



**HAL**  
open science

## Analyse des carottes du RCC de Péage-de-Roussillon. OSR4 | Action II.3

Thierry Winiarski, Gwenaëlle Roux

### ► To cite this version:

Thierry Winiarski, Gwenaëlle Roux. Analyse des carottes du RCC de Péage-de-Roussillon. OSR4 | Action II.3. [Rapport de recherche] ENTPE. 2017. hal-03748549

**HAL Id: hal-03748549**

**<https://hal.science/hal-03748549>**

Submitted on 9 Aug 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

OSR4 2015-2017

# Analyse des carottes du RCC de Péage-de-Roussillon



**O**bservatoire  
**S**édiments  
**R**hône

## Action II.3

*Rapport final, novembre 2017*

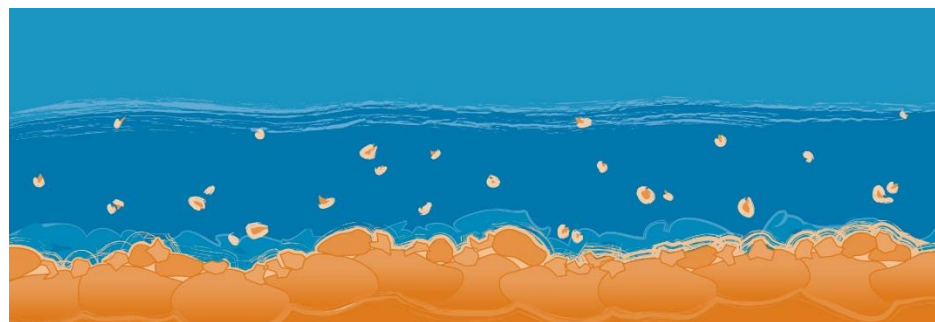


© Bianca Raeppe

2015 - 2020



Donnons un avenir à notre fleuve





Personnes impliquées	Equipe de recherche
Thierry Winiarski	LEHNA-IPE
Gwenaëlle Roux	EGEOS sous contrat LEHNA-IPE

## Détermination de la dynamique sédimentaire spatiale et temporelle de la plaine alluviale du secteur de Péage-de-Roussillon

### Rapport d'analyses chimiques des carottes : datation, XRF, mesures de concentration en PCB, analyse des métaux Cd, Zn, Ni, Pb, Hg, Cu

#### Résumé

Le présent rapport fait suite au livrable *Traitement et analyse des radargrammes* (Action II.2). Il en constitue la suite logique, opératoire et scientifique, ce livrable ne reprend pas les descriptions sédimentaires et les analyses sédimentologiques du livrable de l'action II.2 ; il en constitue la synthèse complétée par la présentation des résultats d'analyses chimiques (laboratoire EDYTEM et Laboratoire LEHNA-IPE), des analyses de radionucléides (Laboratoire LSCE de Gif-sur-Yvette) et des analyses de PCB<sub>i</sub> (Laboratoire LABERCA). Une première interprétation des résultats est présentée.

#### Mots-clés

RCC Péage-de-Roussillon, carotte, datation, ETM, PCB<sub>i</sub>





## Table des matières

.....	1
Introduction .....	11
I. Matériel et méthode.....	12
I.1. Apport de la campagne géophysique.....	12
I.2. Analyse des radionucléides.....	12
I.3. La spectrométrie Gamma.....	12
I.3.a. Le plomb 210.....	13
I.3.b. Le Césium 137.....	13
I.4. Les mesures chimiques XRF.....	13
I.5. L'analyse chimique quantitative.....	14
I.6. Les analyses PCB.....	14
II. Résultats.....	14
II.1. Les carottes analysées et leur environnement sédimentaire.....	14
II.1.a. Le site 3 et la carotte C3.....	15
II.1.b. Le site 10 et les carottes C10c, C10b et C10a.....	18
II.1.c. Le site 12 et les carottes C12b et C12a.....	23
II.2. Synthèse des analyses de radionucléides.....	28
II.2.a. La carotte C10a.....	28
II.2.b. La carotte C10b.....	30
II.3. Corrélation entre les analyses chimiques qualitatives et les analyses chimiques quantitatives.....	31
II.4. Synthèse des analyses chimiques.....	34
II.4.a. Le site 3 et la carotte C3.....	34
II.4.b. Le site 10 et les carottes C10a, C10b et C10c.....	38
II.4.c. Le site 12 et les carottes C12a et C12b.....	44
II.5. Synthèse des analyses de PCB <sub>i</sub> et chroniques historiques de pollution des deux archives sédimentaires échantillonnées.....	49
II.6. Hypothèse de temporalité de dépôt pour l'ensemble des carottes du RCC de Péage-de-Roussillon.....	53
Conclusion.....	58
Annexe 1 – Résultats des analyses en radionucléides (Laboratoire LSCE, Gif-sur-Yvette).....	62
Annexe 2 – Résultats des analyses au Core-Scanner.....	68
Annexe 3 – Résultats des analyses chimiques quantitatives.....	106



