

Typologie de la matière organique des sédiments superficiels de certains lacs du système lacustre de Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

**Koffi Amoulaye KOUAKOU^{1,2*}, Sadat AW¹, Sorho SIAKA¹, Hugues AHIENTIO³
et Issiaka SAVANE²**

¹ *Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse, de l'Environnement et des Énergies Nouvelles, BP 991 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*

² *Université Nangui Abrogoua, Laboratoire des Sciences de l'Environnement, UFR-Sciences et Gestion de l'Environnement, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

³ *Société Nationale d'Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire, Département Géochimie, Laboratoire d'Analyse des huiles et gaz, BPV 194 Abidjan, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : kouakou.amoulaye@univ-man.edu.ci

Résumé

Le système lacustre de Yamoussoukro est un environnement aquatique confiné soumis à une pression anthropique directe exercée par un environnement urbain. L'étude de la typologie de la matière organique (MO) dans les sédiments de surface de certains lacs de ce système lacustre a été entreprise pour évaluer l'impact de la pression directe de l'environnement urbain sur le système lacustre. La détermination du carbone organique total (COT) a été faite par oxydation du carbone total grâce à un mélange dichromate de potassium et d'acide sulfurique. Les teneurs potentielles et libres en hydrocarbures (S1 et S2), les taux d'humines, d'acide humiques et fulviques et la composition en lipides directement extractibles ont permis de mettre en évidence le fait que les composés organiques reflètent toutes les activités urbaines qui entourent le système lacustre. Avec un taux de (COT) allant de 4,3 % à 21,71 %, tous les sédiments semblent être dans un état anoxique avec un taux exceptionnel de conservation de la matière organique. Les MO sont principalement composées d'hydrocarbures de pétrole, de phtalates et de phénols. Elles proviennent probablement de matériaux polymères ou d'eau de toilette et d'eaux de lessive.

Mots-clés : *matière organique, sédiments lacustres, Rock-Eval, lipides.*

Abstract

Typology of organic matter in superficial sediments of four lakes in Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Yamoussoukro's lake system is a confined aquatic environment under direct pressure of an urban environment. The study of the typology of organic matter in surface sediments of four lakes of this lake system has been undertaken to appreciate impact of the direct pressure of urban environment. Potential and free hydrocarbon contents (S1 and S2), the levels of humine, humic and fulvic acids and the composition of directly extractable lipids allowed to highlight that organic compounds reflect the entire urban activities surrounding lake system. With a TOC ranging from 4.3 % to 21.71 %, all the sediments seem to be in anoxic state with an exceptional rate of conservation of organic matter. The organic matter is principally composed

by hydrocarbon with petroleum origin, phthalates and phenols probably from polymers materials or washed water from care system, hopanes, and Fatty acids as constituents of bacteria and algae. In the coming years, the anoxia state of sediment could be accentuated because of the very limited reactivity of organic matter from anthropogenic sources as phthalates and phenolic compounds found in sediments.

Keywords : *MO, sediment, Rock-Eval, lipids.*

1. Introduction

Les sédiments des environnements aquatiques sont souvent constitués d'un mélange complexe de substances minérales et organiques que sont les bio-polymères et monomères d'origines végétale et microbienne et les géo-polymères [1]. Sur la base de composés spécifiques appelés « marqueurs » l'histoire du cours d'eau et l'origine des composés peuvent être établies. La matière organique qui est généralement dégradée dans la colonne d'eau peut être séquestrée en des proportions plus ou moins importantes (10 à 60 %) dans les sédiments superficiels du cours d'eau [2] où elle est soumise à d'autres transformations chimiques et biologiques. Selon Jia et al. 2013, à l'issue de toutes ces transformations, la fraction la plus stable sera enfouie [3]. En fonction des caractéristiques physico-chimiques du sédiment, le stock organique peut contenir une fraction lipidique dite "libre" extractible par solvant organique pouvant atteindre 10% du carbone organique total [4]. L'étude quantitative et qualitative de la matière organique revêt donc un intérêt particulier puisqu'elle permet de recueillir des renseignements précieux sur le degré d'évolution de la matière organique et de préciser les processus diagénétiques qu'elle subit après son dépôt [5]. Par ailleurs, au-delà d'être le siège des marqueurs biologiques la fraction lipidique permet de rattacher le matériel organique à son origine anthropogénique ou biogénique [6]. Elle peut également fournir des indications sur les conditions bio-physico-chimiques régnant dans le milieu de dépôt et sur le degré de dégradation de la matière organique [7]. En effet, malgré la complexité des hydrocarbures aliphatiques des sédiments des environnements aquatiques, les techniques analytiques modernes permettent de distinguer les différentes sources d'apports [8] et de détecter ainsi les sources de pollution. Or, le système lacustre de Yamoussoukro qui comprend 10 lacs présente l'avantage peu commun d'être alimentés par les mêmes eaux [9]. Ces lacs se localisent dans une zone géographique restreinte et possèdent des caractères géologiques et climatiques identiques [10]. En fonction de leur localisation géographique, ils sont soumis à l'influence d'activités agricoles et/ou urbaines différentes, entraînant des caractéristiques trophiques différentes pour ces eaux [11]. Des études menées sur les lacs de Yamoussoukro ont permis d'avoir une idée sur la qualité physico-chimique de la colonne d'eau et le phénomène d'eutrophisation du plan d'eau [9]. Dans nos travaux antérieurs, nous avons caractérisé les sédiments de quatre lacs censés refléter la situation générale de l'ensemble des lacs du système lacustre de la ville de Yamoussoukro et qui avaient conclu à des teneurs élevées de matières organiques [12]. Le présent travail est consacré à l'étude de la matière organique desdits sédiments et notamment des lipides directement extractibles.

2. Matériel et méthodes

Le système lacustre de Yamoussoukro décrit par plusieurs études antérieures se compose d'un ensemble de lacs évoluant sous le contrôle direct d'un milieu urbain qui l'affecte à différents degrés. Il se présente sous la forme d'un « Y » et traverse la ville de Yamoussoukro dans le sens nord-est-sud-ouest. Prévu initialement pour l'embellissement et l'agrément de la ville, ce système lacustre est aujourd'hui le réceptacle des déchets liquides et solides de tout genre et son bassin versant le siège de toutes sortes d'activités génératrices de polluants divers.

2-1. Description et activités anthropiques

Pour une meilleure compréhension des résultats de l'étude, il nous est paru nécessaire de rappeler les activités caractéristiques des bassins versants des lacs. Le **Tableau 1** résume bien l'ensemble des activités.

