

# Application de statistiques multivariées à l'interprétation de signaux géochimiques dans les levés régionaux de sédiments de lacs du Québec

Sylvain Trépanier\*, Consortium de Recherche en Exploration Minérale, consorem@uqac.ca  
trepanier.sylvain@uqam.ca

QUÉBEC EXPLORATION 2007



**CONSOREM**  
Consortium de recherche en exploration minérale

www.consorem.ca

## 1. Introduction

Les données de sédiments de lacs du levé 1997520 (Grand-Nord du Québec; Fig. 1) ont été traitées par une analyse factorielle utilisant une suite d'éléments, la perte au feu (PAF) et la profondeur du lac (PROF). Cette analyse a pour but de reconnaître les signaux géochimiques dominants des sédiments de lacs pour en dégager des méthodes appropriées de délimitation d'anomalies.

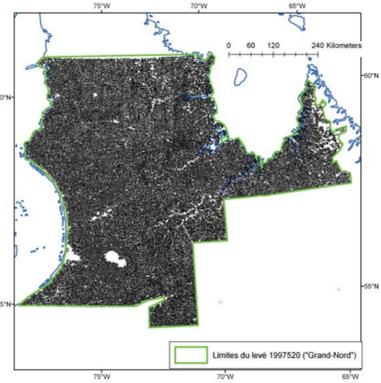


Figure 1 : Localisation du levé 1997520 (Grand-Nord)

## 2. Séparation des données en deux groupes sur la base de PAF

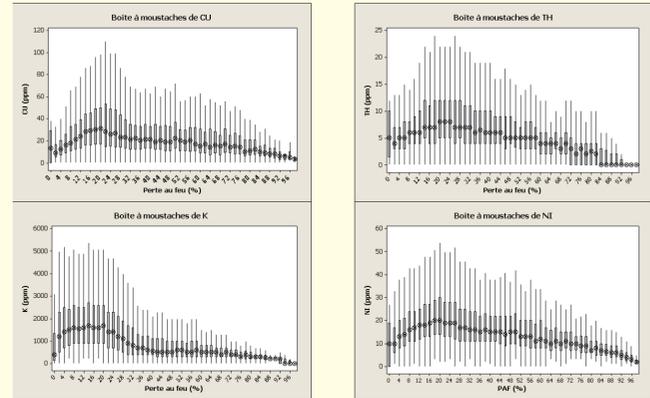


Figure 2 : Boîtes à moustaches de Cu, Th, K et Ni pour différents intervalles de PAF. Cercle avec croix : médiane; Partie inférieure de la boîte : 25e centile; Partie supérieure de la boîte : 75e centile; Moustache supérieure : 75e centile + 1.5\*(75e centile - 25e centile); Moustache inférieure : 25e centile - 1.5\*(75e centile - 25e centile).

La perte au feu est un indicateur crucial des conditions physico-chimiques des lacs. Celle-ci est directement proportionnelle à la quantité de matière organique dans les lacs (Cameron, 1994) qui joue un rôle dominant pour les conditions d'oxydoréduction et d'acidité. PAF est également un indicateur de la proportion d'argiles dans le sédiment.

En général, les variables montrent des relations à peu près linéaires entre elles, sauf pour PAF qui montre une relation non linéaire avec la majorité des éléments (Fig. 2). Pour des valeurs de PAF inférieures à 18%, la relation avec les autres éléments est positive, alors qu'elle s'inverse lorsque la valeur de PAF est supérieure à 18%. Les échantillons disponibles ont donc été séparés en deux groupes sur la base de la valeur en perte au feu : groupe A (PAF > 18%) et groupe B (PAF <= 18%). Des analyses factorielles distinctes ont été effectuées pour les deux groupes.

## 3. Comparaison des deux groupes

Effectifs et distribution géographique

Les deux groupes sont présents sur l'ensemble du territoire (Fig. 3), mais le groupe B est plus concentré dans la partie nord de la région et dans le secteur plus montagneux des monts Torngats. Cette diminution des échantillons du groupe A plus au nord est probablement une conséquence de la productivité des lacs.

Caractéristiques physiques des lacs et des sédiments des deux groupes

Les lacs du groupe B sont en général moins profonds (Fig. 4) et nettement plus petits (Fig. 5) que ceux du groupe A. Des différences importantes sont aussi notées dans la répartition des couleurs des échantillons (Fig. 6 et 7). Les échantillons du groupe A sont plus foncés (majoritairement brun foncé) que les échantillons du groupe B (dominance du gris), soulignant le caractère plus riche en matière organique et/ou en argiles du groupe A. Il est à noter que l'on trouve une plus grande abondance d'échantillons de couleur ocre (probablement ferrugineux) dans le groupe B.

