

## 5. Résultats

### 5.1 Lac Sans Nom

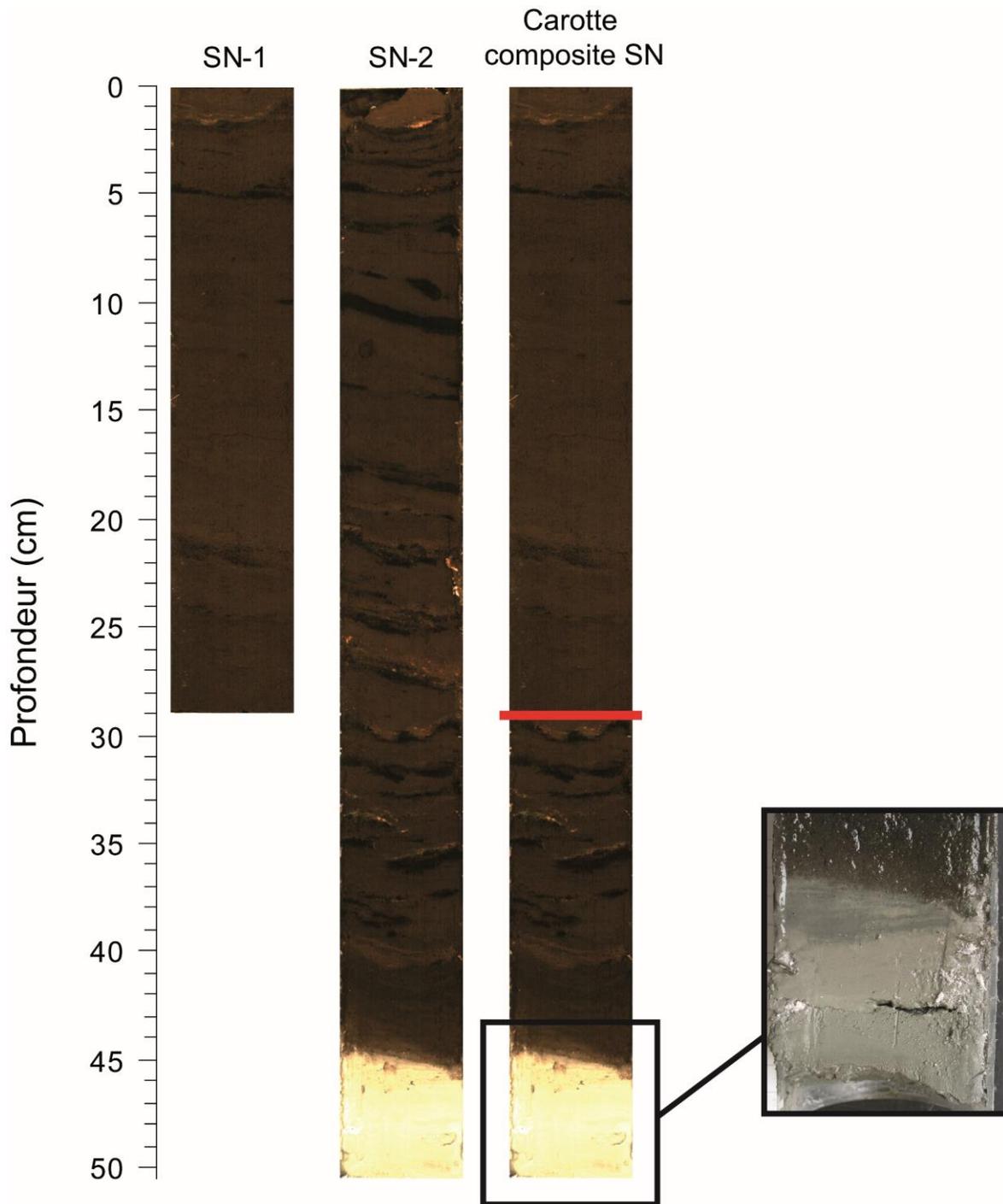
#### 5.1.1 Description des carottes de sédiments

Les carottes de sédiments SN-1 et SN-2 présentent une longueur respective d'environ 29,0 et 50,5 cm. La comparaison de leur profil a permis de déterminer que la surface de la carotte SN-2 était complète et n'avait donc pas été perdue lors du carottage tel que précédemment anticipé (voir Annexe C). La carotte composite SN, résultant de la fusion de la carotte SN-1 avec le bas de la carotte SN-2, présente donc une longueur identique à cette dernière.

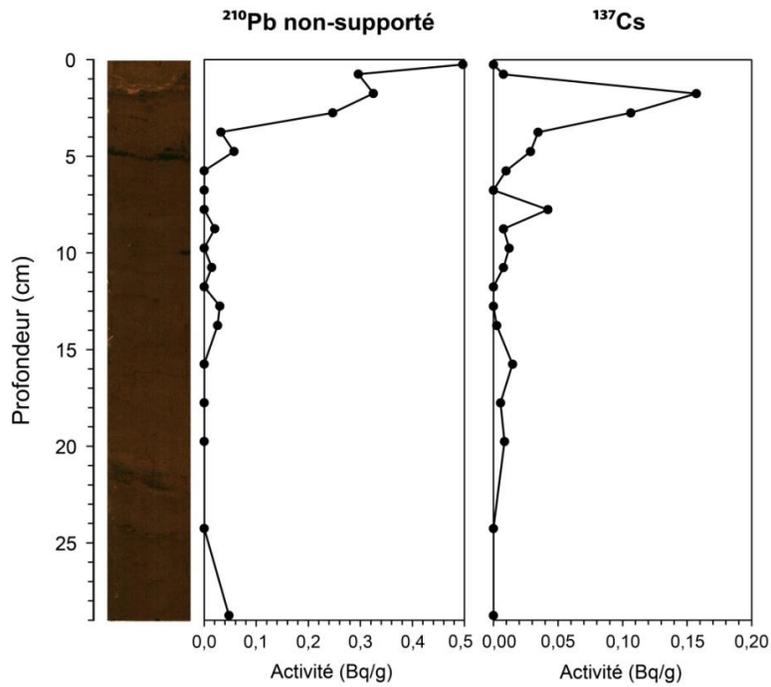
La carotte SN-1 présente un aspect généralement assez uniforme avec des sédiments de couleur brun foncé d'apparence riche en eau et en matière organique (Figure 7). De 0 à 1,75 cm, les sédiments sont cependant caractérisés par une teinte un peu plus pâle. Puis, une bande noire est présente à 5 cm de profondeur. D'autres moins importantes sont également observables à des profondeurs de 21,5 et 24,5 cm. La carotte SN-2 présente un aspect similaire, mais davantage de laminations noires sont présentes. Une bande très importante est notamment retrouvée vers 11 cm de profondeur. De 19 à 37 cm, les laminations noires sont généralement surmontées d'une mince couche de sédiments brun clair. Aux alentours de 40,5 cm de profondeur, une bande de sédiments plus pâle est également observée. À partir de 45 cm, les sédiments présentent un aspect complètement différent avec une texture limoneuse et une teinte grise quelque peu foncée de 45 à 46,5 cm, puis pâle de 46,5 à 50,5 cm.

#### 5.1.2 Datations et chronologie

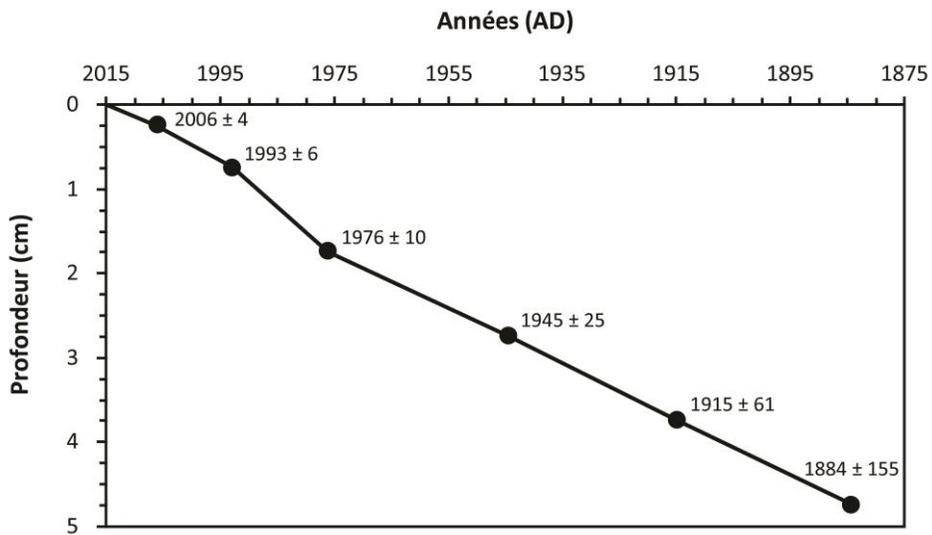
La concentration de  $^{210}\text{Pb}$  non-supporté dans les sédiments du lac Sans Nom suit une courbe de décroissance rapide plus ou moins exponentielle. La valeur d'activité est tout d'abord de 0,50 Bq/g en surface et devient à peu près nulle autour de 6 cm de profondeur, bien que quelques valeurs  $> 0$  soient retrouvées au-delà de ce point (Figure 8). La courbe de



**Figure 7.** Présentation des carottes de sédiments tirées du lac Sans Nom et de la carotte composite SN. Le trait rouge marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.



**Figure 8.** Courbes d'activité du  $^{210}\text{Pb}$  non-supporté et du  $^{137}\text{Cs}$  dans la carotte SN-1.



**Figure 9.** Courbe âge-profondeur de la carotte SN-1 basée sur les résultats obtenus des analyses au  $^{210}\text{Pb}$  et l'application du modèle CRS.

désintégration est marquée par quelques pics et creux vraisemblablement attribuables à des variations historiques du taux de sédimentation du lac. Dans un tel contexte, le modèle CRS est de convenance afin d'établir une bonne chronologie (Appleby 2001) et a donc été appliqué sur les mesures radiométriques. Les résultats indiquent que la profondeur 1,75 cm ( $1976 \pm 10$  années AD) correspondrait environ aux premières années d'activité de la ville de Fermont, tandis que la profondeur 3,75 cm ( $1915 \pm 61$  années AD) marquerait approximativement le début du XX<sup>e</sup> siècle (Figure 9). La chronologie des dépôts récents est dans l'ensemble validée par le profil d'activité du  $^{137}\text{Cs}$ . Effectivement, le pic correspondant au maximum des tests d'armements nucléaires apparaît de manière évidente à la profondeur 1,75 cm des sédiments et indique donc une datation aux alentours de 1963, ce qui est grossièrement en accord avec la date de 1976 estimée pour ce niveau à l'aide de la méthode au  $^{210}\text{Pb}$ .

Une datation au  $^{14}\text{C}$  a permis d'estimer l'âge de la profondeur 19,0-20,0 cm à environ -1420 années cal. AD (Tableau 4). De même, le niveau 43,5-44,0 cm situé tout juste au-dessus de la couche limoneuse de sédiments a été daté approximativement à -4800 années cal. AD. La séquence sédimentaire complète tirée du lac Sans Nom couvrirait donc un peu plus de 6,8 ka BP. Une chronologie complète de la carotte composite SN a été établie par extrapolation des dates  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{14}\text{C}$  (Figure 10).

### **5.1.3 Radiographies et composition géochimique élémentaire**

Les radiographies prises des carottes SN-1 et SN-2 à l'aide du scanner ITRAX révèlent que les laminations noires retrouvées à différents niveaux de profondeur correspondent à des zones de plus forte densité (Figure 11). Il en est de même pour la couche limoneuse de sédiments à la base de la carotte SN-2 (45,0-50,5 cm) et, dans une moindre mesure, la portion supérieure de la carotte SN-1 (0,0 à 1,75 cm).