Tableau 1 : Récapitulatif des activités anthropiques des bassins versants des lacs

Lac	Description et activités anthropiques
Médico-Scolaire (MS)	Culture maraîchère utilisant des engrais (chimique ou fiente d'élevage). Lac envahi par des végétaux aquatiques (macrophytes), soumis aux apports anthropiques d'une zone densément peuplée et recevant les eaux usées du plus grand centre médico-scolaire de la ville.
Fanon (F)	Situé en zone moyennement habitée, bordé par des complexes hôteliers.
Rue des Maquis (RM)	Concentration sur les bordures d'activités touristiques (restaurants, gares routières, hôtels) dont il reçoit les eaux usées. Envahissement partiel par des végétaux aquatiques.
Centre Hospitalier Régional (CHR)	Plus grand lac du système lacustre, recevant les eaux provenant des deux branches du système. Couvert de végétaux aquatiques à plusieurs endroits. Présence des laveurs de linge et de véhicules utilisant des produits de lessive. Reçoit les eaux usées du centre hospitalier régional.

2-2. Échantillonnage

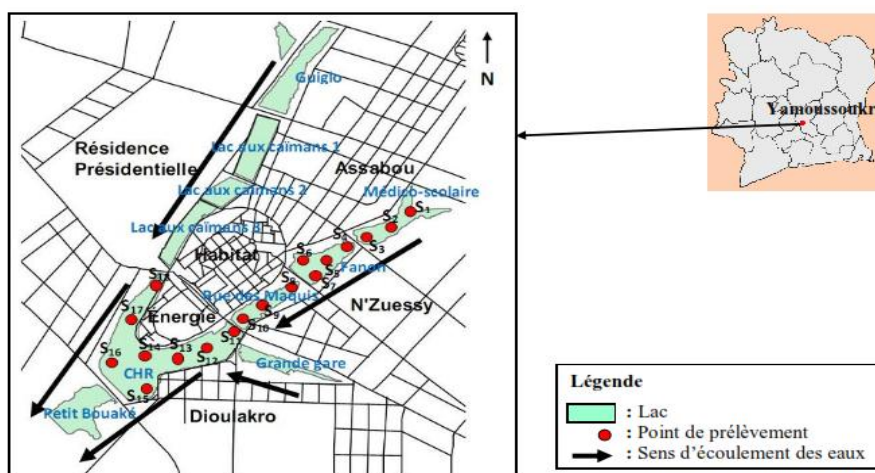


Figure 1 : Zone d'étude et points de prélèvements

La **Figure 1** donne un aperçu du système lacustre de Yamoussoukro ainsi que les lacs étudiés. Trois campagnes de prélèvement ont été réalisées (juillet 2010, septembre 2010 et janvier 2011). Dix-huit points d'échantillonnage, répartis sur le bras droit du système lacustre ont été retenus (**Figure 1**). A l'aide d'un carottier, un échantillon de sédiments de 15 x 5 cm a été prélevé à une profondeur de 30 cm par piquage vertical. Les échantillons d'un même lac (3, 4 ou 8 échantillons selon la superficie du lac), séchés dans une salle à température ambiante ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) pendant 5 jours. Chaque échantillon a été homogénéisé pour analyses.

2-3. Pyrolyse Rock-Eval (6)

L'analyse quantitative et qualitative des composés organiques libérés par la pyrolyse de la matière organique contenue dans 100 mg de sédiment (fraction fine) sous atmosphère inerte (Azote). Le dosage de la matière organique a été fait selon deux techniques complémentaires : le dosage du COT avec extrapolation

du résultat en matière organique et par la pyrolyse Rock-Eval (6) [13]. Cette version (pyrolyse Rock-Eval (6)) présente un programme de température de pyrolyse qui va de 100°C à 850°C. Cela permet d'analyser les hydrocarbures légers, les huiles lourdes et le kérogène type III (plantes supérieures), ainsi que le carbone minéral. Quatre cycles de pyrolyse ont été programmés selon les besoins. Chaque cycle d'analyse comprend 02 phases : une phase de pyrolyse et une phase d'oxydation.

A. La phase de pyrolyse comprend 03 étapes :

- La purge du four et le préchauffage ;
- La volatilisation des HC libres (Pic S1) ;
- La pyrolyse proprement dite.

B. La phase d'oxydation

Le chauffage du four à oxydation à 300°C commence avec l'étape de la pyrolyse proprement dite. Une fois que les pic S3 sont enregistrés, l'échantillon est introduit dans le four d'oxydation à travers un passeur automatique, et il subit une combustion sous air artificiel. La température varie de 300°C à 850°C avec la détection des pics.

2-4. Dosage du carbone organique total (COT)

Le dosage du carbone a été réalisé par la méthode titrimétrique [14] qui consiste en une oxydation du carbone organique par un mélange de dichromate de potassium (Cr_2K , 0,1 mol/L) et d'acide sulfurique (H_2SO_4 , 0,1 mol/L). L'excès de dichromate a été titré par une solution de sel de Mohr. La teneur en carbone organique total du sédiment est donnée par la **Relation** :

$$\%C = \frac{(V_t - V_{éch}) \times 0,4}{m_{éch}} \quad (1)$$

La teneur en matière organique est par la suite déterminée par la multiplication du pourcentage de carbone total par le facteur 1,72 selon [14].

2-5. Extraction des lipids

L'extraction des composés lipidiques contenus dans les sédiments est réalisée à l'aide de chloroforme (CHCl_3) de pureté analytique. Il s'agit d'une extraction au soxhlet de sédiments globaux par lac. Nous avons utilisé la méthode mise en œuvre par MacCarthy R et Duthie en 1962.

2-6. Étude des composés organiques des lipides par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse (GC-MS)

La fraction neutre des lipides directement extractibles a fait l'objet de cette étude. A cet effet, un chromatographe de type Carlo-Erba "5880 series gas chromatograph", équipé d'une colonne capillaire en programmation de température du four de 80°C à 300°C à raison de 5°C/min a été utilisé.

3. Résultats et discussion

3-1. Carbone Organique Total (COT)

Les teneurs en carbone organique total des sédiments de surface des lacs étudiés varient entre 4,31 et 21,71 %. L'examen de la répartition spatiale du COT à travers les lacs nous permet de constater que ces teneurs évoluent

globalement en fonction du sens d'écoulement, mais aussi en fonction des activités qui ont lieu sur le bassin versant contigu au lac. Les sédiments des lacs CHR et Médico-scolaire ont les plus fortes teneurs en COT avec respectivement 21,71 % et 14,47 %. Ceci reflète à la fois la diversité des sources de carbone (réf. **Tableau 1**) ainsi que les conditions relativement réductrices du milieu, favorisées par l'existence de végétaux aquatiques sur les plans d'eaux. Par ailleurs, le lac CHR est le réceptacle du système lacustre [1]. Les sédiments des lacs Fanon et RM contiennent les plus faibles teneurs en COT soit respectivement 4,31 % et 4,32 %. De telles teneurs pourraient s'expliquer, malgré la présence d'hôtels sur les rives, par l'absence de rejet direct des ordures et eaux usées dans ces lacs. En effet, les sites touristiques et notamment les hôtels ont obligation de gérer leurs eaux usées via des systèmes d'assainissement individuels. Au-delà, ces importantes valeurs pourraient être le fait d'un drainage, en temps pluvieux, de déchets divers provenant de décharges sauvages sur les rives de ces lacs ainsi que des eaux usées domestiques provenant des quartiers populaires des bassins versants où les populations ont l'habitude de drainer simplement leurs eaux usées hors des domaines. Les teneurs en COT traduisent généralement une situation de conservation de la matière organique qui pourrait traduire un état anoxie des sédiments [15].

