

Utilisation d'un «indice de réflexion» pour l'analyse rapide des sédiments lacustres

Use of a «reflectance index» for
a quick study of lake sediments

A. VIDONNE (1), A. GUYARD (2), F. REMY (1) et J. VERNEAUX (2)

RÉSUMÉ

L'indice de réflexion ou réflectance donne une mesure de la teinte du sédiment entre le blanc (100 %) et le noir (0 %). Sa valeur est directement liée à la teneur en matières organiques.

Les relations entre l'indice de réflexion et les teneurs en carbone organique, en azote Kjeldahl et en carbonates sont données pour les sédiments de dix lacs différents.

Une étude particulière de prélèvements superficiels et de prélèvements profonds montre qu'une simple mesure de la réflectance donne une valeur approchée de la composition chimique.

Mots-clés : *sédiments lacustres, composition chimique, coloration.*

SUMMARY

Thorough studies on many lakes in Franche-Comté, especially chemical and physical investigations concerning sediments, have been carried out for several years. Seventy-one sediment samples have been extracted at different points and depths of

(1) Laboratoire de Chimie des Eaux, Faculté des Sciences, Rue Mégevand, 25000 Besançon, France.

(2) Laboratoire d'Hydrobiologie, Centre des Eaux Continentales, Place Leclerc, 25000 Besançon, France.

ten lakes in Franche-Comté. The upper stratum between 0 and - 2,5 cm were isolated and studied.

A comparison of visual observations and results of chemical analysis have shown that the darkest sediments are those which contain the greatest amount of organic matter. This finds its origin in a particularity of Franche-Comté lake sediments, which are often composed of dark black organic matter in different evolutionary states, and clear mineral compounds such as calcium carbonate and detrital particles.

Differences in colouration were particularly difficult to determine, so colours were defined by the reflexion factor of the sediment surfaces, after the sediments had been well dried and homogenized.

The reflectance index was measured with a reflectometer, which is generally used for determinations of dark smokes in air pollution. The reflectance index was defined between the values 0 and 100. The value 0 was obtained with a standard black glass and the value 100 with a white filter paper.

Comparing reflectance indices and ignition loss has shown that there is an exponential relationship between these two parameters. These relationships were found to exist between the reflectance index and organic carbon, Kjeldahl nitrogen and carbonates.

Ignition loss, organic carbon and Kjeldahl nitrogen proportions increase, but, on the contrary, carbonate proportions decrease when the reflexion index increases.

The values calculated and observed were then compared and generally the difference does not appear to be too great. Once, relationships have been established, it becomes possible to use them, after measuring reflexion indices, to obtain quickly and easily a good approximation of the composition.

Special relationships may also be calculated for an individual lake, as shown for St-Point Lake. If one mineral constituent prevails in the composition, it is possible to obtain a good estimation of this component.

For this lake twenty-eight sediment samples were extracted and for each sample three strata were separated. The reflectance index was again defined between the values 0 and 100, but the value 100 was now obtained by using a flat calcium carbonate surface, as the principal mineral part of St-Point Lake consists of calcium carbonate.

Recent results obtained from two lake sediments of the Massif Central indicate that such relationships also exist for these lakes and that this method of estimating the chemical composition can be generalised.

The calculated composition may often be sufficient to estimate values required for others studies on the same lakes, especially biological studies, thus avoiding laborious and extensive chemical determinations.

Key-words : lake sediments, chemical composition, colour.

INTRODUCTION

Depuis quelques années des études approfondies sont entreprises sur l'état et le fonctionnement des lacs jurassiens. Les sédiments ont fait en particulier l'objet de nombreuses investigations, tant au point de vue physique (couleur, granulométrie ...) que chimique (BIDAUT et LONCHAMPT, 1983 ; LAGADEC et THOUMY, 1984 ; BERNARD *et al.*, 1985 ; BLANC *et al.*, 1986).

La confrontation des observations et des résultats des analyses chimiques a révélé que les sédiments de teinte la plus foncée étaient ceux dont les teneurs en matières organiques étaient les plus élevées. Ce fait provient d'une particularité des sédiments des lacs jurassiens, qui pour beaucoup sont constitués de matières organiques dans un état d'évolution plus ou moins avancé de teinte franchement noire et d'un substrat minéral clair composé généralement de carbonate de calcium formé par précipitation et de particules détritiques.

