	$3^{[26]}$, $1^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $C^{[6]}$, $\alpha^{[18]}$	
		3	245/275	300	$\gamma^{[18]}$, $B^{[6]}$, $4^{[25]}$, $BT^{[4]}$	
		4	215	300	$SR^{[4]}$	
	Point III	1	245/345	465	$3^{[26]}$, $1^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[4]}$, $C^{[6]}$, $C^{[4]}$, $\alpha^{[18]}$	Substances humiques
		2	240/285	395	$3^{[24]}$, $2^{[26]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[6]}$, $3^{[25]}$, $M^{[6]}$	
	Point IV	1	245/345	465	$3^{[26]}$, $1^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[4]}$, $C^{[6]}$, $C^{[4]}$, $\alpha^{[18]}$	Substances humiques
		2	235/285	395	$3^{[24]}$, $2^{[26]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[6]}$, $3^{[25]}$, $M^{[6]}$	

Tableau 3 : Description des composants identifiés par l'analyse PARAFAC des points de stations en saison pluvieuse dans cette étude et leur comparaison avec des composants obtenus précédemment.

Période	Points de prélèvements	Composant	Ex (nm)	Em (nm)	Composants identifiés d'études précédentes	Description /Origine
Saison pluvieuse	Point I	1	255/345	470	$3^{[26]}$, $1^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[4]}$, $C^{[6]}$, $C^{[4]}$, $\alpha^{[18]}$	Substances Humiques
		2	240/315	405	$3^{[24]}$, $2^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[6]}$, $A^{[4]}$, $2^{[26]}$, $M^{[4]}$, $1^{[29]}$	
	Point II	1	245/330	445	$\alpha^{[18]}$, $A^{[6]}$, $A^{[4]}$, $1^{[26]}$, $\alpha^{[18]}$	Substances humiques + Protéine
		2	235	300	$SR^{[4]}$, $\gamma^{[18]}$, $B^{[6]}$	
	Point III	1	240/325	410	$3^{[24]}$, $2^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $A^{[6]}$, $A^{[4]}$, $2^{[26]}$, $M^{[4]}$, $1^{[29]}$	Substances humiques + Protéine
		2	260/360	480	$3^{[26]}$, $1^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $C^{[6]}$, $\alpha^{[18]}$	
	Point IV	3	225	300	$SR^{[4]}$	
		1	240/325	415	$\alpha^{[18]}$, $A^{[6]}$, $A^{[4]}$, $2^{[26]}$, $M^{[4]}$, $1^{[29]}$	Substances humiques + Protéines
		2	260/365	480	$3^{[26]}$, $1^{[25]}$, $\alpha^{[18]}$, $C^{[6]}$, $\alpha^{[18]}$	
		3	235/275	335	$T^{[6]}$, $4^{[25]}$, $\delta^{[18]}$, $5^{[24]}$, $BT^{[4]}$	
		4	215	300	$SR^{[4]}$	

DISCUSSION

Analyse globale

Les composants 1 et 2 sont les plus répandus dans l'environnement et à juste titre dans les eaux du système lacustre de Yamoussoukro. En effet quel que soit la saison (pluvieuse ou sèche), les lacs de Yamoussoukro reçoivent les eaux provenant de la fertilisation et de l'irrigation des cultures situées aux abords des lacs ou des eaux de ruissellement au cours des pluies. Toutes ces eaux étant chargées en engrais organique (déchets de volaille, de porcs et de bovins). La forte présence des substances humiques dans les lacs peuvent être aussi due à la dégradation des plantes à proximité des lacs et même dans certains lacs où la couverture végétale est considérable. Le pic M détecté a été attribué à du matériel de type humique d'origine purement marine par (Coble, 1996).