Parmi les 28 éléments identifiés à l'aide de l'analyse par microfluorescence X, plusieurs affichaient un profil de variation flou (« noisy ») ou fortement inégal dans les carottes SN-1 et SN-2 vraisemblablement attribuable à une trop faible concentration dans les sédiments

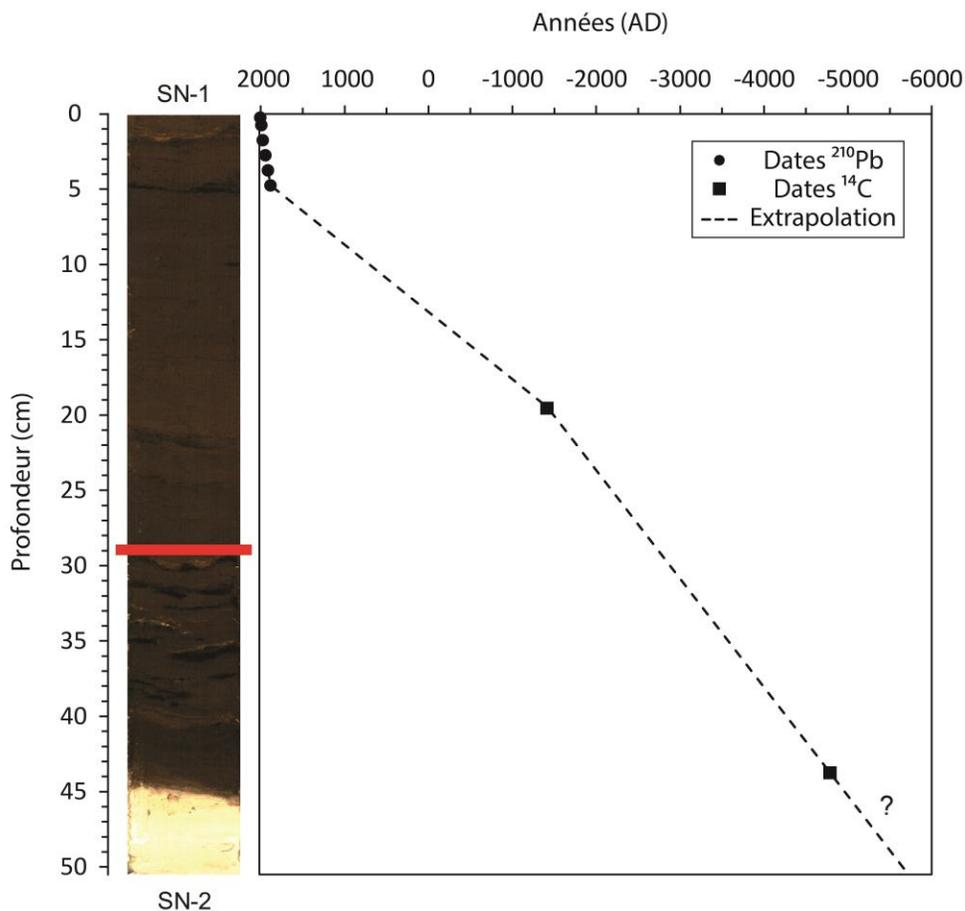
**Tableau 4.** Liste des échantillons datés au  $^{14}\text{C}$  et de leurs âges radiocarbone et calendaires (réels) respectifs dans la carotte composite SN.

Profondeur (cm)	Type de matériel	# laboratoire	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Âge radiocarbone conventionnel (années BP)	Intervalle <sup>a</sup> (années cal. BP)	Probabilité médiane <sup>b</sup> (années cal. BP)	Probabilité médiane <sup>b</sup> (années cal. AD)
19,0-20,0	Sédiments bruts	BETA-462086	-26,9	$3140 \pm 30$	3255 - 3446	3370	-1420
43,5-44,0	Sédiments bruts	BETA-462087	-28,1	$5930 \pm 30$	6672 - 6845	6750	-4800

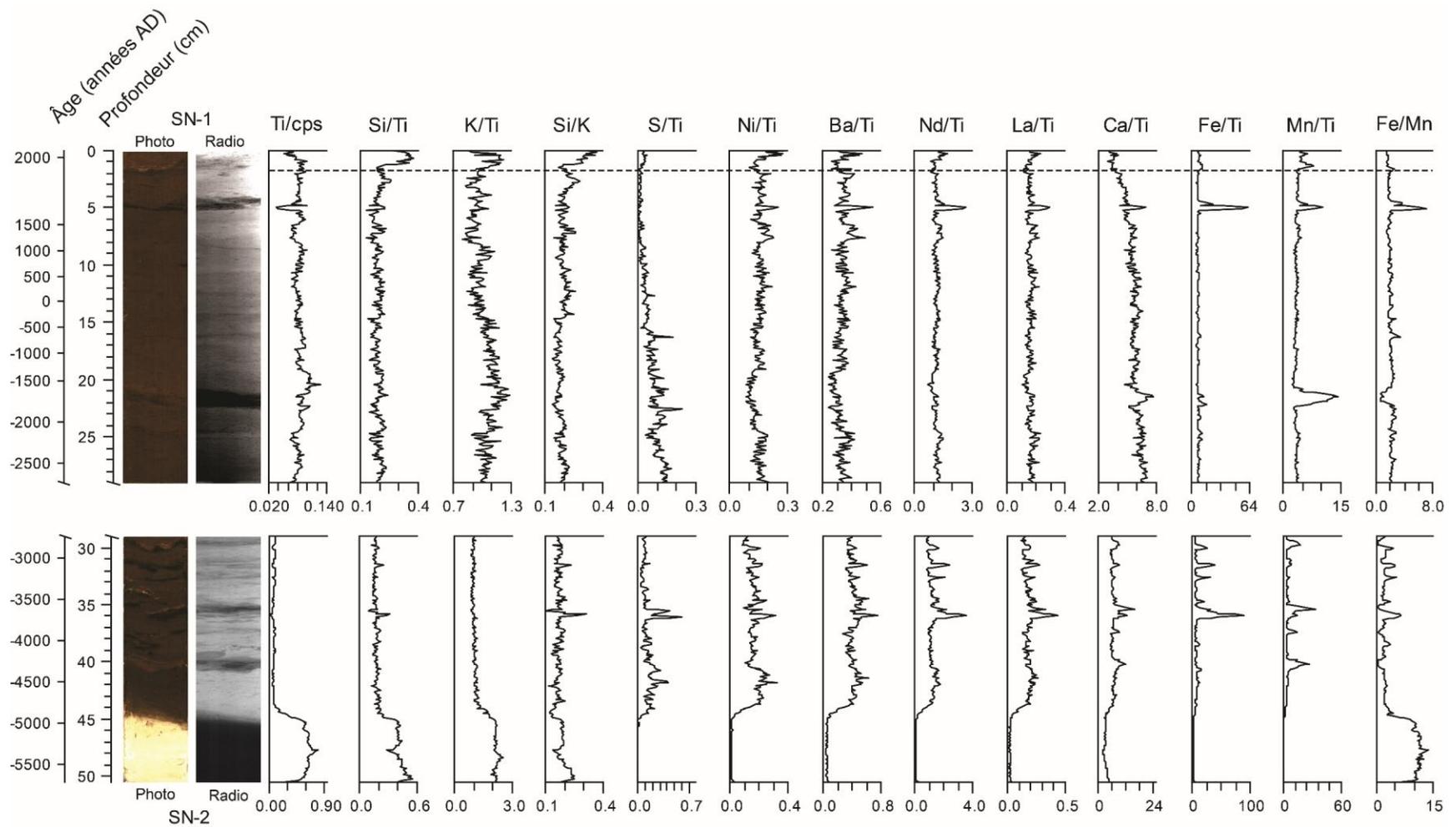
Note : BP = « Before Present », nombre d'années avant le présent qui est défini par convention comme l'année 1950; AD = « Anno Domini », nombre d'années depuis la naissance de Jésus-Christ telle que définie comme l'an 1.

<sup>a</sup> Intervalle d'âges calibrés selon  $2\sigma$  (95,4 %).

<sup>b</sup> Âge calibré de probabilité médiane arrondi à la décennie près.



**Figure 10.** Modèle chronologique établi pour la carotte composite SN à l'aide des résultats des datations au  $^{210}\text{Pb}$  et au  $^{14}\text{C}$ . Le trait rouge sur la photographie marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.



**Figure 11.** Radiographies (radio) et profils de variation géochimique élémentaire obtenus par microfluorescence X de la carotte composite SN. La ligne pointillée représente l'année d'inauguration de la ville de Fermont (1974 AD).

(i.e. près ou sous la limite de détection du scanneur ITRAX). Ceux-ci n'ont donc pas été considérés dans les analyses (Mg, Al, Cl, V, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Cd, Ta, Pb, Ac, Th, U). Les résultats obtenus pour les autres éléments ont cependant permis de mettre en évidence certains patrons géochimiques particuliers relatifs à la stratigraphie sédimentaire du lac Sans Nom. De 50,5 à 45,0 cm, la carotte composite SN présente tout d'abord des concentrations élevées en éléments détritiques correspondant avec la couche limoneuse de sédiments (Figure 11). Celle-ci est en effet riche en titane et encore plus particulièrement en silicium et en potassium, tel qu'indiqué par les valeurs élevées des ratios Si/Ti et K/Ti. À l'inverse, la couche présente de faibles concentrations en soufre, nickel, baryum, néodyme, lanthane, fer et manganèse. Le ratio Fe/Mn y affiche cependant des valeurs importantes.

De 45,0 à 1,75 cm, la tendance est ensuite inversée alors que le titane, ainsi que les ratios Si/Ti, K/Ti, Fe/Mn présentent des valeurs beaucoup plus faibles et les ratios S/Ti, Ni/Ti, Nd/Ti, La/Ti, Fe/Ti et Mn/Ti des valeurs plus élevées. À l'intérieur de cette zone, la concentration relative de plusieurs éléments subit des fluctuations particulières. Notamment, le potassium demeure à une concentration relativement constante de 45,0 à 20,0 cm, mais diminue graduellement de 20,0 à 14,0 cm et demeure plus faible 14,0 à 1,75 cm. La concentration relative du soufre subit également une importante décroissance dans cette zone qui s'effectue de manière progressive de 45,0 à 8,0 cm. Le ratio S/Ti est ensuite très faible de 8,0 à 1,75 cm. Un résultat important provient des variations géochimiques associées à la présence des laminations noires dans la stratigraphie sédimentaire. Celles-ci correspondent généralement avec une diminution du titane et, comparativement, une augmentation du nickel, baryum, néodyme, lanthane, calcium, fer et manganèse dans les sédiments. En particulier, ces deux derniers éléments fluctuent dans des proportions beaucoup plus importantes que les autres et affichent des pics de concentrations très marqués coïncidant avec les laminations noires. Le ratio Fe/Mn varie également selon la présence de ces structures dans la stratigraphie, mais pas de manière constamment identique.

Finalement, la zone de 1,75 à 0,0 cm correspondant à l'histoire humaine de la région de Fermont est reliée à une nouvelle augmentation de la concentration relative du silicium, du