Les nuances de colorations étant difficilement perceptibles visuellement, les couleurs ont été définies par détermination de l'indice de réflexion des surfaces des sédiments après séchage et homogénéisation.

Cette mesure a été effectuée avec un appareillage similaire à celui utilisé pour le dosage des fumées noires dans l'étude de la pollution atmosphérique appelé souvent "reflectomètre".

Le rapprochement des valeurs de l'indice de réflexion, dénommé "réflectance" par ceux qui étudient la pollution atmosphérique, et des valeurs de la perte au feu a montré qu'il existait une relation exponentielle entre ces deux paramètres (VERNEAUX *et al.*, 1987). Des relations de même type ont été recherchées entre l'indice de réflexion et le carbone organique, l'azote Kjeldahl et les carbonates compte tenu des relations étroites qui unissent ces paramètres et la perte au feu.

Les résultats qui figurent dans la première partie de cette note sont ceux obtenus pour les sédiments de dix lacs jurassiens.

Dans une seconde partie, sont présentés ceux relatifs à l'étude des sédiments d'un lac unique, le lac de Saint-Point, après que le mode opératoire eut été légèrement modifié.

1 - ÉTUDE GÉNÉRALE PORTANT SUR LES SÉDIMENTS DE DIX LACS JURASSIENS

1-1 Méthodologie

1-1-1 Echantillonnage et traitement des échantillons

Soixante et onze échantillons de sédiments ont été prélevés en différents points et à diverses profondeurs dans dix lacs : l'Abbaye (Ab), Bonlieu (Bo), Chalain (Ch), Clairvaux (Cl), Etival (Et), Ilay (Il),

Grand Maclu (gM), Petit Maclu (pM), Les Rousses (Ro) et Saint-Point (Sp).

Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'un carottier type ROFES et SAVARY (1981), permettant l'obtention d'une carotte non perturbée et la séparation de la couche superficielle de 2,5 cm d'épaisseur qui seule a été étudiée dans un premier temps.

La partie recueillie, environ 1 dm³ par échantillon, a été placée en glacière dans un récipient indéformable et étanche après élimination de l'air captif, avant d'être séchée à poids constant à 85 °C, broyée, homogénéisée et enfin analysée.

1-1-2 Analyses

Les analyses ont porté sur les paramètres suivants :

- perte au feu à 525 °C,
- carbone organique dosé par la méthode d'Anne,
- azote Kjeldahl,
- carbonates par la méthode de Bernard,
- calcium et magnésium par complexométrie,
- potassium par photométrie de flamme,
- fer et manganèse par absorption atomique,
- phosphore total après attaque minérale et colorimétrie,
- aluminium par torche à plasma

Seuls sont considérés ici les résultats concernant la perte au feu, le carbone organique, l'azote kjeldahl et les carbonates exprimés en pourcentage pondéral de matière sèche.

L'appareil utilisé pour la détermination de l'indice de réflexion est un "réflectomètre" qui permet d'apprécier "le noircissement" de l'échantillon. Le modèle employé est de type "PHOTOVOLT 610" équipé d'un galvanomètre extérieur et d'un testeur 610 Y muni d'un filtre TRISTUMULUS vert. Une plaque étalon en verre noir permet de caler le zéro de l'appareil et un étalon blanc constitué par un papier filtre de type CA 32 permet de caler le 100.

1-2 Résultats

Relations entre la réflectance et la perte au feu, le carbone organique l'azote Kjeldahl et les carbonates

Des relations de type exponentiel ont été établies entre les valeurs de l'indice de réflexion désignées par X et les teneurs des paramètres relatifs à la matière organique et en carbonate de calcium et sont indiquées sur les figures 1, 2, 3, 4.

Les pourcentages en perte au feu, carbone organique et azote Kjeldahl sont des fonctions décroissantes de l'indice de réflexion ; ils diminuent lorsque X augmente, c'est-à-dire lorsque le sédiment présente une teinte plus claire.

Pour ces trois paramètres, les coefficients b de la fonction $Y = ae^{bx}$ sont négatifs et proches de la valeur - 0,038.

Les valeurs absolues des coefficients de dépendance de Pearson (r) proches de 1 (taux supérieurs à 0,93), soulignent l'intensité de la relation existant entre les différents paramètres et l'indice de réflexion.