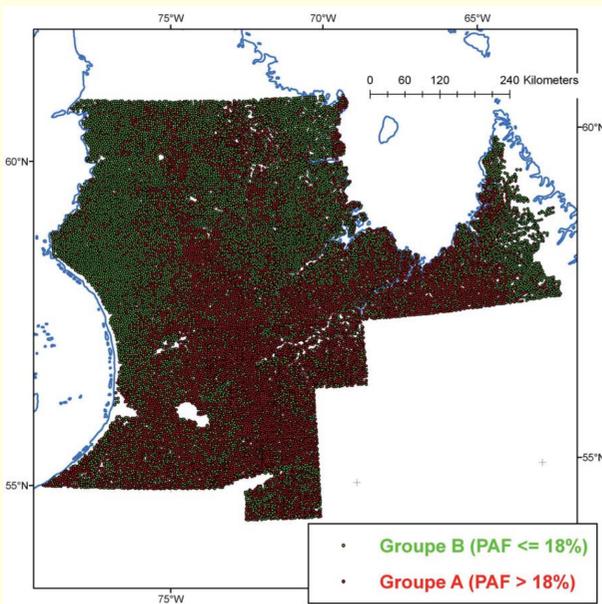


Figure 3 : Répartition des échantillons du groupe A (PAF > 18%) et du groupe B (PAF <= 18%).

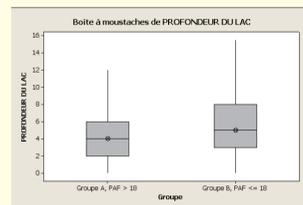


Figure 4 : Boîtes à moustaches de la profondeur des lacs

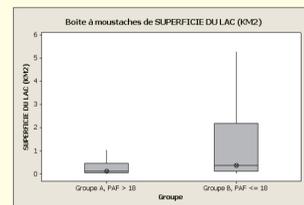


Figure 5 : Boîtes à moustaches de la superficie (km2) des lacs

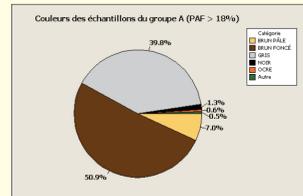


Figure 6 : Répartition des couleurs des échantillons du groupe A

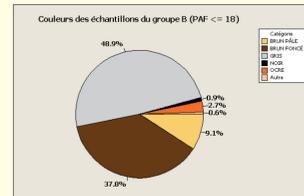


Figure 7 : Répartition des couleurs des échantillons du groupe B

## 4. Analyse factorielle des échantillons du groupe A (PAF > 18%)

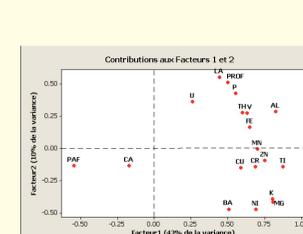


Figure 8 : Saturations des facteurs 1 et 2 pour les lacs du groupe A

Facteur 1  
Le facteur le plus important (43% de la variance totale; Fig. 8) de l'analyse factorielle des éléments du groupe A oppose PAF et Ca à Ti, Al, K, Mg, Zn, Cr, Ni, Mn, Th, V, Cu, Fe et P. Une association avec ce facteur est également notée pour Ba, PROF et La. La tendance géochimique la plus importante de ce groupe est une opposition entre l'ensemble des éléments et PAF et Ca.

Les valeurs les plus élevées du facteur 1 pour le groupe A sont localisées dans la partie centrale de la province du Supérieur, et dans les monts Torngats (Fig. 9). On note une très bonne corrélation entre ces fortes valeurs et la présence de roche comme matériau de surface, ce qui suggère une forte relation entre ce facteur et les conditions environnementales de dépôt des sédiments.

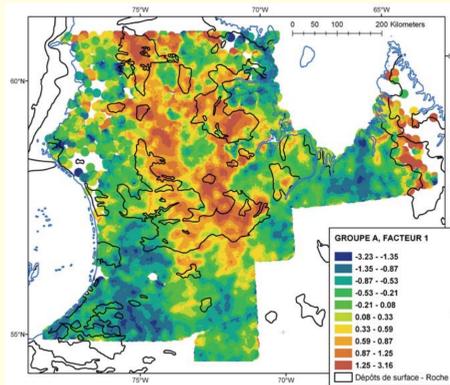


Figure 9 : Interpolation des valeurs du facteur 1 pour les lacs du groupe A. Les zones rocheuses de la carte des matériaux de surface du Canada (Fulton, 1995) sont en contours noirs.