3-2. Composition de la matière organique des sédiments

Les formes de la matière organique dans un sol ou un sédiment permettent d'apprécier son rôle dans la matrice. Le **Tableau 2** présente la répartition des différentes formes de matière organique dans les sédiments des lacs étudiés. La matière organique des sédiments a des distributions variées d'un lac à l'autre. Cependant, l'acide fulvique apparaît comme la forme la plus abondante dans tous les sédiments des lacs. L'humine est la deuxième forme de matière organique des sédiments qui a un pourcentage élevé dans tous les lacs. Par ailleurs, les lipides directement extractibles sont relativement plus abondants dans ces sédiments que les acides humiques. Cette distribution des formes de la matière organique des sédiments est largement différente de celle généralement observée dans les sols où l'humine est souvent la forme la plus abondante suivie des acides humiques et fulviques et des lipides qui sont généralement en très faibles quantités [16]. Cette situation pourrait être le reflet d'un apport continu en substances organiques en relation avec les activités anthropiques qui se déroulent sur le bassin versant des lacs [1], mais aussi liée à une préservation exceptionnelle de cette dernière à travers la colonne d'eau comme le confirme l'étude de [17]. Pour mieux conclure sur cette hypothèse, nous avons réalisé une étude des échantillons de sédiments à l'aide du Rock-Eval.

Tableau 2 : Répartition relative des différentes formes de la matière organique

Composante M.O. / Lac	Lipides (%)	Acides Fulviques (%)	Acides Humiques (%)	Humine (%)
CHR	15	56	3	26
RM	6	58	6	30
Fanon	4	47	6	43
MS	5	60	8	27

3-3. Pyrolyse Rock-Eval

Il ressort des résultats de la pyrolyse que l'ensemble des sédiments des lacs Fanon, RM et Médico-Scolaire ont des teneurs moyennes en composés hydrocarbonés totaux (libres (S1) et potentiels (S2)) inférieures à 5 mg/g de sédiment. Seuls ceux du lac CHR ont des teneurs d'hydrocarbonés totaux

(libres (S1) et potentiels (S2)) supérieures à 5 mg/g de sédiment. Les teneurs moyennes en fractions libres d'hydrocarbures des sédiments sont assez faibles pour l'ensemble des lacs. Cela traduit une faible évolution de l'état de la matière organique de départ, probablement liée uniquement à une dégradation de celle-ci par les microorganismes du milieu. Par ailleurs, le fait que la teneur en hydrocarbure libre et potentiel soit inférieure à 5 mg/g de sédiment pourrait indiquer que la matière organique n'est pas en état de maturité avancée de type kérogène. Cela fonde donc l'hypothèse d'une accumulation successive et excessive des matières organiques traduite ici par des quantités importantes de fractions lipidiques et de faibles quantités d'humine. Afin de juger de l'origine de ces hydrocarbures, une courbe de corrélation S1 en fonction de S2 a été établie. La **Figure 2** donne un aperçu des données issues du Rock-Eval.

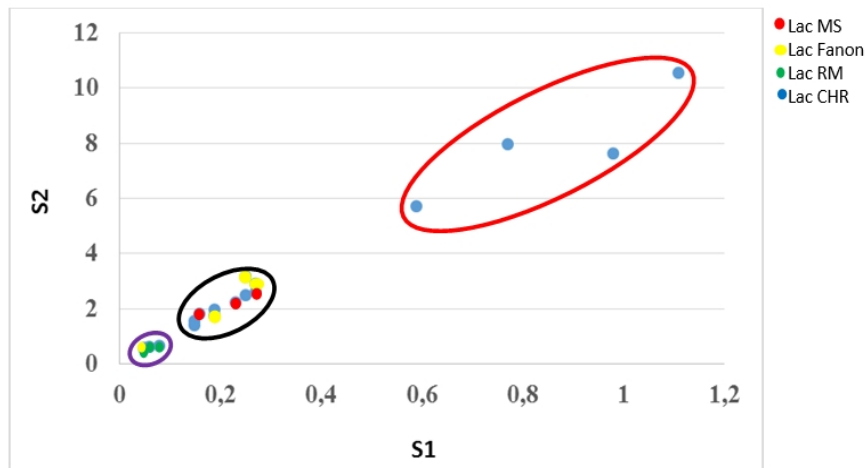


Figure 2 : Classification des sédiments des lacs en fonction de corrélation S1 et S2

De cette courbe de corrélation, il ressort que les hydrocarbures des différentes stations de prélèvement peuvent être classés en trois lots indépendamment des lacs. Les lots 1 et 2 présentent les teneurs les plus faibles en S1 et S2 avec une bonne corrélation entre S1 et S2 (respectivement de 0,89 et de 0,88). Cela permet de souligner l'origine unitaire de ces hydrocarbures. Par contre, quatre stations du lac CHR constituent un troisième lot dont le coefficient de corrélation entre S1 et S2 est de 0,7. Cela traduit une hétérogénéité de la source des composés hydrocarbonés présents dans les sédiments. Elle pourrait s'expliquer par le fait qu'une part des composés hydrocarbonés libres n'est pas héritée de la biomasse originelle, mais provient d'une source anthropique [1]. Relativement à l'origine et au degré de maturité de la matière organique des sédiments, l'on se sert des courbes de corrélation entre la température maximale de chauffe et l'indice d'hydrogène [18]. La **Figure 3** présente le diagramme de l'index d'hydrogène (IH) en fonction de la température (T-max.).