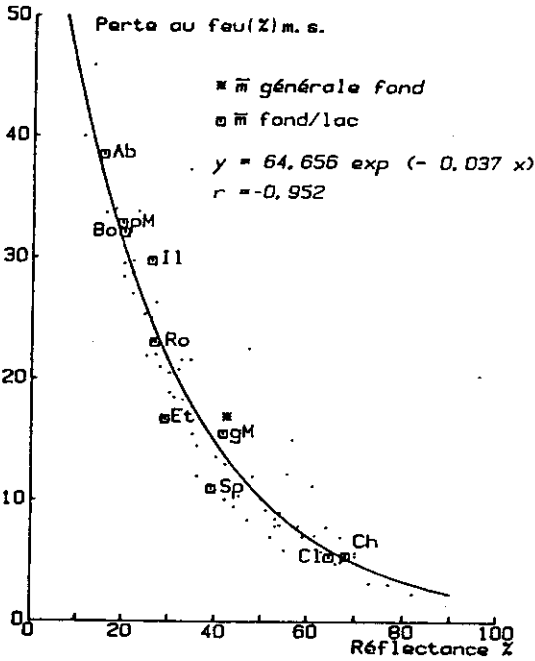


Figure 1.- Relation entre la perte au feu et la "réflectance" pour dix lacs jurassiens.

Figure 1.- Relation between ignition loss and reflectance index for ten lakes in Jura.

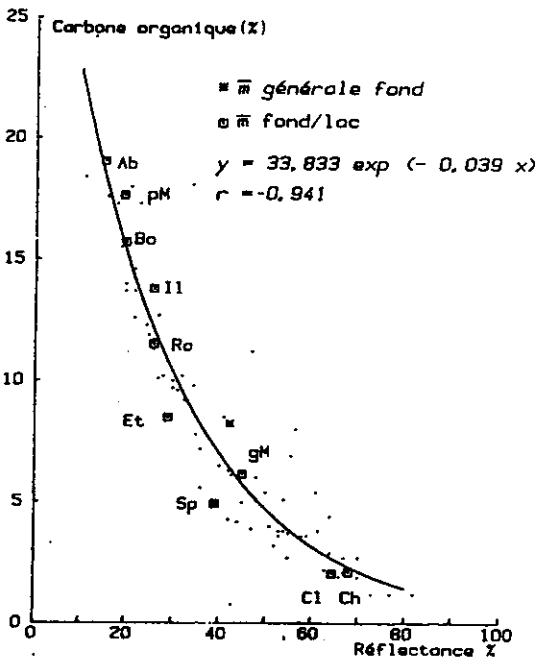


Figure 2.- Relation entre le carbone organique et la "réflectance" pour dix lacs jurassiens.

Figure 2.- Relation between organic carbon and reflectance index for ten lakes in Jura.

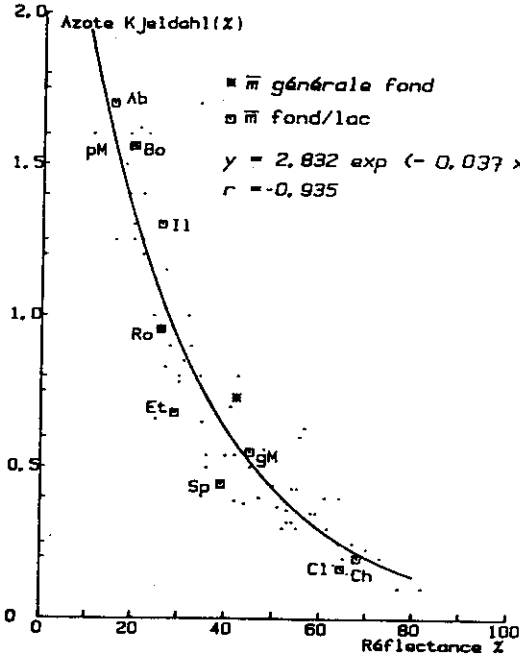


Figure 3.- Relation entre l'azote Kjeldahl et la "réflectance" pour dix lacs jurassiens.
 Figure 3.- Relation between Kjeldahl nitrogen and reflectance index for ten lakes in Jura.