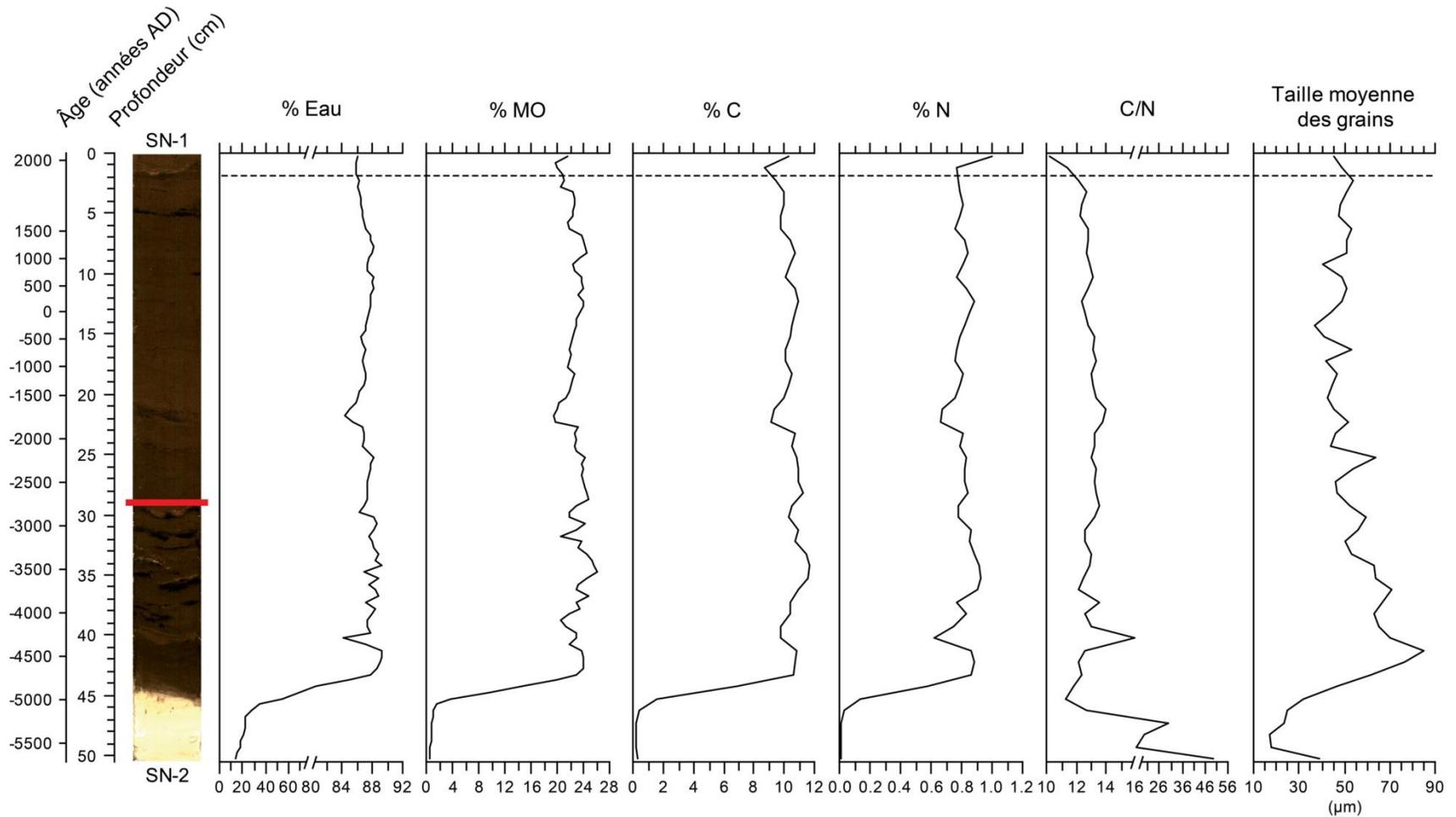
potassium, du soufre et, dans une moindre mesure, du nickel, du baryum, du néodyme, du lanthane, du fer et du manganèse dans les sédiments. Tel qu'indiqué par le ratio Si/K, le silicium subit une augmentation encore plus considérable que le potassium, ce qui pourrait témoigner d'une hausse des apports biogéniques de cet élément. À l'inverse des autres éléments, la concentration relative du calcium est plus faible de 1,75 à 0,0 cm selon une courbe de décroissance cependant déjà amorcée aux alentours de 7 cm de profondeur.

Les résultats complets de la radiographie et de l'analyse par microfluorescence X de la carotte SN-2 peuvent être retrouvés à l'Annexe D.

#### **5.1.4 Contenu en eau, matière organique et C-N**

La carotte composite SN présente des variations importantes en eau, matière organique, carbone et azote, lesquels suivent tous des tendances similaires dans les sédiments (Figure 12). De très faibles pourcentages sont tout d'abord observés de 50,5 à 46,5 cm correspondant avec la couche limoneuse à la base de la séquence sédimentaire (Eau : 14-23 %; MO : 0,5-1,0 %; C : 0,2-0,4 %; N : 0,007-0,013 %). Les valeurs augmentent ensuite rapidement de 46,5 à 43,5 cm (Eau : 28-85 %; MO : 1-20 %; C : 0,4-6,9 %; N : 0,03-0,58 %). De 43,5 à 0,0 cm, le contenu en eau, matière organique, carbone et azote est élevé et présente un profil accidenté qui oscille cependant selon une plage de valeurs beaucoup moins étendue qu'auparavant (Eau : 84-89 %; MO : 19-26 %; C : 8,7-11,7 %; N : 0,62-1,00 %). Notamment, un creux important est observé dans le profil des variables % Eau, % C et % N à 40,0 cm de profondeur et correspond avec la bande de sédiments brun clair présente à ce niveau.

Les autres variations enregistrées au niveau des paramètres du contenu eau, matière organique, carbone et azote des sédiments semblent plus généralement associées aux laminations noires dans la stratigraphie. Par exemple, d'importants creux sont observés dans les profils de concentration de toutes les variables aux alentours de 21,5 et 30,0 cm coïncidant avec ces structures sédimentaires. L'histoire humaine de Fermont (0,0-1,75 cm)



**Figure 12.** Profils de variation géochimique (% Eau, % MO, % C, % N, C/N) et granulométrique (Taille moyenne des grains) de la carotte composite SN. La ligne pointillée représente l'année d'inauguration de la ville de Fermont (1974 AD), alors que le trait rouge sur la photographie marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.

concorde avec une augmentation notable des valeurs des variables % C et, surtout, % N qui étaient en diminution dans les centimètres précédents.

À l'inverse des autres variables discutées ci-haut, le ratio C/N présente une tendance vers des valeurs plus élevées de 50,5 à 45,0 cm correspondant avec la couche limoneuse de sédiments à la base de la carotte composite. Les valeurs diminuent cependant progressivement au fil de la transition vers les couches superficielles plus organiques de sédiments. Dans une moindre mesure, le ratio C/N augmente ensuite graduellement à nouveau de 45,0 à 29,0 cm. Un pic important est notamment observé à la profondeur de 40,0 cm correspondant avec la bande de sédiments brun clair. De 29,0 à 3,0 cm, le ratio C/N demeure relativement constant. Puis, il diminue de manière notable de 3,0 à 0,0 cm où il atteint une valeur minimum de 10,3 en surface. En excluant la couche limoneuse, la valeur moyenne du ratio C/N pour l'ensemble de la carotte composite SN est de 12,9.

Les résultats complets des variations en eau et en matière organique de la carotte SN-2 peuvent être retrouvés à l'Annexe D.

### **5.1.5 Granulométrie**

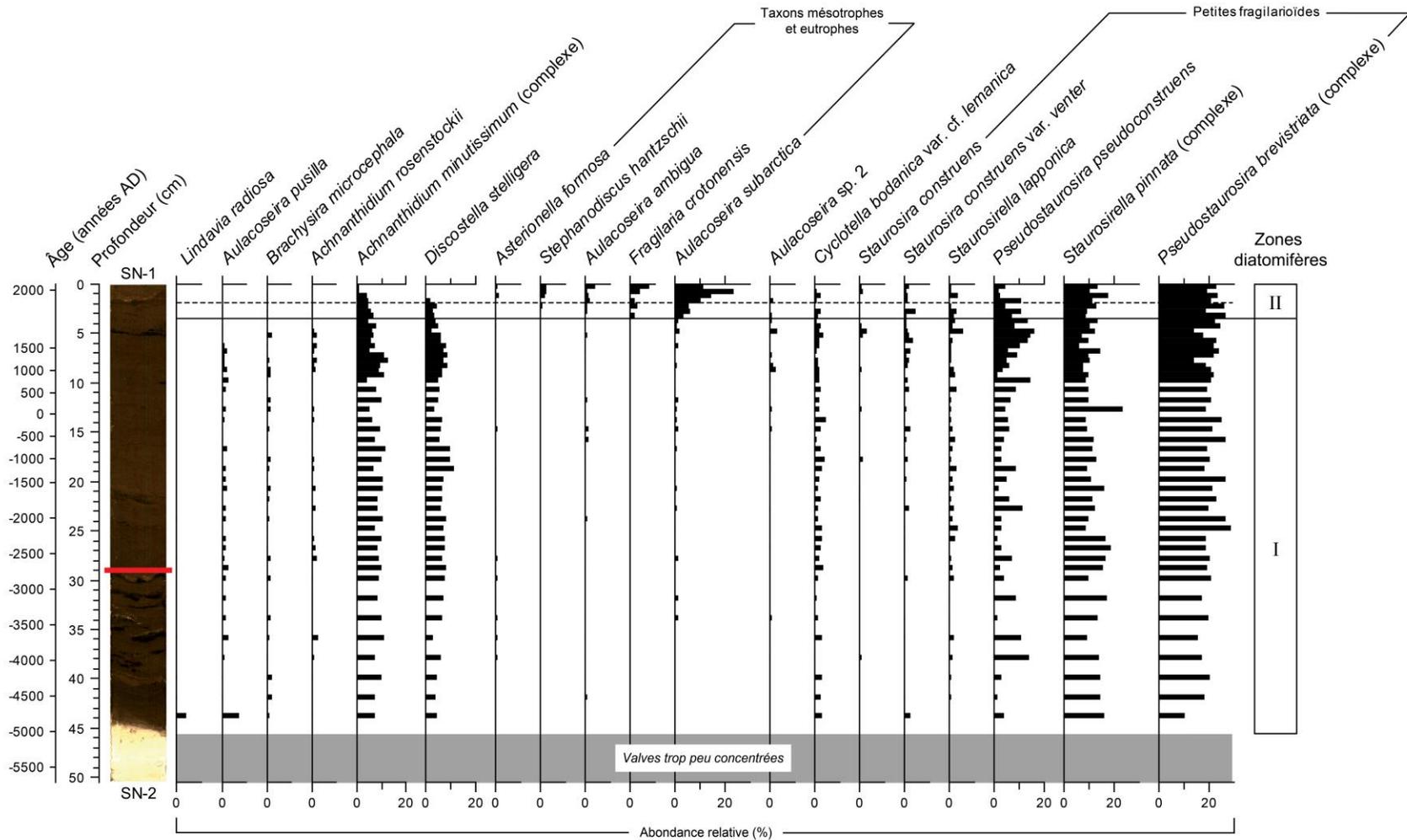
Tel qu'anticipé, la couche grise de sédiments à la base de la carotte composite SN présente une granulométrie beaucoup plus fine que le reste de la séquence sédimentaire (Figure 12). De 50,5 à 45,0 cm, la taille moyenne des grains varie tout d'abord entre 17 et 39  $\mu\text{m}$ . Selon l'analyse réalisée par le programme GRADISTAT qui utilise une classification modifiée de Udden (1914) et Wentworth (1922), le matériel de cette couche consiste principalement en du limon de taille intermédiaire (« medium silt »). De 45,0 à 41,0 cm, le diamètre moyen des particules augmente ensuite radicalement suivant la transition vers les couches superficielles plus organiques de sédiments et atteint une valeur maximale de 85  $\mu\text{m}$ . La taille des grains présente ensuite une tendance générale vers une diminution progressive de 41,0 à 20,0 cm, puis vers une légère augmentation de 20,0 à 0,0 cm. Le profil granulométrique présente cependant plusieurs pics et creux importants au cours de cette séquence. De 45,0 à 0,0 cm, le matériel sédimentaire correspond à un intermédiaire de sables très fins et de limons grossiers (« very fine sandy coarse silt »).