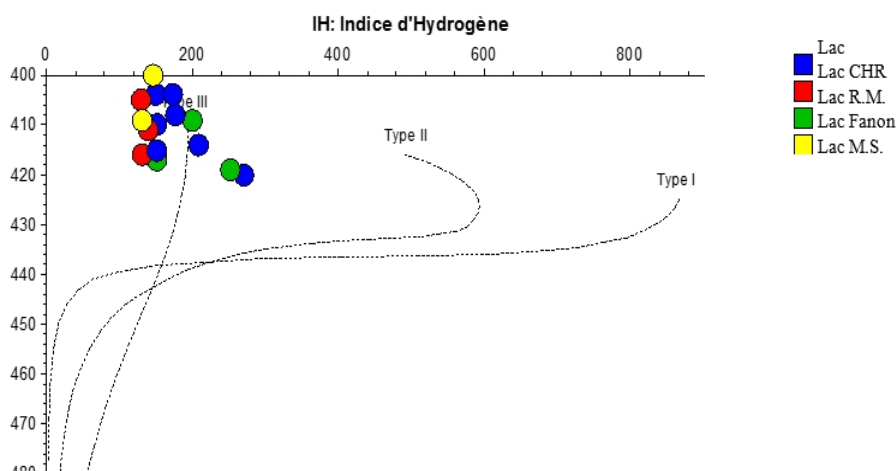


Figure 3 : *Diagramme HI/T-max (°C)*

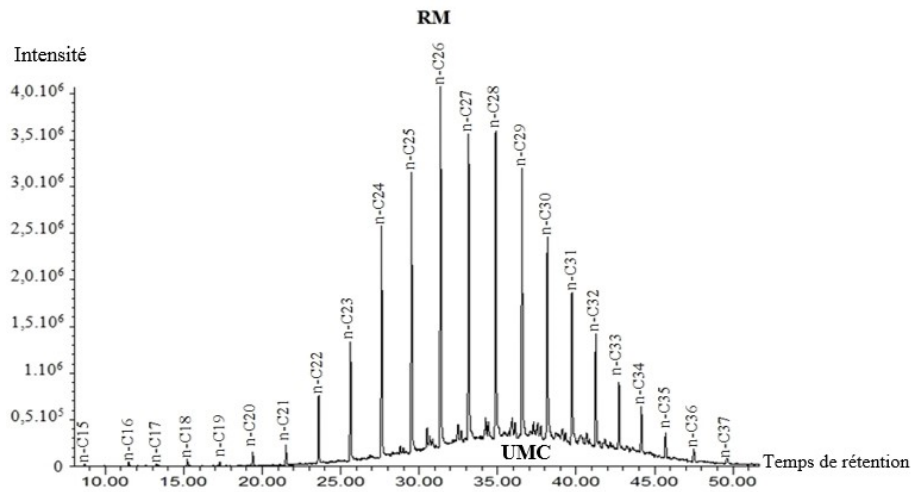
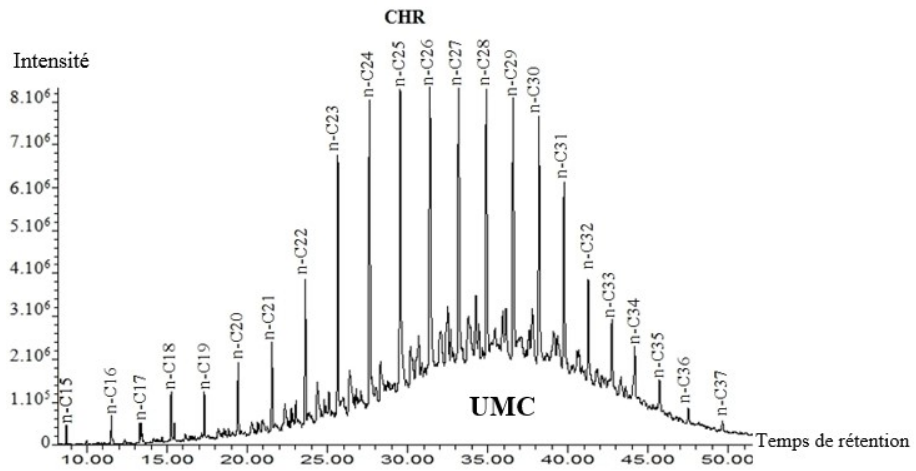
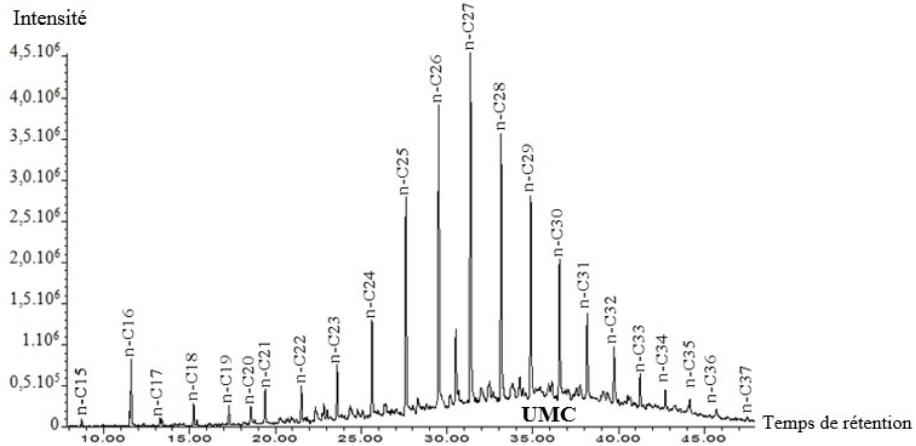
avec, *Type I* : matière organique d'origine bactérienne et algale (algues planctoniques), souvent très riche en lipides (acides gras, huiles, etc.) ; *Type II* : matière organique d'origine marine issue du phytoplancton, zooplancton et d'autres organismes marins ; *Type III* : matière organique d'origine terrestre, issue des plantes supérieures.

D'après cette **Figure 3**, la matière organique des différents échantillons de sédiments est principalement de type III (terrestre). Cela indique que la matière organique des sédiments de tous les lacs est d'origine continentale. Par ailleurs, sur la base de l'indice d'hydrogène, la matière organique des sédiments du système lacustre de Yamoussoukro est moins oxydée. Ces résultats sont largement différents de ceux rapportés par certains auteurs sur la matière organique des sédiments du lac Sud de Tunis situé en milieu urbain (plus oxydé avec des valeurs allant jusqu'à 10,39 %) [1]. Avec des Tmax largement inférieures à 420°C on peut dire que la matière organique des échantillons analysés est au stade de diagenèse précoce. Cela est certainement la raison pour laquelle la fraction lipidique directement extractible de la matière organique de ces sédiments est très importante relativement à celle des sols. Les détails en termes de composés extraits sous forme de lipides permettent d'élucider cette hypothèse.

3-4. Étude des composés organiques des lipides par GC-MS

3-4-1. Hydrocarbures aliphatiques

Selon la littérature, dans les spectres GC des lipides des sols, les hydrocarbures aliphatiques présentent des distributions variées en fonction de leur origine[19]. Ainsi, les alcanes des végétaux supérieurs sont majoritairement impairs et généralement dominés par les membres en C27 à C33 [20]. Les hydrocarbures bactériens comportent généralement 13 à 31 atomes de carbone et ne présentent pas de parité marquée [16]. Dans notre cas l'on détecte des hydrocarbures avec des chaînes carbonées contenant 15 à 37 atomes (**Figure 4**). Par ailleurs, l'on observe d'importants UCM (Unresolved Complex Mixture) [21] caractérisés par des bosses s'étendant entre C17 et C37 avec un maximum entre C23-C31. Ces éléments permettent d'envisager la présence d'hydrocarbures de type pétrolier ou provenant d'additifs de lubrifiants[22]. Plus la bosse est importante plus l'hydrocarbure pétrolier est biodégradé.