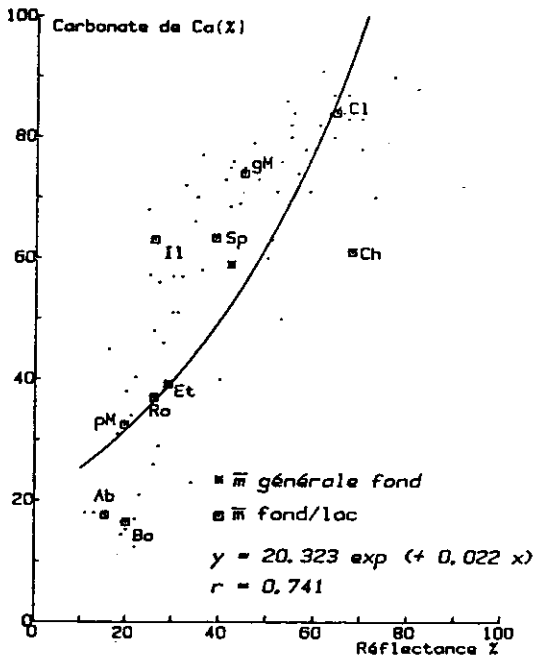


Figure 4.- Relation entre le carbonate de calcium et la "réflectance" pour dix lacs jurassiens.
 Figure 4.- Relation between carbonate of calcium and reflectance index for ten lakes in Jura.

A l'inverse de la matière organique et de ses composantes, les pourcentages en carbonate de calcium varient dans le même sens que l'indice de réflexion ; on observe également que le coefficient de relation est nettement plus faible (environ 0,74) en raison des variations de la composition de la fraction minérale.

Sur les figures (1, 2, 3, 4) sont reportées les courbes des fonctions $Y = a e^{-bX}$ et le nuage des points étudiés, les points représentatifs des valeurs moyennes au fond de chaque lac et celui de la valeur moyenne des points les plus profonds de l'ensemble des lacs. La dispersion la plus forte des points autour de la courbe exponentielle est observée pour les carbonates.

Pour chaque lac, les teneurs moyennes observées et celles calculées à l'aide des formules empiriques définies précédemment sont comparées dans le tableau 1.

Les résultats les plus concordants sont bien sûr obtenus pour les paramètres pour lesquels le coefficient r de Pearson est le plus élevé : perte au feu, carbone organique et azote Kjeldahl, et les moins bons pour les carbonates de calcium.

L'examen exhaustif de nos résultats montre que plus de 71 % des résultats diffèrent de moins de 20 % pour la perte au feu, le carbone organique, 66 % pour l'azote Kjeldahl, mais seulement 39 % pour les carbonates.

Il est à noter qu'une partie des écarts peut être imputable à une mauvaise homogénéisation des échantillons ou à la possible non-simultanéité des mesures de l'indice de réflexion et des autres paramètres.

2 - ÉTUDE PARTICULIÈRE PORTANT SUR LES SÉDIMENTS DU LAC DE SAINT-POINT

2-1 Méthodologie

2-1-1 Échantillonnage

Vingt-huit carottes ont été prélevées à différentes profondeurs et différents points sur le lac de Saint-Point. Pour chacune d'elle, trois strates ont été isolées à divers niveaux dans le sédiment : une fraction appelée "a" entre la surface et 5 cm de profondeur, une fraction "b" entre 10 et 15 cm et une fraction "c" profonde entre 25 et 30 cm. Les mêmes déterminations nécessaires à l'étude précédente ont été effectuées à nouveau sur chaque strate.

2-1-2 Modification de la mesure de l'indice de réflexion

L'indice 100 de réflexion a été défini comme étant celui obtenu en soumettant toujours au même rayonnement une surface plane de carbonate de calcium purifié et non plus un papier filtre.

Pour pouvoir comparer les résultats de l'étude précédente et ceux-ci, il faut utiliser la relation $Y = 6,316 + 1,162 Y'$, Y' étant l'indice de réflectance défini pour l'étude du lac de Saint-Point.

Tableau 1. - Comparaison des moyennes observées et calculées.
 Table 1. - Comparing of observed and calculated mean values.