## 5.1.6 Assemblages diatomifères

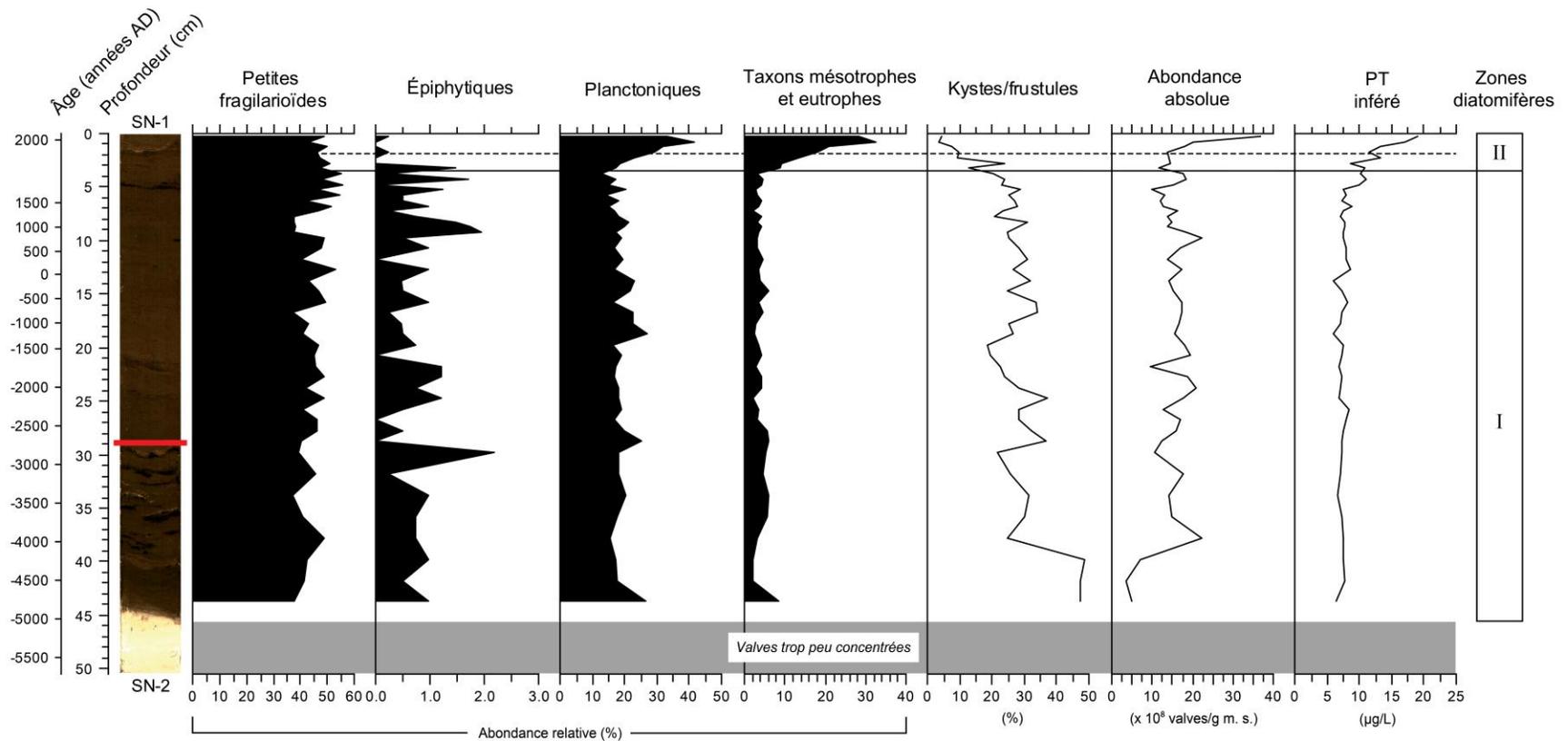
### 5.1.6.1 Composition et évolution

Au total, 280 taxons de diatomées appartenant à 65 genres ont été identifiés et dénombrés dans la carotte composite SN (voir Annexes E-F). Les analyses diatomifères n'ont cependant pu être réalisées que pour la portion plus organique des sédiments de la carotte (0,0-45,0 cm). Certaines diatomées d'eau douce ont été identifiées dans la couche limoneuse (45,0-50,5 cm), mais celle-ci présentait une concentration de valves beaucoup trop faible pour permettre une évaluation adéquate des taxons dominants et de leur diversité. De manière générale, les assemblages de diatomées fossiles du lac Sans Nom sont dominés par plusieurs taxons de petites fragilarioïdes (*Fragilaria* sensu lato), tels que *Pseudostaurosira brevistriata*, *Pseudostaurosira pseudoconstruens* et *Staurosirella pinnata* (Figure 13). L'abondance relative combinée des petites fragilarioïdes demeure relativement constante tout au long de la séquence sédimentaire, variant en moyenne autour de 45 % (Figure 14). Certains changements sont toutefois observables dans l'abondance relative d'autres taxons de diatomées présents dans les sédiments. Les méthodes d'analyses biostratigraphiques ont d'ailleurs permis d'identifier deux zones diatomifères statistiquement distinctes délimitées par la profondeur 3,5 cm correspondant au début des années 1920.

La zone I (45,0-3,5 cm) se démarque par l'abondance relative importante du complexe *Achanthidium minutissimum* (moyenne  $\approx$  9 %) et de l'espèce *Discostella stelligera* (moyenne  $\approx$  7 %) et par la présence notable d'autres taxons tels que *Aulacoseira pusilla*, *Brachysira microcephala* et *Achnanthidium rosenstockii*. Ces taxons sont moins bien représentés dans la zone II (3,5 - 0,0 cm) où ils sont remplacés par d'autres davantage typiques des milieux enrichis. Notamment, les espèces *Stephanodiscus hantzschii* et *Fragilaria crotonensis* apparaissent et l'abondance relative d'*Aulacoseira subarctica* augmente de façon très importante. De manière générale, la proportion des espèces planctoniques et des taxons mésotrophes et eutrophes est grandement accrue dans cette zone. À l'inverse, les taxons épiphytiques, déjà peu présents, disparaissent presque totalement des assemblages. Les changements au niveau des diatomées sont plus



**Figure 13.** Profil stratigraphique des taxons communs de diatomées (abondance relative  $\geq 2,5$  % dans au moins un niveau, sauf *A. formosa* et *B. microcephala*) préservés dans les assemblages de la carotte composite SN. La ligne pointillée représente l'année d'inauguration de la ville de Fermont (1974 AD), alors que la ligne pleine marque la séparation des deux zones biostratigraphiques (~ 1920 AD). Le trait rouge sur la photographie marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.



**Figure 14.** Profil stratigraphique des diatomées de type petites fragilarioides, épiphytiques, planctoniques et mésotrophes et eutrophes dans la carotte composite SN. La liste des taxons constituant chaque groupe peut être retrouvée à l'Annexe G. Les profils de variation du ratio des kystes de chrysophycées sur les frustules de diatomées, de l'abondance absolue des valves de diatomées et de la concentration de phosphore total de l'eau inférée à partir des assemblages diatomifères ( $PT_{\text{inféré}}$ ) sont également illustrés. La ligne pointillée représente l'année d'inauguration de la ville de Fermont (1974 AD), alors que la ligne pleine marque la séparation des deux zones biostratigraphiques (~1920 AD). Le trait rouge sur la photographie marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.

particulièrement importants dans la portion supérieure de la zone II (1,75 à 0,0 cm) correspondant avec l'histoire humaine de la région de Fermont. Notamment, l'abondance relative d'*Aulacoseira subarctica* présente un maximum de 24% dans cette sous-zone, tandis que celle de *D. stelligera* (< 1 %) et du complexe *A. minutissimum* (~ 1 %) atteint des valeurs minimales. Par ailleurs, bien que le niveau 3,5 cm marque une zone de transition importante dans les assemblages de diatomées, certains changements dans la biostratigraphie du lac Sans Nom semblent cependant avoir été initialisés un peu plus tôt. Effectivement, la diminution progressive de l'abondance relative du complexe *A. minutissimum* et de l'espèce *D. stelligera* s'amorce respectivement à 7,0 (~ 1380 AD) et 5,0 (~ 1830 AD) cm de profondeur.

#### **5.1.6.2 Abondance absolue et kystes de chrysophycées**

L'abondance absolue des valves de diatomées présente certaines variations importantes au fil de la séquence sédimentaire de la carotte composite SN (Figure 14). Au-dessus de la couche limoneuse, de 44,0 à 39,5 cm, la concentration des valves est tout d'abord faible (moyenne  $\approx 5,21 \times 10^8$ /g m. s.). Elle augmente ensuite rapidement et demeure relativement stable de 39,5 à 1,75 cm (moyenne  $\approx 14,90 \times 10^8$ /g m. s.). Dans cet intervalle, certaines valeurs plus faibles semblent reliées à la présence des laminations noires dans la stratigraphie sédimentaire. De 1,75 à 0,0 cm, la courbe de concentration suit ensuite une progression marquée correspondant avec l'histoire humaine de la région de Fermont alors qu'un maximum de  $36,83 \times 10^8$  valves/g m. s. est atteint en surface.

Les kystes de chrysophycées dénombrés expriment également une concentration variable dans la séquence sédimentaire du lac Sans Nom (Figure 14). Comparativement aux diatomées, les chrysophycées présentent une plus grande abondance au-dessus de la couche limoneuse de sédiments de 44,0 à 39,5 cm. Dans cet intervalle de profondeur, le ratio kystes/frustules présente une moyenne de 48 %. Celui-ci diminue ensuite rapidement et demeure relativement stable de 39,5 à 5,0 cm (moyenne  $\approx 27$  %) malgré quelques pics et creux dans le profil des valeurs. De 5,0 à 0,0 cm, le ratio suit une diminution progressive, puis une valeur minimale de 3% est atteinte près de la surface.

### **5.1.6.3 Reconstitution du phosphore total**

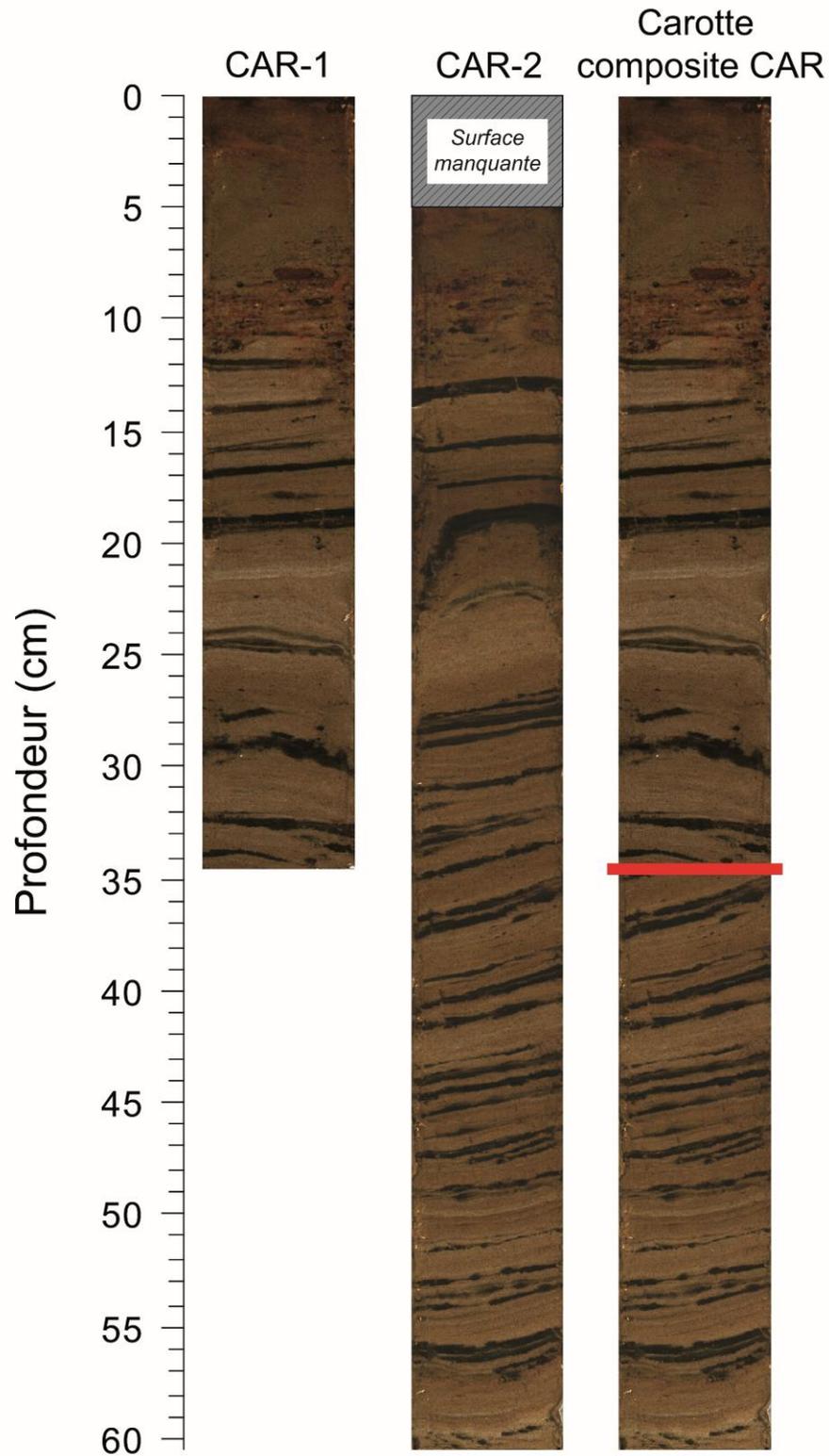
Le test d'analogie pratiqué entre les assemblages fossiles de diatomées du lac Sans Nom et les assemblages modernes des lacs du Québec méridional a permis de mettre en évidence le bon niveau de similitude entre les ensembles de données. Les valeurs moyennes des coefficients de dissimilarité calculées pour chaque niveau de la carotte composite SN étaient effectivement toutes inférieures à l'intervalle de confiance de 75 % (voir annexe H). Les modèles d'inférence développés par Tremblay et al. (2014) à partir des analyses WA classique et WA-PLS ont permis de reconstituer des valeurs historiques de concentration en phosphore total variant entre 5 et 20 µg/L pour la carotte composite SN. Pour cette étendue de valeurs, Tremblay et al. (2014) ont déterminé que les modèles WA classique et WA-PLS présentaient souvent des biais opposés. À l'image de Tremblay (2015), la moyenne des valeurs obtenues pour chaque niveau à l'aide des deux modèles a donc été utilisée pour l'analyse des résultats. De manière générale, Birks (1995) recommande d'ailleurs de combiner les données obtenues à partir de plusieurs méthodes pour les reconstitutions quantitatives environnementales.