Fanon

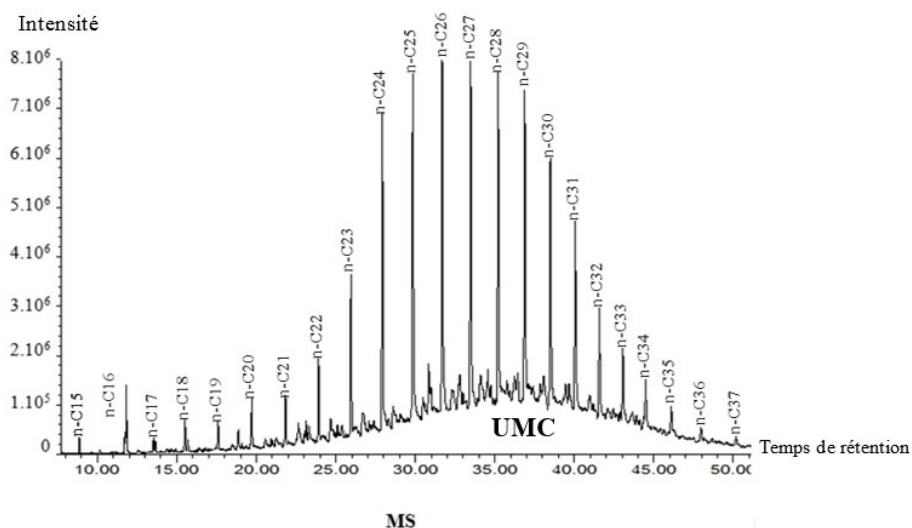
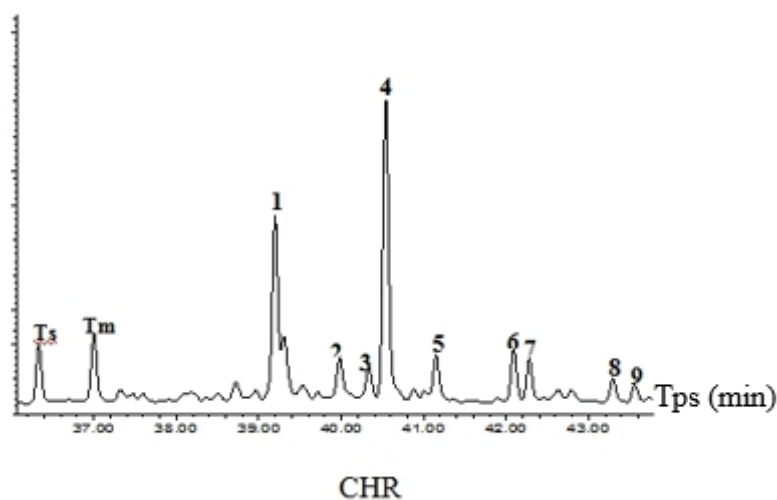


Figure 4 : Chromatogrammes des hydrocarbures des sédiments par lacs

Le mode de distribution observé sur l'ensemble des chromatogrammes pourrait être aussi caractéristique d'hydrocarbures d'origine continentale provenant de végétaux supérieurs [6, 23]. Dans les sédiments des lacs, cette présence pourrait se justifier par le drainage des ordures provenant de décharges sauvages qui reçoivent aussi des végétaux supérieurs à l'issue des travaux d'aménagement divers.

3-4-2. Hopanes

Les hopanes, bien qu'ayant été identifiés dans certains végétaux comme les fougères, sont essentiellement d'origine bactérienne. Ils sont en effet largement représentés dans les organismes procaryotes où ils jouent un rôle important de renforçateurs membranaires [24]. La mise en évidence de leur présence dans la matière organique des sédiments permettrait de consolider l'origine mixte de celle-ci. En GC/MS, les hydrocarbures hopanoïques sont identifiés par leurs temps de rétention relatifs, leurs spectres de masse et en particulier par les ions caractéristiques $m/z = 191$ et $m/z = 149 + n14$ ($n =$ nombre de carbones de la chaîne latérale). Les spectres GC/MS de la **Figure 5** présentent les distributions de composés hopanoïques trouvés dans les sédiments des lacs.