Facteur 2  
Ce facteur oppose La, Prof, P et U à Mg, K, Ba et Ni (Fig. 8) et représente environ 10% de la variance totale. Il montre les valeurs les plus faibles (vers le pôle Mg-K-Ba-Ni) dans la Fosse du Labrador, dans les Torngats, ainsi qu'à proximité des zones côtières (Fig. 10). Les valeurs les plus élevées se trouvent dans les parties sud-ouest et nord-ouest du levé (province du Supérieur), ainsi que dans les granitoïdes et orthogneiss de la province de Rae, à l'est (Fig. 10). L'association d'éléments incompatibles (K et Ba) et compatibles (Ni et Mg) suggère qu'il ne s'agit pas d'un facteur d'origine lithologique. Par contre, K, Mg et Ba sont des éléments qui sont typiquement associés à la fraction minérale des sédiments de lacs (Engstrom, 1984).

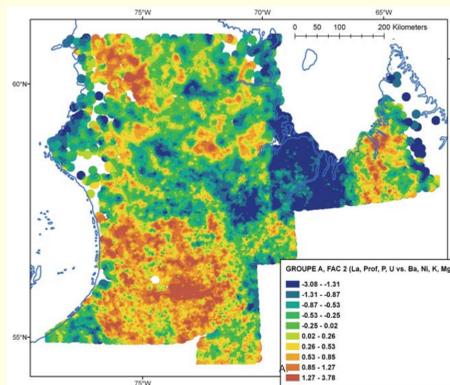


Figure 10 : Interpolation des valeurs du facteur 2 pour les lacs du groupe A

## 5. Analyse factorielle des échantillons du groupe B (PAF <= 18%)

Facteur 1  
Le facteur dominant du groupe B (51% de la variance totale; Fig. 11) est caractérisé par une association positive entre l'ensemble des variables (sauf Ca). PAF et PROF montrent également une association significative, quoique plus faible. Ainsi, la tendance principale de ce groupe est que tous les éléments (sauf Ca), PAF et PROF augmentent et diminuent conjointement.

Les valeurs les plus élevées du facteur 1 pour le groupe B sont également localisées dans la partie centrale de la province du Supérieur et dans les monts Torngats (Fig. 12).

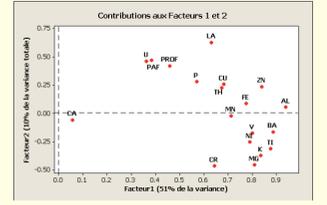


Figure 11 : Saturations des facteurs 1 et 2 pour les lacs du groupe B

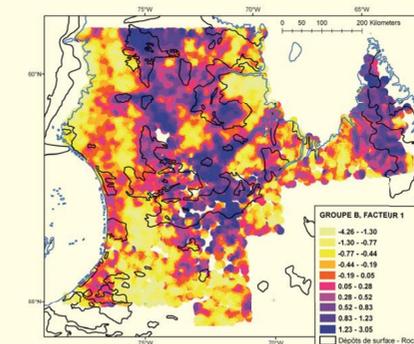


Figure 12 : Interpolation des valeurs du facteur 1 pour les lacs du groupe B. Les zones rocheuses de la carte des matériaux de surface du Canada (Fulton, 1995) sont en contours noirs.

Facteur 2  
Ce facteur oppose La, U, PAF et PROF à Cr, Mg, K et Ti (Fig. 11) et représente environ 10% de la variance totale. Il est assez similaire au facteur 2 du groupe A, autant par la série d'éléments associés que par sa répartition géographique (Fig. 13). La forte association de PAF avec ce facteur renforce l'idée que celui-ci puisse représenter une opposition entre la matière chimique/organique et minérale.

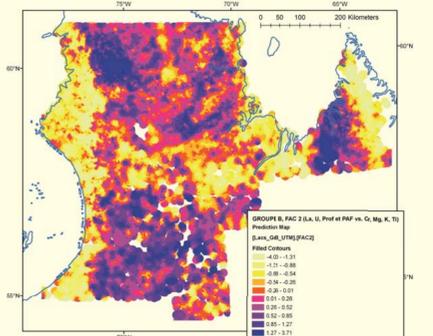


Figure 13 : Interpolation des valeurs du facteur 2 pour les lacs du groupe B

## 6. Discussion

L'analyse factorielle du groupe A indique que la tendance géochimique dominante oppose la majorité des éléments et la profondeur des lacs à la perte au feu (matière organique) et au calcium. Dans le cas des lacs du groupe B, la tendance principale est une corrélation générale de tous les éléments (y compris la perte au feu et la profondeur, mais pas le calcium).