De 44,0 à 5,0 cm, la concentration inférée de phosphore total ( $PT_{\text{inféré}}$ ) demeure à peu près constante dans la carotte composite SN suivant une moyenne de  $7,4 \pm 1,9$  µg/L (Figure 14). Elle augmente cependant de manière importante de 5,0 à 1,75 cm, puis encore davantage de 1,75 à 0,0 cm où elle atteint un maximum en surface de  $19,1 \pm 1,9$  µg/L.

## **5.2 Lac Carheil**

### **5.2.1 Description des carottes de sédiments**

Les carottes de sédiments CAR-1 et CAR-2 mesurent respectivement environ 34,5 et 55,5 cm (Figure 15). La comparaison des résultats obtenus pour les analyses pratiquées intégralement sur les deux carottes a cependant permis de déterminer que les cinq premiers centimètres de la carotte CAR-2 étaient manquants et avaient donc été perdus lors du carottage (voir Annexe C). Par conséquent, la carotte composite CAR résultant de la fusion des carottes CAR-1 et CAR-2 présente une longueur de 60,5 cm.



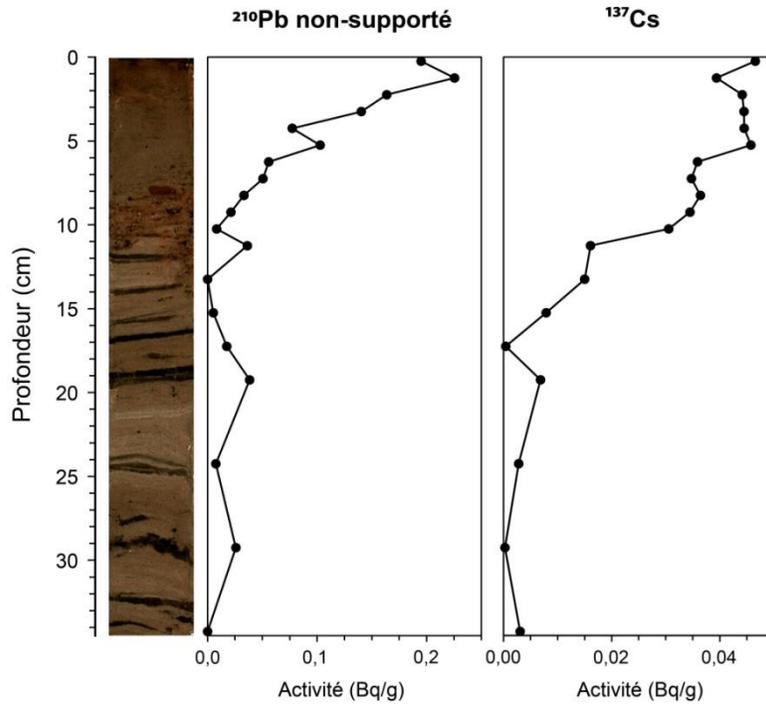
**Figure 15.** Présentation des carottes de sédiments tirées du lac Carheil et de la carotte composite CAR. Le trait rouge marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.

Les carottes de sédiment tirées du lac Carheil présentent une apparence stratigraphique fort dynamique. La carotte CAR-1 est tout d'abord caractérisée par une couleur brun foncé de 0,0 à 2,5 cm, puis par une teinte brun-olive assez uniforme de 2,5 à 7,75 cm. De 7,75 à 10,5 cm, les sédiments présentent ensuite un aspect particulier marqué par la présence hétérogène de dépôts brun-orangé. Le reste de la carotte (10,5 à 34,5 cm) affiche de manière générale une couleur brun clair. Des zones de sédiments plus foncées (16,5 à 21,0 cm) ou plus pâles (21,0 à 21,5 cm et 22,5 à 25,5 cm) sont cependant présentes. Plus encore, plusieurs laminations noires, à l'image de celles observées dans la stratigraphie du lac Sans Nom, sont retrouvées dans cette portion de la carotte. Des bandes importantes sont notamment présentes aux centimètres approximatifs 12, 14, 17, 19, 29 et 33.

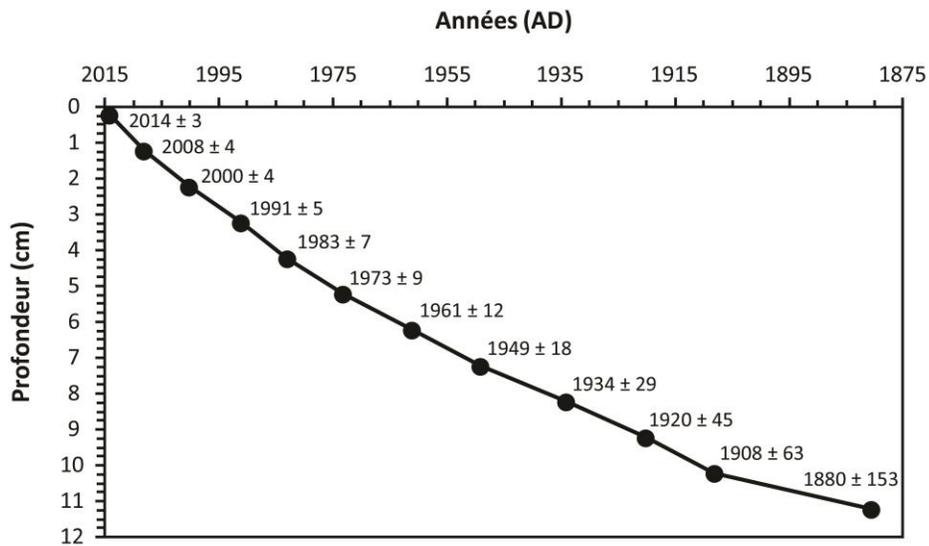
La portion supérieure de la carotte CAR-2 (5,0 à 34,5 cm) présente un aspect similaire à la carotte CAR-1. Les laminations noires n'y sont cependant pas retrouvées exactement aux mêmes niveaux de profondeur et diffèrent fréquemment en termes d'apparence. La portion inférieure de la carotte CAR-2 (34,5 à 60,5 cm) affiche une matrice sédimentaire brun clair avec certaines variations plus pâles ou plus foncées à l'image de la partie supérieure. Plusieurs laminations noires marquent également toujours la stratigraphie et se succèdent rapidement.

### **5.2.2 Datations et chronologie**

La concentration du  $^{210}\text{Pb}$  non-supporté dans les sédiments du lac Carheil suit une courbe de désintégration moins rapide qu'au lac Sans Nom (Figure 16). La surface présente tout d'abord une activité de 0,19 Bq/g, laquelle augmente ensuite à 0,23 Bq/g à 1,25 cm de profondeur avant de décroître progressivement et d'atteindre une valeur nulle au niveau 13,25 cm. Une reprise de l'activité est cependant observée au-delà de cette profondeur avec notamment deux importantes valeurs enregistrées à 19,25 et 29,25 cm de profondeur concordant avec la présence d'importantes laminations noires à ces endroits dans la stratigraphie sédimentaire. Tout comme pour la carotte SN-1, le modèle CRS a été appliqué sur les mesures radiométriques de la carotte CAR-1 afin d'établir la chronologie récente des sédiments. Les résultats indiquent que la profondeur 5,25 cm ( $1973 \pm 9$  années AD) de la



**Figure 16.** Courbes d'activité du  $^{210}\text{Pb}$  non-supporté et du  $^{137}\text{Cs}$  dans la carotte CAR-1.



**Figure 17.** Courbe âge-profondeur de la carotte CAR-1 basée sur les résultats obtenus des analyses au  $^{210}\text{Pb}$  et l'application du modèle CRS.

séquence sédimentaire du lac Carheil correspondrait approximativement à l'année d'inauguration de la ville de Fermont, tandis que le niveau 10,25 cm ( $1908 \pm 63$  années AD) marquerait environ le début du XX<sup>e</sup> siècle (Figure 17).

La concentration du Cs<sup>137</sup> dans les sédiments présente une nette augmentation à partir de 17,25 cm de profondeur jusqu'en surface. Le profil de l'isotope ne présente cependant aucun pic net d'activité à quelconque profondeur pouvant être associé au maximum des tests d'armements nucléaires de 1963. Ce type de résultat peut être attribuable à un mélange des couches superficielles de sédiments ou à une diffusion verticale des éléments radioactifs suite à une remobilisation chimique (Appleby 2001). Dans le cas présent, ces hypothèses sont cependant écartées en raison de la concentration du <sup>210</sup>Pb qui affiche une courbe de décroissance à peu près exponentielle dans la carotte CAR-1 et démontre donc la bonne ségrégation physique et chimique des couches sédimentaires. Le résultat pourrait être plutôt simplement attribuable à l'activité généralement faible du <sup>137</sup>Cs dans les sédiments du lac Carheil (0,00-0,05 Bq/g). La chronologie récente des couches superficielles de la carotte CAR-1 n'a donc pu être confirmée à partir du profil d'activité de cet isotope. Une autre façon d'évaluer sommairement la validité de datations établies à l'aide du modèle CRS consiste à déterminer la profondeur à partir de laquelle l'inventaire de <sup>210</sup>Pb est réduit de 90 % par rapport à la valeur de surface. Celle-ci devrait présenter un âge d'environ 74 ans (Appleby et Oldfield 1990; Sorgente et al. 1999). Dans la carotte CAR-1, cette profondeur correspond approximativement au niveau 7,9 cm dont l'âge peut être estimé par extrapolation à 1939 AD, soit 76 ans avant l'année de carottage (2015 AD). Selon cette vérification, le modèle chronologique semble donc adéquat. De plus, l'analyse au <sup>14</sup>C d'un macroreste a permis d'évaluer l'âge du niveau 13,0-13,5 cm à environ 1840 années cal. AD (Tableau 5), ce qui est cohérent avec un prolongement de la courbe chronologique des dates <sup>210</sup>Pb jusqu'à ce niveau.

Afin d'établir la chronologie complète de la carotte composite CAR, une extrapolation a été réalisée à l'aide d'une autre date <sup>14</sup>C (~ 1360 années cal. AD) provenant d'un macroreste retrouvé à l'intervalle de profondeur 26,5-27,0 cm (Figure 18). Des échantillons de

**Tableau 5.** Liste des échantillons datés au  $^{14}\text{C}$  et de leurs âges radiocarbone et calendaires (réels) respectifs dans la carotte composite CAR.