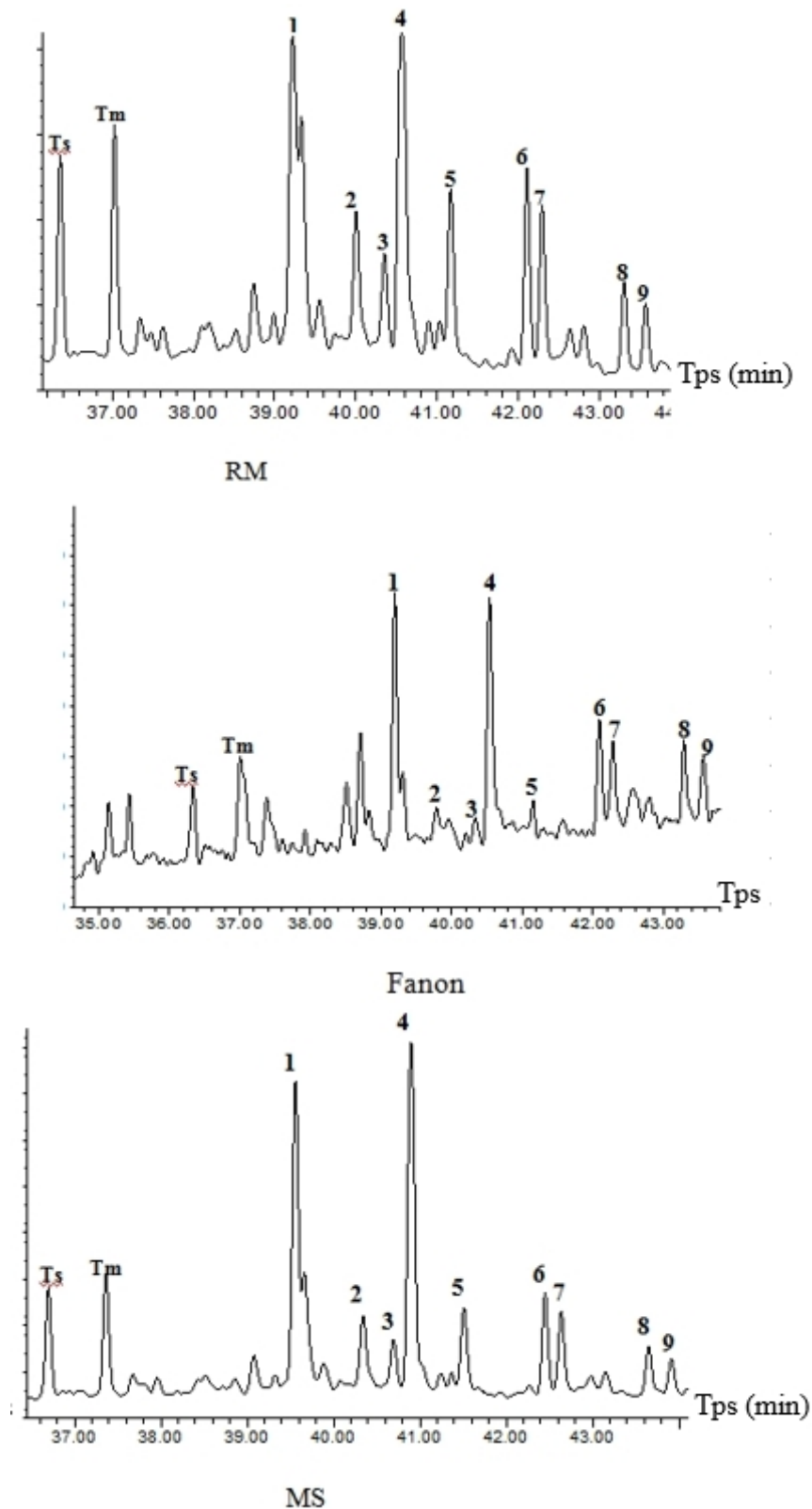


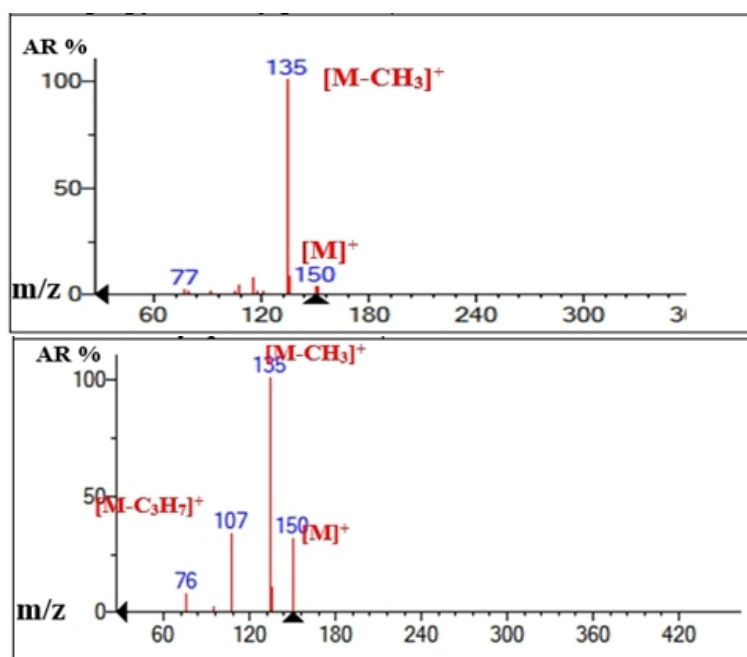
Figure 5 : Spectres GC/MS des composés hopanoïques des sédiments des lacs ($m/z = 191$)

Il ressort que dans les sédiments de chaque lac il y a des hopanes ayant de 27 à 35 atomes de carbones. A l'aide de la base de données disponible et des temps de retentions relatifs nous avons identifié le 18 α (H),22,29,30-trisnorhopane (Ts) et le 17 α (H),22,29,30-trisnorhopane (Tm) dans tous les sédiments des

lacs. D'après certaines études ces deux hopanes proviendraient d'une pollution aux hydrocarbures pétroliers et de la maturité de la matière organique tout comme l'avaient également observé dans des sédiments contaminés par des hydrocarbures pétroliers [25]. Par ailleurs, les composés 17 α (H)-norhopane (pic 1), 18 α (H)-norneohopane (pic 2), 17 α (H)-diahopane (pic 3), 17 α (H)-hopane (pic 4), 17 β (H)-moretane (pic 5), 17 α (H),22S-homohopane (pic 6), 17 α (H),22R-homohopane (pic 7), 17 α (H),22S-dihomohopane (pic 8) et 17 α (H),22R-dihomohopane (pic 9) ont été identifiés. Leur présence pourrait être liée à l'importante communauté bactérienne qui peuple ces lacs en rapport avec la qualité des eaux [9]. Ces résultats confirment donc que la matière organique des sédiments des lacs de Yamoussoukro a plusieurs origines.

3-4-3. Phénol

Fortement toxique, le phénol est connu pour sa persistance et son aptitude à la bioaccumulation. Par filtrage des pics moléculaires spécifiques $m/z = 135$, des composés phénoliques ont été identifiés. La caractérisation des composés s'est faite à l'aide des spectres de masse (**Figure 6**). Les principaux composés phénoliques identifiés sont respectivement : le 2-Isopropyl-5-méthylphénol, le méta-tertbutylphénol, le p-tert-butylphénol, le 2-(1,1-diméthyléthyl) Phénol et le p-nonylphénol. Ils semblent être les produits de dégradation de substances telles que les polyéthoxylates d'alkylphénols (APE) qui, au cours du processus de biodégradation conduisent à la formation de dérivés tels que l'octylphénol (OP), le butylphénol (BP), et le nonylphénol (NP) etc. [7]. Les polyéthoxylates d'alkylphénols (APE), largement utilisés comme agents tensioactifs non ioniques, antioxydants contenus dans les détergents, les pesticides, les herbicides, les peintures, les cosmétiques et articles en plastique [26] ils sont reconnus comme perturbateurs endocriniens environnementaux pour exercer une activité oestrogénique [27].