L'origine de ce type de fluorophore a plus précisément été reliée à une activité biologique et notamment à des exsudats d'algues puisqu'il a été observé au cours d'expériences de dégradation de phytoplancton et de macro algues (Parlanti *et al*, 2000). Cependant l'obtention de ce fluorophore dans nos échantillons d'eaux douces vient infirmer ce point de vue comme les observations faites par (Luciani, 2007) qui donnait une origine terrestre à ce pic de substance humique ou du moins réfutait son origine marine mais sans plus. En outre, dans les environnements aquatiques, il est lié à la production du phytoplancton (Hudson *et al*, 2007). Ce pic de fluorescence permet également de tracer les contaminations par les eaux usées dans les piscines d'après (Ishii *et al*, 2012). Les protéines (composants 3 et 4) sont des fluorophores qui ont une origine biologique algale ou bactérienne récente et correspondent à une fraction très labile de la MOD selon (Vacher, 2004). Leur présence dans les lacs étudiés pourrait s'expliquer par la présence de phytoplanctons et d'algues sur les étendues de certains lacs. Le composant 5 semble inconnu. Son apparition peut s'expliquer par la présence d'une nouvelle molécule jusque-là jamais détecté. Ou pourrait-il s'agir d'un composant connu mais dont les λ_{ex} et λ_{em} sont augmentées à cause de la présence à forte dose d'un contaminant organique ou d'un métal complexant dans les lacs de Yamoussoukro.

Analyses individuelles, impacts des saisons et des points

En saison sèche, les pics A, C et M représentant les substances humiques, la fraction allochtone de la MOD (Vacher, 2004) sont présents dans tous les points de lacs. Cette présence pourrait s'expliquer par l'importance des activités anthropiques (cultures maraîchères, fertilisation et irrigation, etc.) et les apports des eaux usées à proximité des lacs. Ces activités sont à l'origine d'une forte présence de ces molécules dans le système lacustre de Yamoussoukro. Les substances humiques d'origine terrestre (pics A et C), répandues dans les eaux naturelles, proviennent essentiellement du lessivage des sols servant à l'agriculture contenant des engrais organiques (fientes de volailles, déchets des élevages bovin et porcin) et chimique (Thurman, 1985), de la décomposition des végétaux, des rejets urbains domestiques. Le point II, composé des lacs 2, 3 et 4 envahis de manière croissante par le phytoplancton, est le seul où l'on observe la présence de pics protéiniques témoin de la MOD autochtone produite *in situ* (Aw, 2009). Ces pics pourraient caractériser les MO provenant des exsudats phytoplanctoniques selon (Stedmon *et al*, 2005). Les pics protéiniques SR et BT (Luciani, 2007), représentant la MOD autochtone et proches de la tyrosine γ selon (Parlanti *et al*, 2000), traduisent les phénomènes de dégradation

de la MO d'origine autochtone phytoplanctonique. Ce type de composant serait produit suite à l'activité biologique du phytoplancton ou à l'activité de dégradation bactérienne (Vacher, 2004). En saison pluvieuse, les pics de substances humiques (A, C et M) sont observés dans tous les quatre points de lacs. Ils sont transportés par ruissellement des eaux de pluies depuis le bassin versant pour se retrouver dans les lacs. Le faible ensoleillement pendant la saison des pluies empêcherait le développement des macrophytes et donc induirait un fort développement phytoplanctonique probablement à l'origine de la présence de molécules protéiniques (tyrosine et/ou tryptophane) dans les points II, III et IV. Les saisons ne semblent pas impacter le point I (lacs 1 et 10). La MOD observée dans ces lacs est représentée par les substances humiques. Ces dernières proviennent des apports anthropiques qui se retrouvent dans les lacs par irrigation des cultures voisines en saison sèche et par le ruissellement des eaux de pluies en saison pluvieuse. La saison ne représente pas une barrière à la présence des substances humiques. Pour le point II, les saisons ont une influence presque inexistante sur la variation des composants de la MOD dans ce point de lacs. La MOD des troisième et quatrième points de lacs enregistre en saison des pluies des composants protéiniques (la tyrosine et tryptophane) en plus des pics de substances humiques déjà observés pour ce même point en saison sèche. L'explication la plus plausible à la présence de ces nouveaux composants pourrait être le faible ensoleillement pendant la saison des pluies qui empêcherait le développement des macrophytes et donc induirait un fort développement phytoplanctonique probablement à l'origine de la présence de molécules protéiniques. L'arrivée de la portion autochtone de la MOD dans ce point de lacs en saison pluvieuse indique que ces lacs (8 et 9 pour le point III et 5 et 6 pour le point IV) connaissent des processus différents (exsudats phytoplanctonique et dégradation bactérienne) avec l'arrivée des pluies.