Il est suggéré que les lacs pauvres en matière organique (C <= 9%, ou PAF < 20%) favorisent la précipitation d'oxydes de fer et de manganèse (Mäkinen et Pajunen 2005). À des valeurs plus élevées en carbone, comme pour les lacs du groupe A, la précipitation de ces oxydes serait inhibée. Il est effectivement probable que les lacs plus pauvres en matière organique favorisent la précipitation d'oxydes de Fe-Mn (solubles en milieu réduit). Toutefois, cette hypothèse n'explique pas la corrélation positive entre PAF, PROF et l'ensemble des éléments pour les lacs pauvres en matière organique. De plus, les teneurs en Fe et Mn entre les deux groupes ne diffèrent que légèrement.

On peut alternativement expliquer les tendances observées dans les lacs du groupe A par une dilution progressive de l'ensemble des éléments (de source minérale) avec de la matière organique. La corrélation du calcium, possiblement biogénique, avec PAF supporte également cette hypothèse.

Le comportement des lacs du groupe B pourrait s'expliquer par l'augmentation progressive de la quantité d'argiles dans le sédiment, faisant augmenter PAF. Dans le cas des lacs pauvres en matière organique, le principal contrôle sur l'accumulation des métaux dans le sédiment serait alors l'adsorption sur les argiles. Ceci est également en accord avec la corrélation positive entre PAF et PROF, puisqu'une plus grande colonne d'eau favorise l'accumulation des argiles.

Afin de vérifier les hypothèses précédentes, des études plus détaillées sur la minéralogie des échantillons seraient nécessaires. En particulier, il faudrait mesurer la proportion d'argiles et de matière organique dans les sédiments.

## 7. Conclusions et implications pour l'exploration

Les sédiments de lacs peuvent être séparés en deux grands groupes sur la base de la quantité de perte au feu. Les lacs du groupe A (PAF > 18%) sont des lacs relativement peu profonds, de petite superficie et riches en matière organique, alors que les lacs du groupe B (PAF <= 18%) sont plus grands, plus profonds, et relativement pauvres en matière organique. L'analyse factorielle montre que les tendances géochimiques principales de ces deux groupes diffèrent principalement par une inversion de l'association entre l'ensemble des éléments chimiques et la perte au feu.

Cette étude suggère que les teneurs en métaux sont principalement contrôlées par des facteurs d'origine environnementale. Les plus importants sont la quantité de matière organique et la proportion d'argiles dans le sédiment, qui peuvent varier rapidement d'un lac à l'autre et être très différentes pour des lacs distants de quelques kilomètres.

La conséquence la plus directe pour l'exploration est la nécessité de revoir les méthodes par lesquelles les anomalies géochimiques sont considérées. En effet, la plupart des méthodes de délimitation d'anomalies fonctionnent en déterminant des seuils d'anomalies fixes sur des régions plus ou moins grandes. Les méthodes de délimitation d'anomalies doivent tenir compte des variations et de la dichotomie entre les deux groupes de lacs observés.

## 8. Références

- Cameron, E. M. 1994. Lake sediment sampling in mineral exploration. In : Drainage Geochemistry. Édité par M. Hale et J.A. Plant, Handbook of Exploration Geochemistry, Vol. 6.
- Engstrom, D.R., Wright, H.E., Jr. 1984. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In : Lake Sediments and Environmental History. Édité par Haworth, E.Y. et Lund, J.W.G.
- Fulton, R.J., compilateur. 1995. Matériaux superficiels du Canada, Commission géologique du Canada, carte 1880A, échelle 1/5 000 000.
- Mäkinen, J. Pajunen, H. 2005. Correlation of carbon with acid-soluble elements in Finnish lake sediments: two opposite composition trends. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. Volume 5, pp. 169-181.
- MNRNF. 2005. Données géochimiques d'échantillons de sédiments de lac. Système d'information géominérale du Québec (SIGEOM). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; www.mrnf.gouv.qc.ca/produits-services/mines.jsp (consulté le 1er juillet 2005).