Lacs	n	\bar{x}	% PERTE AU FEU			% CARBONE ORGANIQUE			% AZOTE KJELDAHL			% CARBONATE DE CALCIUM		
			Obs	Cal	E	Obs	Cal	E	Obs	Cal	E	Obs	Cal	E
Abbaye (Ab)	10	27	29,4	25,4	5,4	14,6	12,7	2,9	1,32	1,11	0,29	34,0	37,8	15,4
Bonlieu (Bo)	6	20,3	30,2	30,4	0,8	14,6	15,3	0,8	1,39	1,33	0,09	19,2	32	15,2
Chalein (Ch)	5	70	4,9	4,7	0,8	1,7	2,2	0,5	0,19	0,21	0,02	76,4	97,4	21,0
Clairvaux (Cl)	8	66,3	5,4	5,8	0,5	2,4	2,7	0,5	0,22	0,25	0,05	83,4	88,5	8,6
Ilay (Il)	5	43,6	17,5	14,5	5,1	8,0	7,1	1,2	0,78	0,63	0,15	77,2	55,6	21,6
Etival (Et)	3	29,7	18,0	21,8	3,7	9,4	10,8	1,4	0,66	0,96	0,29	55,3	39,3	16,0
Grand Maclou (GM)	9	47,8	13,0	11,6	2,0	6,6	5,6	1,3	0,56	0,51	0,10	77,0	59,4	17,8
Petit Maclou (pM)	5	28	27,4	26,2	2,0	14,1	13,2	1,4	1,15	1,15	0,18	52,0	40,8	11,2
Les Rousses (Ro)	10	35,2	17,9	19,1	1,3	8,5	9,4	1,1	0,73	0,83	0,11	46,5	45,7	9,4
Saint-Point (Sp)	10	48,8	-8,8	11,0	2,1	4,1	5,3	1,3	0,39	0,49	0,11	70,9	60,3	10,6

n : nombre de prélèvements

\bar{x} : indice de réflexion moyen

Obs : valeur moyenne observée

Cal : valeur moyenne calculée

E : écart moyen

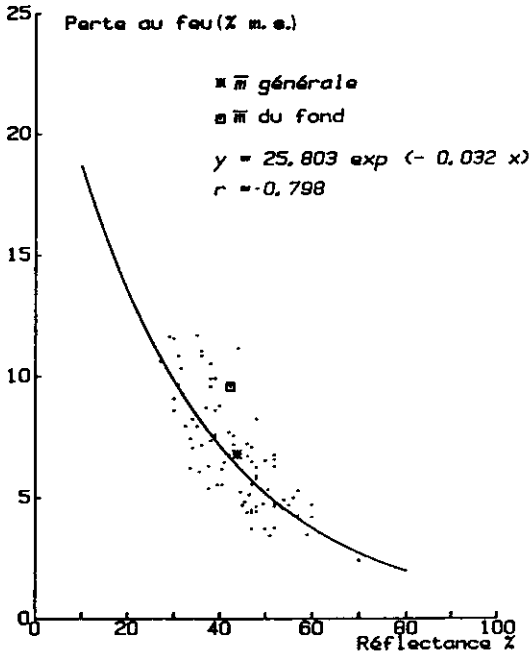


Figure 5.- Relation entre la perte au feu et la "réflectance" pour dix lacs jurassiens.

Figure 5.- Relation between ignition loss and reflectance index for Saint-Point lake.

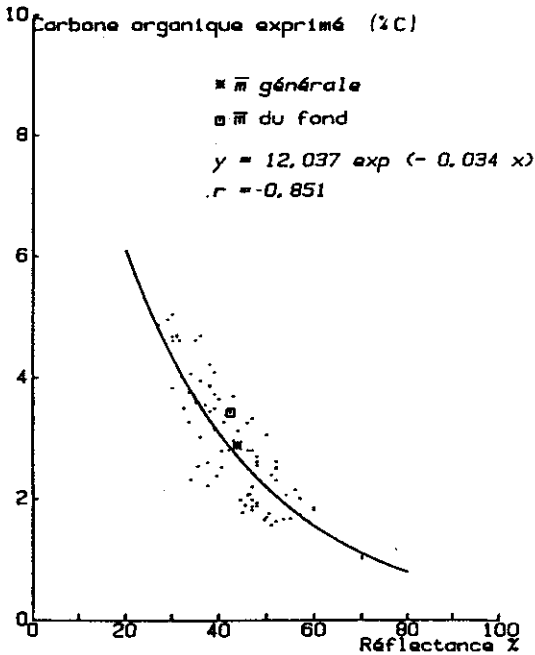


Figure 6.- Relation entre le carbone organique et la "réflectance" pour le lac de Saint-Point.