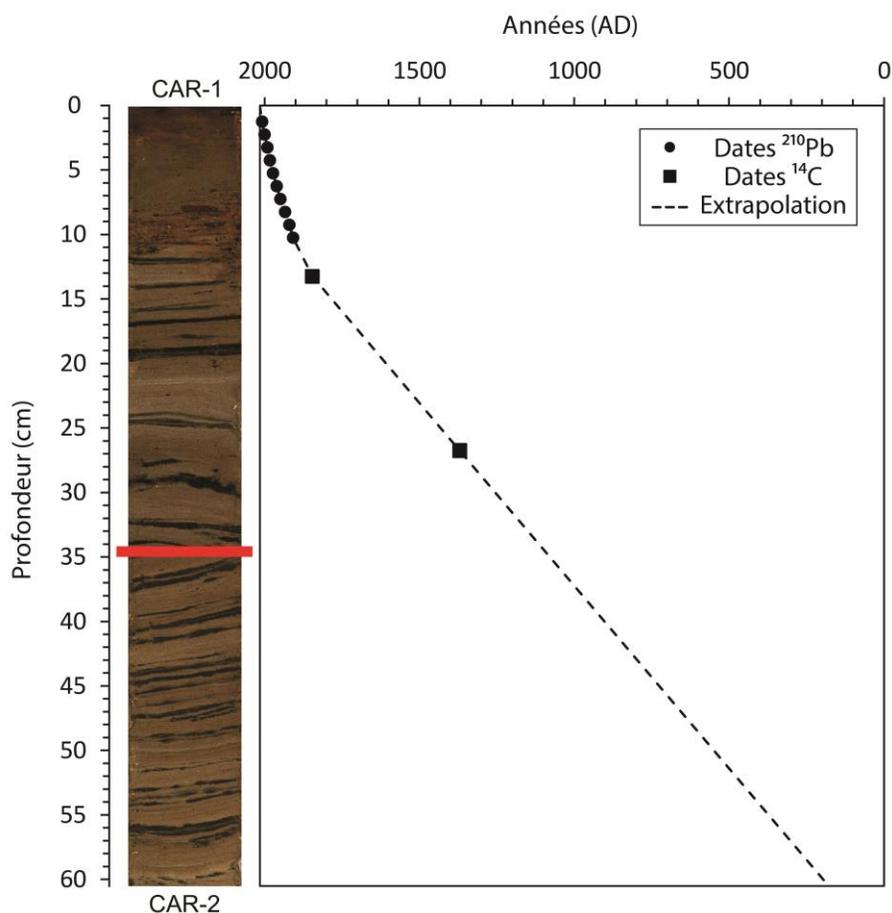
Profondeur (cm)	Type de matériel	# laboratoire	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Âge radiocarbone conventionnel (années BP)	Intervalle <sup>a</sup> (années cal. BP)	Probabilité médiane <sup>b</sup> (années cal. BP)	Probabilité médiane <sup>b</sup> (années cal. AD)
13,0-13,5	Bois	ULA-6379 UCIAMS-179132	ND	130 ± 15	12 - 269	110	1840
21,5-22,0	Sédiments bruts	ULA-6012 UCIAMS-172979	ND	1865 ± 20	1732 - 1868	1810	140 <sup>c</sup>
26,5-27,0	Bois	ULA-6011 UCIAMS-172978	ND	635 ± 20	557 - 661	590	1360
60,0-60,5	Sédiments bruts	ULA-6013 UCIAMS-173542	ND	10 055 ± 35	11 364 - 11 765	11 580	- 9630 <sup>c</sup>

Note : ND, données non disponibles; BP = « Before Present », nombre d'années avant le présent qui est défini par convention comme l'année 1950; AD = « Anno Domini », nombre d'années depuis la naissance de Jésus-Christ telle que définie comme l'an 1.

<sup>a</sup> Intervalle d'âges calibrés selon  $2\sigma$  (95,4 %).

<sup>b</sup> Âge calibré de probabilité médiane arrondi à la décennie près.

<sup>c</sup> Âge non retenu pour le modèle chronologique.



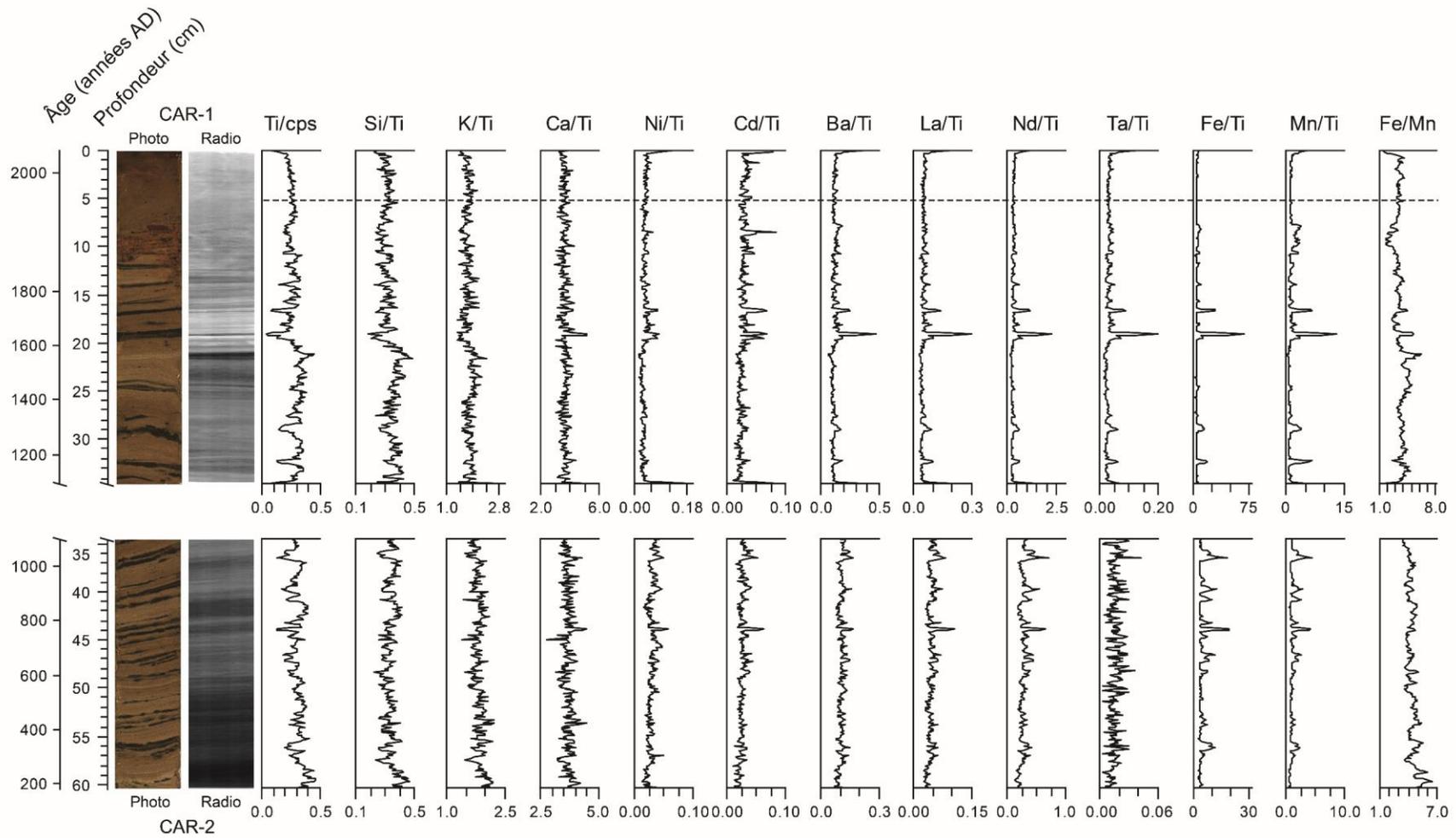
**Figure 18.** Modèle chronologique établi pour la carotte composite CAR à l'aide des résultats des datations au  $^{210}\text{Pb}$  et au  $^{14}\text{C}$ . Le trait rouge sur la photographie marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.

sédiments tirés de deux autres niveaux de la carotte composite CAR (21,5-22,0 et 60,0-60,5 cm) ont également été datés au  $^{14}\text{C}$ . Les résultats obtenus pour ces datations n'ont cependant pas été considérés pour le modèle chronologique puisqu'ils semblaient absurdes. Effectivement, l'âge obtenu pour la profondeur 21,5-22,0 cm était de  $150 \pm 170$  années AD, soit beaucoup plus vieux que le macroreste retrouvé plus profondément à 26,5-27,0 cm. Plus encore, les datations indiquaient un âge de  $-9630 \pm 185$  années AD pour la profondeur 60,0-60,5 cm, ce qui est incohérent avec le fait que la région de Fermont était encore recouverte de glace à ce moment (Occhietti et al. 2011). Ces résultats en apparence erronés ont été attribués à la trop faible concentration de carbone organique à ces profondeurs dans les sédiments du lac Carheil. Des petits macrorestes ont plus tard été extraits à la base de la carotte CAR-2 à l'aide d'une loupe binoculaire en vue de tenter de nouvelles datations au  $^{14}\text{C}$ . La quantité recueillie était cependant insuffisante pour permettre les analyses.

Par ailleurs, la date  $^{210}\text{Pb}$  du niveau 11,25 cm ( $1880 \pm 153$  années AD) a également été exclue pour le traçage de la courbe chronologique en raison de la marge d'erreur importante y étant rattachée et de la disponibilité de la date  $^{14}\text{C}$  au niveau 13,25 cm alors considérée plus fiable. De même, la date  $^{210}\text{Pb}$  du niveau 0,25 cm ( $2014 \pm 3$  années AD) n'a pas été utilisée puisque son inclusion n'était pas pertinente considérant que le niveau 0,0 cm situé à proximité présentait un âge connu correspondant par défaut à l'année de carottage (2015 AD). Selon le modèle chronologique établi, la séquence sédimentaire tirée du lac Carheil couvrirait environ les 1800 dernières années.

### **5.2.3 Radiographies et composition géochimique élémentaire**

Les radiographies prises des carottes CAR-1 et CAR-2 à l'aide du scanner ITRAX démontrent que la densité des couches sédimentaires du lac Carheil tend de manière générale à diminuer du bas vers le haut, ce qui peut être facilement attribué au phénomène de compaction des sédiments (Figure 19). Ce patron n'est cependant pas uniforme alors que plusieurs variations importantes sont observées d'une couche de sédiments à l'autre. Notamment, les intervalles 21,0-24,0 cm, 41,0-42,5 cm et 49,0-60,5 cm présentent de plus fortes densités alors que l'intervalle 15,0-19,5 cm en présente une plus faible. De manière



**Figure 19.** Radiographies (radio) et profils de variation géochimique élémentaire obtenus par microfluorescence X de la carotte composite CAR. La ligne pointillée représente l'année d'inauguration de la ville de Fermont (1974 AD).

générale, les laminations noires apparaissent également différentes du reste de la matrice sédimentaire sur les radiographies. Elles correspondent habituellement à des zones de densité plus faible.

Tout comme pour les sédiments du lac Sans Nom, plusieurs éléments identifiés par microfluorescence X à l'aide du scanneur ITRAX présentaient des profils de concentration mal définis dans les carottes du lac Carheil et n'ont donc pas été considérés dans les analyses (Mg, Al, S, Cl, V, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Pb, Ac, Th, U). Peu de variations géochimiques d'importance sont observées dans la stratigraphie de la carotte composite CAR. De 60,5 cm à 20,0 cm, la concentration des éléments détritiques titane, silicium et potassium est relativement stable. Elle diminue ensuite subitement et demeure plus faible de 20,0 à 0,0 cm. Les plus importants résultats proviennent cependant des ratios Ni/Ti, Cd/Ti, Ba/Ti, La/Ti, Nd/Ti, Ta/Ti et, surtout, Fe/Ti et Mn/Ti dont les profils de valeurs affichent d'importants pics concordant avec la présence des laminations noires dans la stratigraphie sédimentaire à l'image des observations précédemment réalisées pour les carottes de sédiments du lac Sans Nom. Le ratio Fe/Mn présente également une tendance similaire, quoique variable. À l'inverse, la concentration du titane affiche de plus faibles valeurs en lien avec les laminations noires, de même que les ratios K/Ti et S/Ti. La concentration du fer et du manganèse augmente également de manière importante de 11,0 à 7,5 cm correspondant avec la zone de sédiments présentant des dépôts hétérogènes brun-orangé dans la portion supérieure de la carotte CAR-1. Dans cet intervalle, le ratio Fe/Mn affiche cependant des valeurs plus faibles indiquant que l'augmentation de la concentration du manganèse est comparativement plus importante que celle du fer.

Les résultats complets de la radiographie et de l'analyse par microfluorescence X de la carotte CAR-2 peuvent être retrouvés à l'Annexe D.