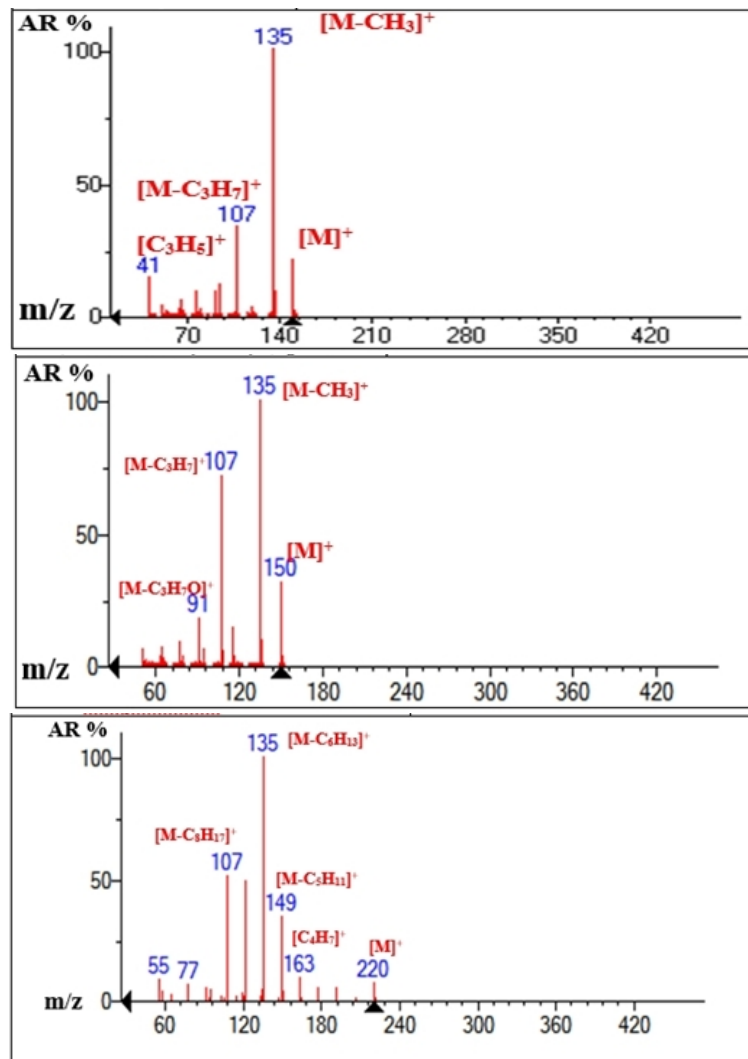


Figure 6 : Spectre de masse et molécule de phénol dans les lacs étudiés

3-4-4. Phtalates

Les phtalates sont spécifiques des emballages et peuvent donner une indication précise sur l'origine des substances allochtones des sédiments. Les investigations pour retrouver des phtalates et leurs dérivés dans les sédiments ont permis d'identifier que le diéthyl phtalate, le diiso phtalate, le n-butyle phtalate et le diisooctylphtalate (*Figure 7*). Les filières classiques responsables de telle pollution sont celles qui produisent les matières plastiques, les fibres synthétiques ainsi que les industries pharmaceutiques et les raffineries du pétrole. Dans notre cas, en l'absence d'industrie de telle nature, la présence de ces composés dans les sédiments peut être le résultat du déversement direct ou indirect de rejets divers contenant ces composés. Le système lacustre étant devenu le réceptacle naturel de l'ensemble des ordures de la ville de Yamoussoukro. Près de 30 composés différents de phtalate sont disponibles dans le commerce et ils sont généralement employés en produits de beauté, planchers, matériaux de construction, habillement, appareils médicaux, matériaux de contact de nourriture, encres et adhésifs [28]. Les sédiments des lacs CHR et MS contiennent le maximum de composés phtalates. Ce qui pourrait indiquer le lien entre la présence de ces composés et les rejets d'effluents hospitaliers. Les divers composés observés dans les sédiments persistent parfois longtemps et peuvent avoir des effets néfastes tant sur l'écosystème que sur la santé humaine.

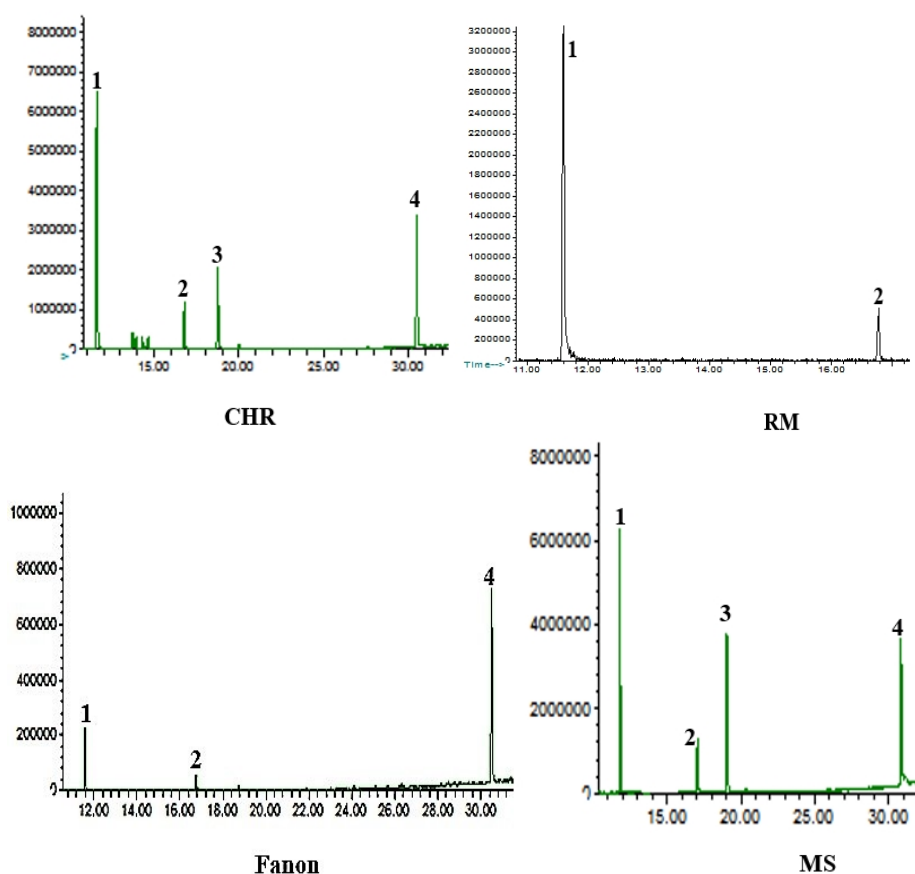


Figure 7 : *Chromatogrammes des phtalates des quatre lacs étudiés*

4. Conclusion

Les résultats montrent que les sédiments de surface des lacs étudiés ont des teneurs en carbone organique total (COT) qui varient de 4,31 % à 21,71 %. Le fractionnement de cette matière organique a permis d'obtenir, l'acide fulvique (avec une moyenne de 55,25 %) qui apparaît comme la forme la plus abondante dans tous les sédiments des lacs. L'humine est la deuxième forme de matière organique des sédiments qui a un pourcentage moyen de 31,5 dans tous les lacs. Par ailleurs, les lipides directement extractibles sont relativement plus abondants (7,5 %) dans ces sédiments que les acides humiques (5,75 %). L'analyse de la fraction lipidique par pyrolyse montre que l'ensemble des sédiments des lacs Fanon, RM et Médico-Scolaire ont des teneurs moyennes en composés hydrocarbonés totaux (libres (S1) et potentiels (S2)) inférieurs à 5 mg/g de sédiment. Seuls ceux du lac CHR ont des teneurs d'hydrocarbonés totaux (libres (S1) et potentiels (S2)) supérieures à 5 mg/g de sédiment. A l'aide de la base de données disponible et des temps de retentions relatifs nous avons identifié des hydrocarbures avec des chaînes carbonées contenant 15 à 37 atomes, des hopanes (le 18 α (H),22,29,30-trisnorhopane (Ts) et le 17 α (H),22,29,30-trisnorhopane (Tm)), des composés phénoliques identifiés respectivement : le 2-Isopropyl-5-méthylphénol, le méta-tertbutylphénol, le p-tert-butylphénol, le 2-(1,1-diméthyléthyl) Phénol et le p-nonylphénol et des phtalates ainsi que leurs dérivés dans les sédiments. L'analyse de la MO au Rock-Eval et l'étude détaillée des lipides directement extractibles ont permis de confirmer l'origine mixte des substances organiques des sédiments ainsi que la présence de polluants industriels.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'équipe du Département Géochimie, Laboratoire d'Analyse des huiles et gaz, Société Nationale d'Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire pour certaines analyses avec à sa tête monsieur Bakary FOFANA.