CONCLUSION

Le modèle PARAFAC est un outil qui permet la caractérisation de la MOD dans les environnements aquatiques et la mise en place de plans de circonscription de la pollution organique. Nous avons dans ces travaux, montré l'applicabilité de cette méthode pour la gestion de la qualité des eaux. Si l'analyse globale des données a permis d'observer cinq différents composants dont deux substances humiques, deux protéines et un composant inconnu. L'étude de la variabilité spatio-temporelle de ces composants a permis de voir que les saisons ainsi que les lieux abritant les lacs impactent la composition de la MOD dans ces eaux. En effet, en saison pluvieuse l'on retrouve des

composants protéiniques dans des points où ils n'existaient pas en saison sèche. L'analyse PARAFAC des MEEF laisse entrevoir de vraies perspectives dans les études environnementales en zone tropicale (Côte d'Ivoire).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AW S. Etudes physico-chimiques et microbiologiques d'un système lacustre tropical: cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat en Microbiologie et Chimie de l'Eau, Université de Poitiers, 2009, 185 p.
- AW S., N'GORAN Z.E.B., SIAKA S. et PARINET B. Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical: cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *J. Appli. Biosci.* 2011, 38, 2573-2585.
- BRO R. PARAFAC: Tutorial and applications. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 1997, 38, 149-171.
- BURDIGE D.J., KLINE S.W. et CHEN W. Fluorescence dissolved organic matter in marine sediment pore waters. *Mar. Chem.* 2004, 89, 289-311.
- CHEN R.F., BADA J.L. et SUZUKI Y. The relationship between dissolved organic carbon (DOC) and fluorescence in anoxic marine pore waters: implications for estimating benthic DOC fluxes. *Geochim. Cosmochim.* 1993, 57, 2149-2153.
- COBLE P.G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Mar. Chem.* 1996, 51, 325-346.
- HENDERSON R.K., BAKER A., MURPHY K.R., HAMBLY A., STUETZ R.M. et KHAN S.J. Fluorescence as a potential monitoring tool for recycled water systems: a review. *Water Res.* 2009, 43, 863-881.
- HOLBROOK R.D., YEN J.H. et GRIZZARD T.J. Characterizing natural organic material from the Occoquan Watershed (Northern Virginia, US) using fluorescence spectroscopy and PARAFAC. *Sci. Total Environ.* 2006, 361, 249-266.
- HUDSON N., BAKER A. et REYNOLDS D. Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted waters-a review. *River Res. Appl.* 2007, 23 (6): 631-649.
- HUGUET A. Mise au point de procédés membranaires pour l'étude de la matière organique dissoute en milieux côtiers. Thèse de Doctorat en Chimie Analytique et Environnement, Université de Bordeaux 1, 2007, 321 p.
- ISHII S. et BOYER T. Behaviour of reoccurring PARAFAC components in fluorescent dissolved organic matter in natural and engineered systems: a critical review. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 2006-2017.

Etude de la matière organique dissoute fluorescente (MODF) des lacs de Yamoussoukro (côte d'ivoire) par l'utilisation du parallel factors analysis (PARAFAC)