#### **5.2.4 Contenu en eau, matière organique et C-N**

Les sédiments du lac Carheil présentent un contenu modéré en eau et sont principalement de nature minérale. Certaines variations importantes sont tout de même observées au niveau des variables % Eau, % MO, % C et % N qui présentent des profils similaires et une

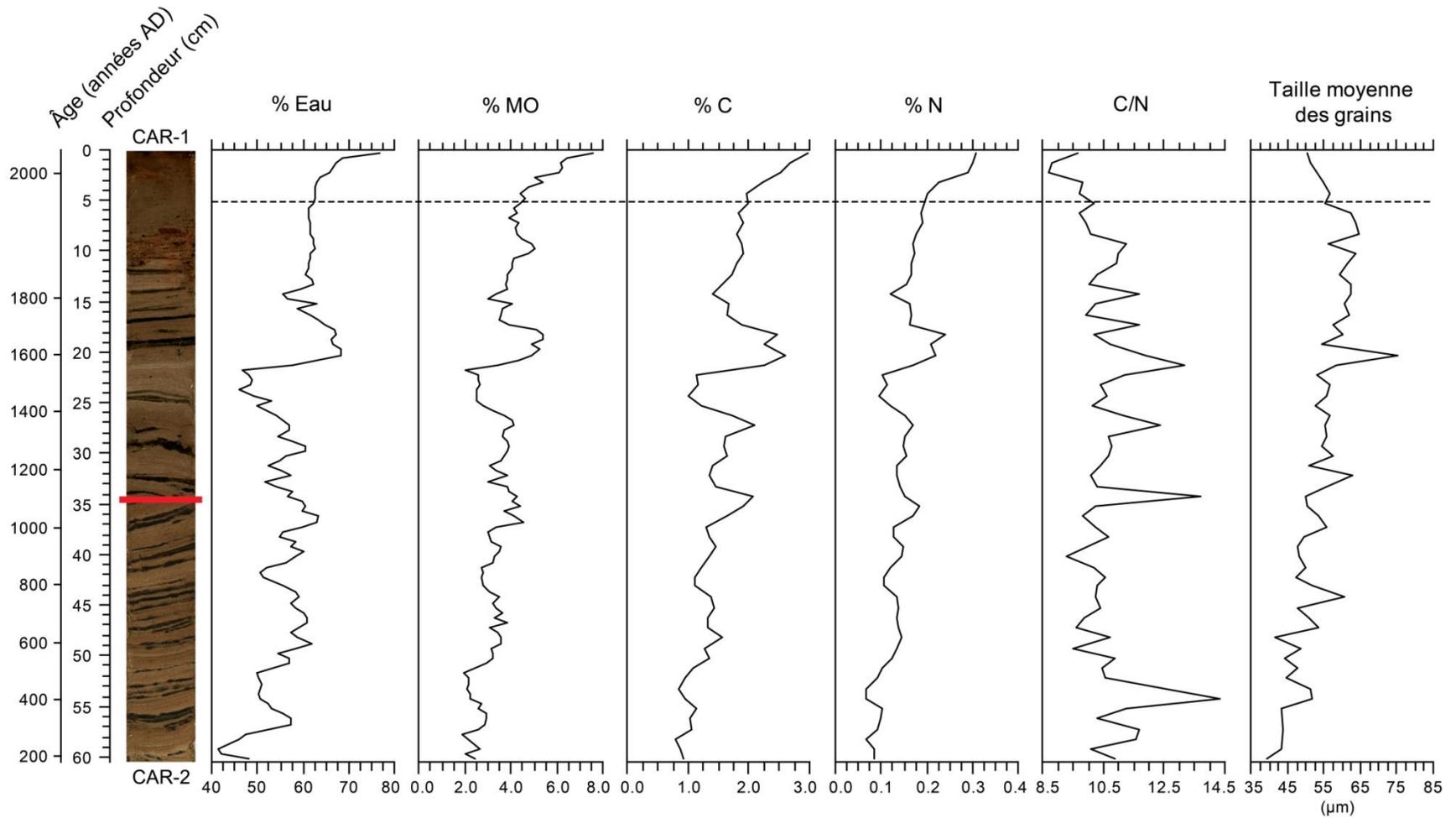
tendance générale vers des valeurs à la hausse du bas vers le haut de la carotte composite CAR (Figure 20). De 60,5 à 27,0 cm, les pourcentages varient tout d'abord entre 41 et 63 % pour le contenu en eau; 1,9 et 4,6 % pour le contenu en matière organique; 0,8 à 2,1 % pour le contenu en carbone; et 0,07 à 0,19 % pour le contenu en azote. Les courbes de concentration des variables présentent ensuite un large creux de 27,0 à 21,0 cm (Eau: 46-58 %; MO: 2,0-4,0 %; C: 1,0-2,3 %; N: 0,09-0,17 %) suivi d'un important pic de 21,0 à 16,0 cm (Eau: 62-68 %; MO: 3,5-5,4 %; C: 1,7-2,6 %; N: 0,16-0,24 %) correspondant avec les variations de teinte des sédiments observées à ces niveaux dans la stratigraphie. Les valeurs oscillent ensuite de 16,0 à 13,0 cm, puis maintiennent une tendance à la hausse de 13,0 à 5,25 cm au fil de la progression stratigraphique vers les couches superficielles plus homogènes de sédiments. La tendance est accentuée dans l'intervalle 5,25 à 0,0 cm correspondant avec l'histoire humaine de la région de Fermont alors que des valeurs maximales sont atteintes en surface pour chaque variable (Eau: 77 %; MO: 7,6 %; C: 3,0 %; N: 0,31 %). Tout au long de la séquence sédimentaire, les laminations noires présentes dans la stratigraphie semblent influencer de manière généralement positive les valeurs de contenu en eau, matière organique, carbone et azote.

La courbe du ratio C/N présente un profil très accidenté de 60,5 à 8,0 cm de profondeur, lequel reflète bien la stratigraphie dynamique de la carotte composite CAR. Dans cet intervalle, les valeurs du ratio oscillent entre 9,3 et 14,3 (moyenne  $\approx$  10,8). La courbe présente ensuite une tendance vers des valeurs plus faibles de 8,0 à 2,0 cm où une valeur minimale de 8,7 est atteinte. De 2,0 à 0,0 cm, le ratio C/N augmente à nouveau jusqu'à une valeur de 9,7 en surface.

Les résultats complets des variations en eau et en matière organique de la carotte CAR-2 peuvent être retrouvés à l'Annexe D.

### **5.2.5 Granulométrie**

L'analyse des données granulométriques à l'aide du programme GRADISTAT indique que les sédiments du lac Carheil consistent en un intermédiaire de sables très fins et de limons



**Figure 20.** Profils géochimique (% Eau, % MO, % C, % N, C/N) et granulométrique (Taille moyenne des grains) de la carotte composite CAR. La ligne pointillée représente l'année d'inauguration de la ville de Vermont (1974 AD), alors que le trait rouge sur la photographie marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.

grossiers à très grossiers (« very fine sandy coarse silt » à « very fine sandy very coarse silt »). Dans la carotte composite CAR, la taille moyenne des grains présente une tendance générale à la hausse de 60,5 à 6,0 cm, puis à la baisse de 6,0 à 0,0 cm (Figure 20). Tout au long de la séquence sédimentaire, les valeurs granulométriques oscillent entre 40 et 75  $\mu\text{m}$ . Plusieurs pics dans le profil des résultats concordent avec la présence des laminations noires dans la stratigraphie.

### **5.2.6 Caractéristiques des laminations noires**

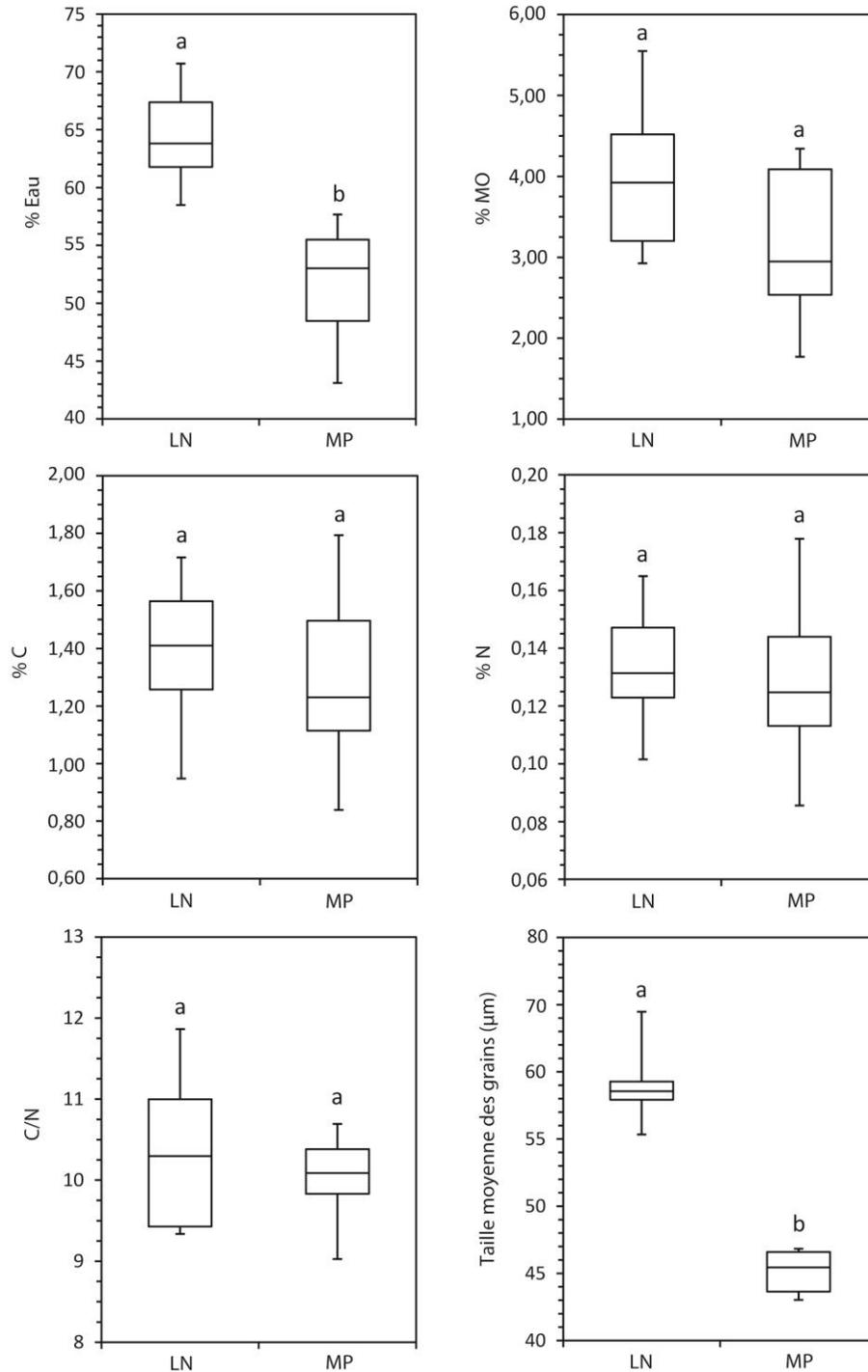
Afin de valider les tendances précédemment observées au niveau des caractéristiques des laminations noires présentes dans la stratigraphie du lac Carheil, un sous-échantillonnage précis et ciblé de ces structures sédimentaires a été réalisé sur la carotte CAR-2. Le matériel constituant les laminations noires des niveaux approximatifs de profondeur 13,0, 15,5, 31,0, 34,5, 40,0, 41,0 et 56,0 cm a été prélevé et comparé à un nombre égal d'échantillons issus de la matrice sédimentaire principale et situés à proximité de chacune d'entre elles. Les sédiments ont ensuite été analysés en termes de leur contenu en eau, matière organique, carbone et azote, ratio C/N et taille moyenne des grains.

Les résultats de toutes les variables (Figure 21) indiquent des valeurs médianes plus élevées pour les laminations noires (Eau : 64 %; MO : 3,9 %; C : 1,4 %; N : 0,13 %; C/N : 10,3; Grains : 59  $\mu\text{m}$ ) en comparaison de la matrice sédimentaire principale (Eau : 53 %; MO : 2,9 %; C : 1,2 %; N : 0,12 %; C/N : 10,1; Grains : 45  $\mu\text{m}$ ). Des analyses statistiques de comparaison de moyenne révèlent cependant que seuls le contenu en eau et la taille moyenne des grains sont significativement différents entre les deux types d'échantillons.