Figure 6.- Relation between organic carbon and reflectance index for Saint-Point lake.

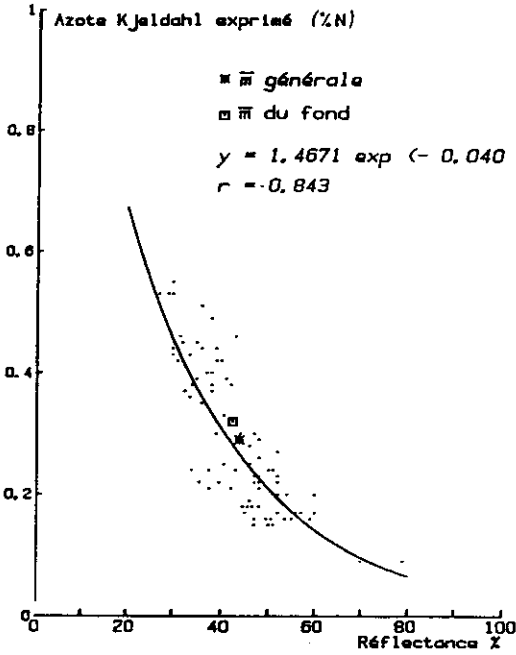


Figure 7.- Relation entre l'azote Kjeldahl et la "réflectance" pour le lac de Saint-Point.

Figure 7.- Relation between Kjeldahl nitrogen and reflectance index for Saint-Point lake.

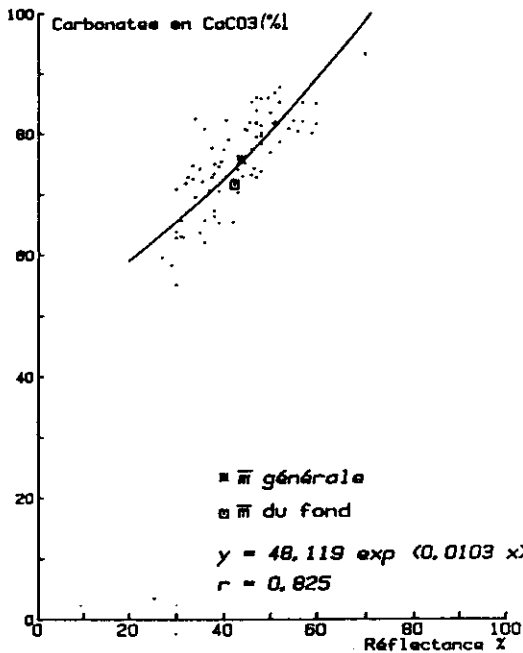


Figure 8.- Relation entre le carbonate de calcium et la "réflectance" pour le lac de Saint-Point.

Figure 8.- Relation between carbonate of calcium and reflectance index for Saint-Point lake.

Tableau 2.- Comparaison des moyennes observées et calculées pour le lac de Saint-Point.

Table 2.- Comparing of observed and calculated mean values for Saint-Point lake.

Lacs	n	\bar{x}	% PERTE AU FEU		% CARBONE ORGANIQUE		% AZOTE KJELDAHL		% CARBONATE DE CALCIUM					
			Obs	Cal	Obs	Cal	Obs	Cal	Obs	Cal				
Strate a	28	37,5	8,40	7,79	1,28	3,68	3,45	0,46	0,41	0,35	0,06	73,8	70,3	4,2
Strate b	28	43,5	6,60	6,60	1,26	2,72	2,89	0,47	0,26	0,28	0,05	78,4	74,7	4,1
Strate c	28	50,2	5,30	5,32	0,74	2,28	2,25	0,35	0,21	0,22	0,03	82,4	80,3	3,8
Strate a+b+c	84	43,7	6,77	6,70	1,09	2,89	2,87	0,44	0,29	0,28	0,05	78,0	75,0	4,0

n : nombre de prélèvements

\bar{x} : indice de réflexion moyen

Obs : moyenne observée

Cal : moyenne calculée

E : écart moyen

Cette relation a été établie à l'aide de mesures effectuées par les deux méthodes.