Références

- [1] - N. OUERTANI, R. HAMOUDA, H. BELAYOUNI, "Etude de la matière organique dans les sédiments superficiels d'un système aquatique confiné anoxique évoluant en milieu urbain : cas du Lac sud de Tunis", *Revue internationale de géologie, de géographie et d'écologie tropicales*, (30) (2006) 21 - 34
- [2] - A. KAPPLER, R. JI, B. SCHINK, A. BRUNE, "Dynamics in composition and size-class distribution of humic substances in profundal sediments of Lake Constance", *Organic Geochemistry*, 32 (2001) 10 - 33
- [3] - J. JIA, A. BECHTEL, Z. LIU, S. A. I. STROBL, P. SUN, R. F. SACHSENHOFER, "Oil shale formation in the Upper Cretaceous Nenjiang Formation of the Songliao Basin (NE China) : Implications from organic and inorganic geochemical analyses", *International Journal of Coal Geology*, (113) (2013) 11 - 26
- [4] - S. KRIBI, "Décomposition des matières organiques et stabilisation des métaux lourds dans les sédiments de dragage", Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (Chimie, Procédé, Environnement), L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (France, Lyon), (2005) 224 p.
- [5] - C. DURAND, V. RUBAN, A. AMBLÈS, J. OUDOT, "Characterization of the organic matter of sludge: determination of lipids, hydrocarbons and PAHs from road retention/infiltration ponds in France", *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, (132) (2004) 375 - 384
- [6] - M. CONNAN, "Biomarqueurs lipidiques, réseau trophique pélagique et écologie alimentaire des oiseaux de mer Procellariiformes", Thèse Unique Océanologie Biologique, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI (Paris-France), (2005) 204 p.
- [7] - C. DURAND, V. RUBAN, M. LEGRET, "Physicochemical characterization of sediments from two retention/infiltration ponds: Wissous (urban) and Ronchin (road)", *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, (2004) 119 - 134
- [8] - N. R. CAMERON, J. M. BROOKS, B. B. BERNARD, J. E. ZUMBERGE, S. BROWN, "in Worldwide Deepwater Technologies" (Ed.: IBC), London, (2000) 24 p.
- [9] - S. AW, "Etudes physico-chimiques et microbiologiques d'un système lacustre tropical: cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire)", Thèse Unique en Chimie et Microbiologie de l'Eau, Université de Poitiers (Poitiers, France), (2009) 234 p.
- [10] - P. LEBLOND, "Contribution aux études hydrogéologiques en Côte d'Ivoire", Thèse de Doctorat Université de Bordeaux, 1 (1984) 194 p.
- [11] - A. LHOTE, "Critères d'évaluation de la qualité de l'eau d'un système lacustre tropical. Approche statistique", Université de Poitiers (Poitiers, France), (2000) 154 p.
- [12] - K. A. KOUAKOU, S. AW, M. M. ADAMOU, S. SIACA, I. SAVANE, "Caractérisation des sédiments du système lacustre de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) et spéciation de leurs phosphores (Characterization of sediments of Yamoussoukro lake system (Côte d'Ivoire) and their phosphorus speciation)", *Journal of Materials and Environmental Science*, (5) (2014) 1013 - 1020
- [13] - F. BEHAR, V. BEAUMONT, H. L. D. B. PENTEADO, "Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments", *Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP*, (56) (2001) 111 - 134
- [14] - R. G., "Etudes des sédiments : Méthodes de prélèvement et d'analyse pratiques au laboratoire de sédimentologie", (1980)

- [15] - M. GUILLAUME, "Dynamique de la structure génétique des communautés procaryotes en zone benthique côtière : caractérisation de la microflore des sédiments et des bivalves fouisseurs par empreintes moléculaires", Thèse Unique Sciences et Environnements, Université Bordeaux I (Bordeaux, France), (2012) 247 p.
- [16] - L. LEMEE, "Caractérisation structurale de la matière organique complexe des sols et des sédiments- Dynamique et réactivité", Université de Poitiers, (2004) 119 p.
- [17] - S. AW, E. B. Z. N'GORAN, G. A. R. KOFFI, N. E. ASSIDJO, "Etude de la matière organique dissoute fluorescente (MODF) des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) par l'utilisation du Parallel Factors Analysis (PARAFAC)", *Larhyss Journal*, (26) (2016) 31 - 44
- [18] - J. ESPITALIÉ, G. DEROO, F. MARQUIS, "La pyrolyse Rock-Eval et ses applications", *Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'Institut Français du Pétrole*, (41) (1986) 73 - 89
- [19] - J. R. DISNAR, B. GUILLET, D. KERAVIS, C. DI-GIOVANNI, D. SEBAG, "Soil organic matter (SOM) characterization by Rock-Eval pyrolysis : scope and limitations", *Organic Geochemistry*, (34) (2003) 327 - 343
- [20] - A. BECHTEL, M. MASTALERZ, M. STEFANOVA, "Advances of organic geochemistry in coal : Preface", *International Journal of Coal Geology*, (107) (2013) 1 - 2
- [21] - M. A. GOUGH, S. J. ROWLAND, "Characterization of unresolved complex mixtures of hydrocarbons in petroleum", *Nature*, (344) (1990) 648 - 650
- [22] - G. S. FRYSSINGER, R. B. GAINES, L. XU, C. M. REDDY, "Resolving the unresolved complex mixture in petroleum-contaminated sediments", *Environmental Science and Technology*, (37) (2003) 1653 - 1662
- [23] - A. R. KARBASSI, M. MONAVARIS, G. R. N. BIDHENDI, J. N. K. NOURI, "Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River", *Environmental monitoring and assessment*, (93) (1996) 257 - 260
- [24] - R. A. GIBSON, A. SHERRY, G. KAUR, R. D. PANCOST, H. M. TALBOT, "Bacteriohopanepolyols preserved in silica sinters from Champagne Pool (New Zealand) indicate a declining temperature gradient over the lifetime of the vent", *Organic Geochemistry*, (69) (2014) 61 - 69
- [25] - M. ZAKARIA PAUZI, A. HORINOUCI, S. TSUTSUMI, H. TAKADA, S. TANABE, A. ISMAIL, "Oil pollution in the straits of Malacca, Malaysia : Application of molecular makers for source identification", *Environmental Science and Technology*, (34) (2000) 1189 - 1196
- [26] - P. J. HUGHES, H. MCLELLAN, D. A. LOWES, S. Z. KHAN, J. G. BILMEN, S. C. TOVEY, R. E. GODFREY, R. H. MICHELL, C. J. KIRK, F. MICHELANGELI, "Estrogenic alkylphenols induce cell death by inhibiting testis endoplasmic reticulum Ca²⁺ pumps", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, (277) (2000) 568 - 574
- [27] - C. Y. CHENG, C. Y. WU, C. H. WANG, W. H. DING, "Determination and distribution characteristics of degradation products of nonylphenol polyethoxylates in the rivers of Taiwan", *Chemosphere*, (65) (2006) 2275 - 2281
- [28] - X. L. CAO, "Phthalate esters in foods: sources, occurrence, and analytical methods", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, (9) (2010) 21 - 43