### **5.2.7 Assemblages diatomifères**

#### **5.2.7.1 Composition et évolution**

Un nombre élevé d'espèces de diatomées a été recensé dans les sédiments du lac Carheil. En tout, 364 taxons appartenant à 66 genres ont été identifiés et dénombrés dans la carotte

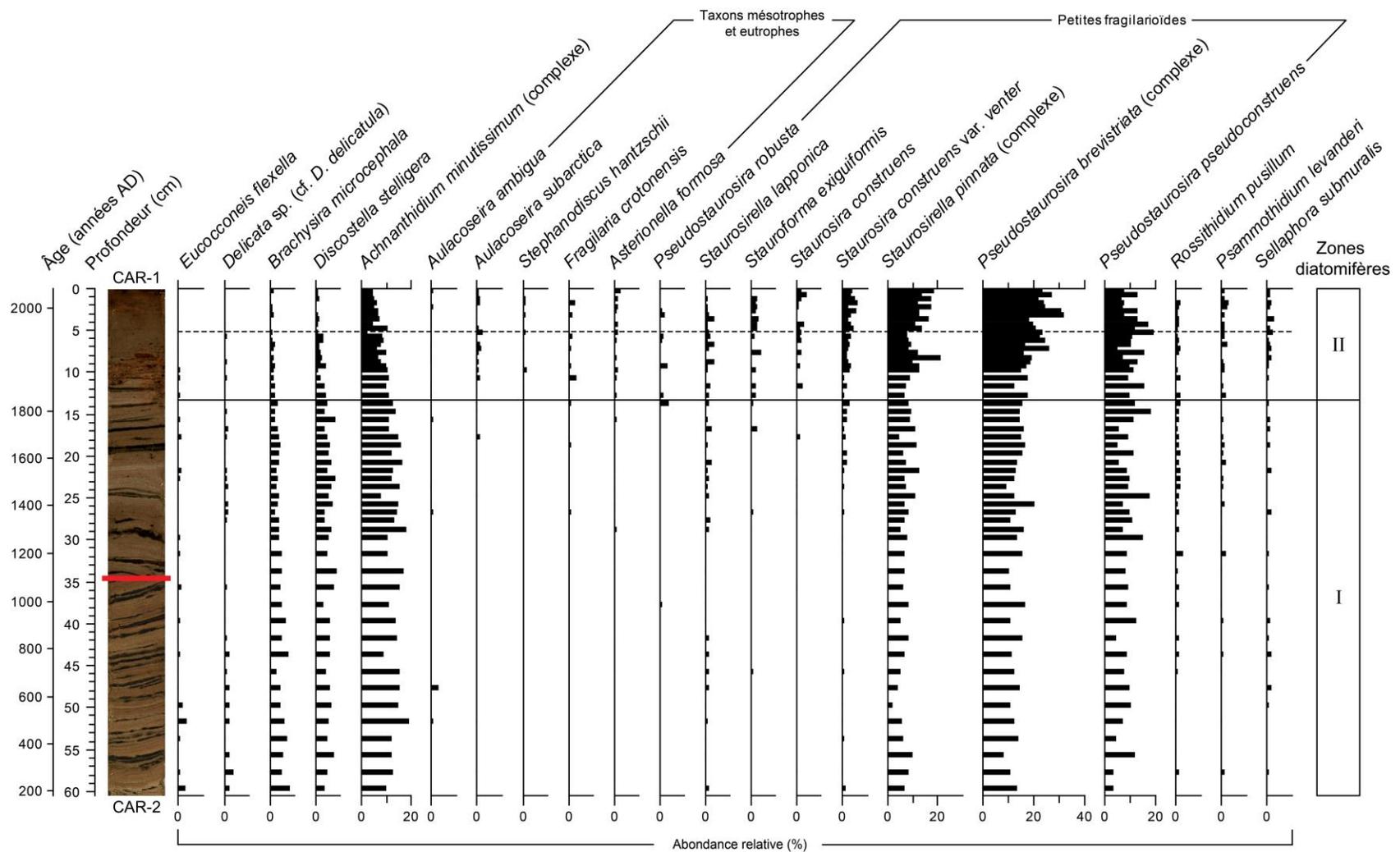


**Figure 21.** Comparaison des caractéristiques associées aux laminations noires (LN) et à la matrice sédimentaire principale (MP) dans la carotte CAR-2. Les boîtes identifient le 1<sup>er</sup> (Q1) et le 3<sup>e</sup> (Q3) quartiles de la distribution des valeurs, la barre horizontale représente la médiane et les barres verticales adjacentes définissent l'étendue des données. Pour une même variable, deux lettres différentes (a et b) indiquent des moyennes significativement différentes selon le test non-paramétrique de Mann-Whitney, alors que deux lettres identiques (a et a) indiquent qu'aucune différence statistique n'est existante. Contrairement au protocole, une quantité de 0,10 à 0,15 g de sédiments a ici été utilisée pour la perte-au-feu.

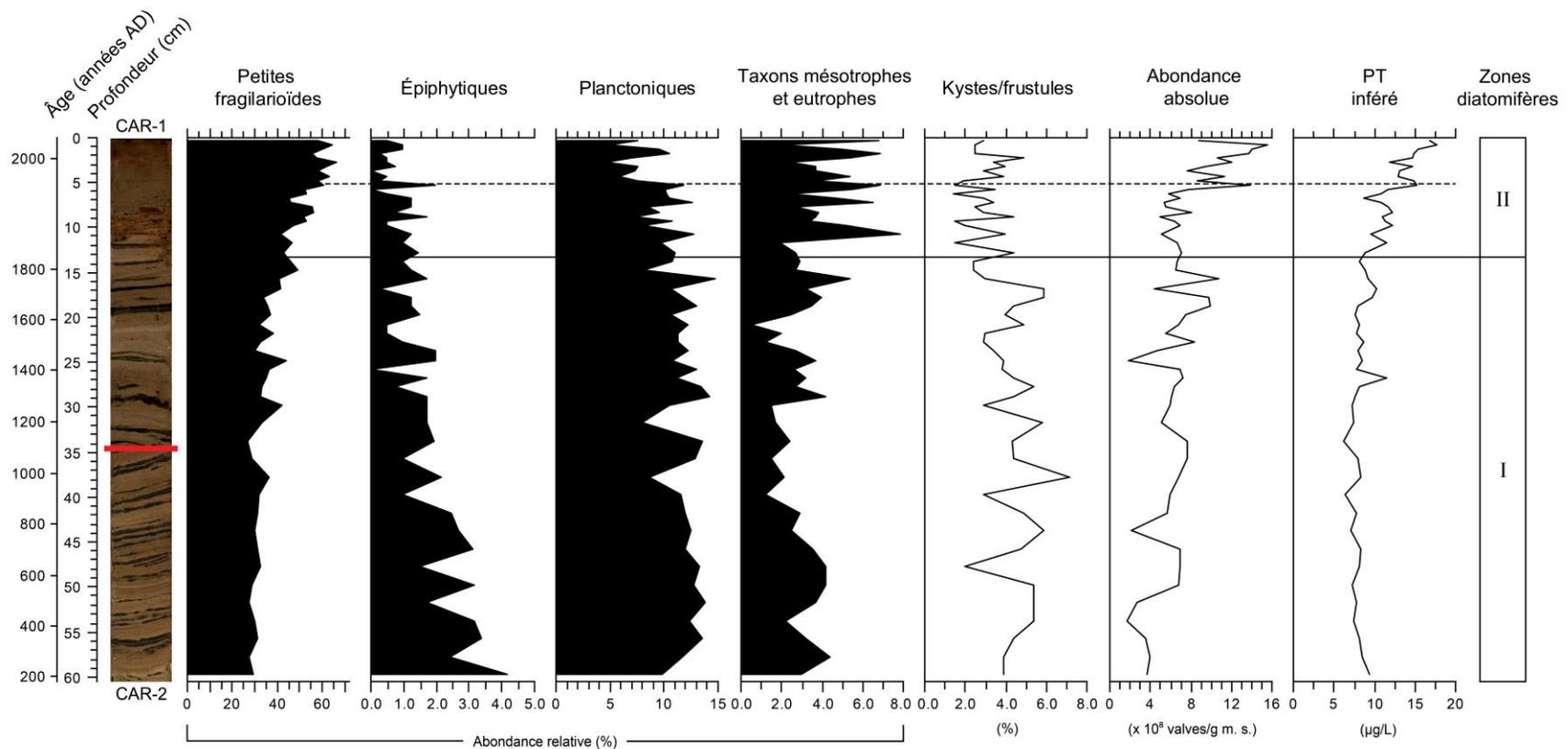
composite CAR. Les analyses ont permis d'identifier deux zones biostratigraphiques statistiquement distinctes délimitées par la profondeur de 13,25 cm (~ 1850 AD).

La zone I (60,5 à 13,25 cm) est principalement dominée par les espèces *S. pinnata*, *P. brevistriata* et *P. pseudoconstruens* (Figure 22). L'abondance relative combinée des petites fragilarioïdes est d'abord assez stable de 60,5 à 20,0 cm (moyenne ≈ 32 %), mais suit ensuite une tendance à la hausse de 20,0 à 13,25 cm (Figure 23). Dans cette zone, l'espèce *D. stelligera* (moyenne ≈ 6 %) et le complexe *A. minutissimum* (moyenne ≈ 14 %) font également partie des taxons importants de diatomées. Il en est de même pour l'espèce *B. microcephala* dont l'abondance relative suit cependant une courbe de décroissance progressive de 60,5 à 13,25 cm, selon des valeurs variant entre 2 et 9 %, à l'image de celle observée pour les diatomées épiphytiques.

La zone II (13,25 à 0,0 cm) est marquée par une augmentation de la concentration des petites fragilarioïdes suivant la tendance amorcée à 20,0 cm de profondeur (~ 1600 AD). Plusieurs taxons rares dans la zone I deviennent ici plus fréquents et abondants, tels que *Pseudostaurosira robusta*, *Staurosirella lapponica*, *Stauroforma exiguiiformis*, *Staurosira construens* et *Staurosira construens* var. *venter*. Il en est de même pour les espèces typiques des milieux méso- à eutrophes *A. subarctica*, *S. hantzschii*, *F. crotonensis* et *Asterionella formosa*. À l'inverse, l'abondance relative de l'espèce *D. stelligera* et du complexe *A. minutissimum* diminue progressivement jusqu'en surface. Cette tendance est accentuée dans la portion de 5,25 à 0,0 cm correspondant avec l'histoire humaine de la région de Fermont où *D. stelligera* disparaît presque complètement des assemblages diatomifères. La somme combinée des taxons planctoniques diminue également de façon notable dans cette sous-zone malgré l'augmentation de l'abondance relative individuelle de plusieurs espèces de ce type qui étaient auparavant peu présentes. Finalement, l'abondance relative de *B. microcephala* continue de décroître dans la zone II tout comme celle des taxons épiphytiques.



**Figure 22.** Profil stratigraphique des taxons communs de diatomées (abondance relative  $\geq 2,5$  % dans au moins un niveau, sauf *S. hantzschii*) préservés dans les assemblages de la carotte composite CAR. La ligne pointillée représente l'année d'inauguration de la ville de Fermont (1974 AD), alors que la ligne pleine marque la séparation des deux zones biostratigraphiques (~1850 AD). Le trait rouge sur la photographie marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.



**Figure 23.** Profil stratigraphique des diatomées de type petites fragilarioïdes, épiphytiques, planctoniques et mésotrophes et eutrophes dans la carotte composite CAR. La liste des taxons constituant chaque groupe peut être retrouvée à l'Annexe G. Les profils de variation du ratio des kystes de chrysophycées sur les frustules de diatomées, de l'abondance absolue des valves de diatomées et de la concentration de phosphore total de l'eau inférée à partir des assemblages diatomifères ( $PT_{\text{inféré}}$ ) sont également illustrés. La ligne pointillée représente l'année d'inauguration de la ville de Fermont (1974 AD), alors que la ligne pleine marque la séparation des deux zones biostratigraphiques (~1850 AD). Le trait rouge sur la photographie marque la séparation entre les deux séquences sédimentaires qui ont été combinées pour former la carotte composite.