2-2 Résultats

Quoiqu'un peu plus faible que dans le cas de l'étude générale des lacs, les valeurs absolues des coefficients de relation indiqués sur les figures 5, 6, 7 et 8 sont encore très significatives ($r > 0,80$) pour les trois premiers paramètres et celle relative au carbonate de calcium est supérieure (0,82 contre 0,74).

Dans le tableau 2, sont comparées les valeurs moyennes déterminées analytiquement et celles calculées à l'aide des relations empiriques. Les écarts sont généralement plus faibles que ceux observés pour le cas général.

L'examen exhaustif des résultats montre que plus de 90 % de ceux observés diffèrent de moins de 20 % pour la perte au feu, le carbone organique et l'azote Kjeldahl, et plus de 80 % diffèrent de moins de 10 %, aucun de plus de 20 % pour les carbonates.

Sur les figures (5, 6, 7, 8) sont reportées les courbes des fonctions $y' = ae^{-bX}$ et les nuages des points étudiés.

CONCLUSION

Intérêt de la mesure de l'indice de réflexion

Ainsi, dans la première partie, nous avons montré qu'il existe des relations étroites dans le cas général entre les taux en perte au feu, carbone organique et azote Kjeldahl et l'indice de réflexion. La connaissance de celui-ci permet d'avoir une idée assez proche de la réalité de ces trois paramètres.

Dans le cas particulier d'un lac où un constituant prédomine dans le substrat minéral (carbonate dans le lac de Saint-Point), il est possible d'estimer en plus la composition de ce constituant.

Quelques résultats portant sur l'analyse de sédiments de deux lacs du Massif Central : Pavin et Chauvet (échantillons adressés par RESTITUITO F.*) indiquent que cette méthode est susceptible d'être généralisée à l'étude des sédiments dont la partie minérale est nettement différente de celle des lacs du Jura. Pour les deux lacs précités, la matière minérale est essentiellement formée par de la silice sous forme opale.

La mesure de l'indice de réflexion est rapide et ne demande qu'un appareillage simple. Toutefois, certaines précautions sont nécessaires à prendre : séchage, broyage et homogénéisation. Dans ces conditions,

* RESTITUITO F. Lab. Zool. et Biol. Cellulaire. Univ. Clermont-Ferrand, France.

il est intéressant d'effectuer la mesure de la réflectance sur ce matériau simultanément avec d'autres déterminations pour pouvoir établir, dans un premier temps, les relations existant entre ces paramètres.

Les corrélations étant alors établies entre l'indice de réflexion et les paramètres physico-chimiques, il est alors possible d'évaluer la nature des sédiments par la seule détermination de la réflectance. Cette mesure permet alors d'avoir des renseignements globaux et suffisamment précis nécessaires à des études physico-chimiques, ou non, ultérieures.

L'indice de réflexion peut également servir à contrôler l'homogénéité d'échantillons. Cette méthode est d'ailleurs utilisée dans l'industrie et permet même d'ajuster les compositions.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERNARD M., DEROLETZ C., PATRET C., RUIZ P., JEANNES O. et DESCAMP G. (1985). Recherches sur les sédiments de six lacs de Franche-Comté. *Mém. D.E.S.S.*, Fac. Sci. Univ. Besançon, 80 p..

BIDAUT F. et LONCHAMPT P. (1983). Recherches sur les sédiments et la faune benthique de quatre lacs du Jura. Composantes physico-chimiques. *Mém. D.E.S.S.*, Fac. Sci. Univ. Besançon, 72 p..

BLANC C., BALLET A. et GONTIER B. (1986). Recherches sur les sédiments du lac de Saint-Point. *Mém. D.E.S.S.*, Fac. Sci. Univ. Besançon, 163 p..

LAGADEC B. et THOUY V. (1984). Recherches écologiques sur les sédiments des lacs jurassiens. *Mém. D.E.S.S.*, Fac. Sci. Univ. Besançon, 95 p..

ROFES G. et SAVARY R. (1981). Description d'un nouveau modèle de carottier pour sédiments fins. *Bull. Franc. Pisc.* 283: 102-113.

VERNEAUX J., REMY F., VIDONNE A. et GUYARD A. (1987). Caractères généraux des sédiments de dix lacs jurassiens. *Sci. Eau*, 6: 107-128.