- LABANOWSKI J. Matière organique naturelle et anthropique: vers une meilleure compréhension de sa réactivité et de sa caractérisation. Thèse en Chimie et Microbiologie de l'Eau, Université de Limoges, 2004, 209 p
- LOUIS Y. Mise au point d'une systématique de caractérisation des interactions matière organique naturelle dissoute (MOND)-contaminants métalliques. Thèse de Doctorat en Chimie de l'environnement, Université du Sud Toulon-Var, 2008, 214 p.
- LUCIANI X. Analyse numérique des spectres de fluorescence 3D issus de mélanges non linéaires. Thèse de Doctorat en Science et Techniques, Université du Sud Toulon Var, 2007, 174 p.
- MARKAGER S. et VINCENT W.F. Spectral light attenuation and the absorption of UV and blue light in natural waters. *Limnol. Oceanogr.* 2000, 45 (3), 642-650.
- MORRIS D.P., ZAGARESE H., WILLIAMSON C.E., BALSEIRO E.G., HARGREAVES B.R., MODENUTTI B., MOELLER R. et QUEIMALINOS C. The attenuation of solar UV radiation in lakes and the role of dissolved organic carbon. *Limnol. Oceanogr.* 1995, 40 (8), 1381-1391.
- OGOULA O.A.H. Utilisation de PARAFAC pour l'étude de la variabilité de la Matière Organique Naturelle Fluorescente (MONF) en environnement. Rapport de Master 1 CHARME, Université du Sud Toulon Var, 2010, 30 p.
- PARLANTI E., WÖRZ K., GEOFFROY L. et LAMOTTE M. Dissolved organic matter fluorescence spectroscopy as a tool to estimate biological activity in a coastal zone submitted to anthropogenic inputs. *Org. Geochem.* 2000, 31, 1765-1781.
- PERNET-COUDRIER B. Influence de la matière organique dissoute sur la spéciation et la biodisponibilité des métaux: cas de la Seine, un milieu sous forte pression urbaine. Thèse de Doctorat en Univers et Environnement, Université Paris-Est, 2008, 278 p.
- SENESI N. Organic substances in soil and water: natural constituents and their influences on contaminant behaviour. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1993, 74 p.
- SIERRA M.M.D., DONARD O.F.X., ETCHEBER H., SORIANO-SIERRA E.J. et EWALD M. Fluorescence and DOC contents of pore waters from coastal and deep-sea sediments in the Gulf of Biscay. *Org. Geochem.* 2001, 32, 1319-1328.
- SKOOG A., HALL O.J., HULTH S., PAXEUS N., VAN DER LOEFF M.R. et WESTERLUND S. Early diagenetic production and sediment- water exchange of fluorescent dissolved organic matter in the coastal environment. *Geochim. Cosmochim.* 1996, 60, 3619-3629.
- STEDMON C.A. et BRO R. Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel factor analysis: a tutorial. *Limnol. Oceanogr.* 2008, 6, 572-579.

- STEDMON C.A. et MARKAGER S. Resolving the variability in dissolved organic matter fluorescence in a temperate estuary and its catchment using PARAFAC analysis. *Limnol. Oceanogr.* 2005, 50 (2): 686-697.
- STEDMON C.A. et MARKAGER S. Tracing the production and degradation of autochthonous fractions of dissolved organic matter by fluorescence analysis. *Limnol. Oceanogr.* 2005, 50, 1415-1426.
- STEDMON C.A., MARKAGER S. et BRO R. Tracing dissolved organic matter in aquatic environments using a new approach to fluorescence spectroscopy. *Mar. Chem.* 2003, 82, 239-254.
- THURMAN E.M. *Organic geochemistry of natural waters.* Kluwer Academic, Boston, 1985, 516 p.
- VACHER L. *Etude par fluorescence des propriétés de la matière organique dissoute dans les systèmes estuariens. Cas des estuaires de la Gironde et de la Seine.* Thèse de Doctorat en Chimie Analytique et Environnement, Université Bordeaux 1, 2004, 255 p.
- WANG Z., LIU W., ZHAO N., LI H., ZHANG Y., SI-MA W. et LIU J. Composition analysis of colored dissolved organic matter in Taihu Lake based on three dimension excitation-emission fluorescence matrix and PARAFAC model, and the potential application in water quality monitoring. *J. Environ. Sci.* 2007, 19, 787-791.
- ZHAO H. *Analyse de la matière organique et ses propriétés dans l'environnement naturel en spectroscopie de fluorescence 3D traitée par PARAFAC.* Thèse de Doctorat en Chimie de l'Environnement, Université du sud Toulon-Var, 2011, 185p.