## Figures

Figure 1 : Emplacement des six prélèvements par carottage sur le Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon. ....	11
Figure 2 : La carotte C3 représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants. ....	16
Figure 3 : La carotte C3 représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants et interprétation des structures sédimentaires constituant l'environnement de dépôt. ....	17
Figure 4 : Les carottes C10a et C10b représentées sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants. ....	19
Figure 5 : La carotte C10c représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants. ....	20
Figure 6 : Les carottes C10a et C10b représentées sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants et identification des structures sédimentaires constituant l'environnement de dépôt des archives. ....	21
Figure 7 : La carotte C10c représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz, en bas) et les transects courts (antenne de 400 MHz, en haut) correspondants et identification des structures sédimentaires constituant l'environnement de dépôt de l'archive. ....	22
Figure 8 : La carotte C12a représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants. ....	24
Figure 9 : La carotte C12b représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants. ....	25
Figure 10 : La carotte C12a représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants et interprétation des structures sédimentaires. ....	26
Figure 11 : La carotte C12b représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants et interprétation des structures sédimentaires. ....	27
Figure 12 : Résultats des analyses en radionucléides ( $^{210}\text{Pb}$ , $^{137}\text{Cs}$ et $^7\text{Be}$ ) pour chaque échantillon de la carotte C10a, en Bq. ....	28
Figure 13 : Activité spécifique (en Bq) du $^{210}\text{Pb}$ en excès dans la carotte C10a, en fonction de la profondeur d'échantillonnage (en cm) ; en vert : les valeurs au-dessus du seuil de détection, en rouge : les valeurs en dessous du seuil de détection, donc remplacée par la moitié de ce dernier. ....	29
Figure 14 : Résultats des analyses en radionucléides ( $^{210}\text{Pb}$ , $^{137}\text{Cs}$ et $^7\text{Be}$ ) pour chaque échantillon de la carotte C10b, en Bq. ....	30
Figure 15 : Activité spécifique (en Bq) du $^{210}\text{Pb}$ en excès dans la carotte C10a, en fonction de la profondeur d'échantillonnage (en cm) ; en vert : les valeurs au-dessus du seuil de détection, en rouge : les valeurs en dessous du seuil de détection, donc remplacées par la moitié de ce dernier. ....	31
Figure 16 : Comparaison des données chimiques qualitatives et quantitatives pour le cuivre. ....	33
Figure 17 : Comparaison des données chimiques qualitatives et quantitatives pour le zinc. ....	33
Figure 18 : Comparaison des données chimiques qualitatives et quantitatives pour le plomb. ....	34
Figure 19 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C3. ....	36
Figure 20 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour la carotte C3. ....	37
Figure 21 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C10a. ....	39

<i>Figure 22 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C10b.</i>	40
<i>Figure 23 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour les carottes C10a et C10b.</i>	41
<i>Figure 24 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C10c.</i>	42
<i>Figure 25 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour la carotte C10c.</i>	43
<i>Figure 26 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C12a.</i>	45
<i>Figure 27 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour la carotte C12a.</i>	46
<i>Figure 28 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C12b.</i>	47
<i>Figure 29 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour la carotte C12b.</i>	48
<i>Figure 30 : Résultats des analyses chimiques quantitatives Cu/Rb, Pb/Rb, Zn/Rb et des analyses en PCB<sub>i</sub> en fonction de la profondeur pour la carotte C10a.</i>	51
<i>Figure 31 : Résultats des analyses chimiques quantitatives Cu/Rb, Pb/Rb, Zn/Rb et des analyses en PCB<sub>i</sub> en fonction de la profondeur pour la carotte C10b.</i>	52
<i>Figure 32 : Production et consommation en PCB<sub>i</sub> (en tonnes) en France.</i>	53
<i>Figure 33 : Concentration en PCB<sub>i</sub> (en µg/kg MS) dans a) la carotte C10a et b) la carotte C10b.</i>	54
<i>Figure 34 : Débits (en m<sup>3</sup>/s) journaliers enregistrés à la station de Serrières (données CNR).</i>	54
<i>Figure 35 : Évolution du pourcentage de sable dans a) la carotte C10a et b) la carotte C10b en fonction de la profondeur d'échantillonnage en cm.</i>	55
<i>Figure 36 : Hypothèses de temporalité de dépôts pour l'ensemble des cinq archives sédimentaires prélevées dans le RCC de Péage-de-Roussillon.</i>	57

## Tableaux

<i>Tableau 1 : Seuils de qualité (mg/kg de sédiment sec, analyse sur la fraction &lt;2mm) pour les métaux lourds pris pour les sédiments de cours d'eau ou de canaux de navigation, d'après l'arrêté du 09 Août 2006. ....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 2 : Maximum, minimum et moyenne des analyses chimiques quantitatives pour chaque carotte échantillonnée. ....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 3 : Valeur moyenne de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans la carotte C3 pour chacune des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes. ....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 4 : Valeur moyenne de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans les carottes C10a, C10b et C10c pour chacune des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 5 : Valeur moyenne de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans les carottes C12a et C12b pour chacune des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes. ....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 6 : Résultats des analyses en PCB<sub>i</sub> (avec côte centimétrique de chaque échantillon) sur la carotte C10a. ....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 7 : Résultats des analyses en PCB<sub>i</sub> (avec côte centimétrique de chaque échantillon) sur la carotte C10b. ....</i>	<i>50</i>





## Introduction

Après avoir mené une campagne de géophysique au radar géologique sur environ 10 km de transects (livrable *Action II.2 : Traitement et analyse des radargrammes*) afin de déterminer la géométrie des structures sédimentaires en place dans le Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon, six carottes sédimentaires ont été prélevées, décrites, et des analyses granulométriques ont été réalisées avec un pas d'échantillonnage de 2 cm. La **Figure 1** rappelle l'emplacement de ces six prélèvements.

L'objectif de ce livrable est de présenter les résultats (i) des analyses en radionucléides réalisées sur les carottes C10a et C10b, (ii) des analyses au Core-Scanner réalisées sur l'ensemble des six carottes, avec un pas d'échantillonnage de 0,5 cm, (iii) des analyses chimiques quantitatives réalisées avec un pas d'échantillonnage d'environ 6 cm sur l'ensemble des six carottes, et enfin (iv) des analyses en PCB réalisées sur les mêmes archives que les radionucléides, soit C10a et C10b.

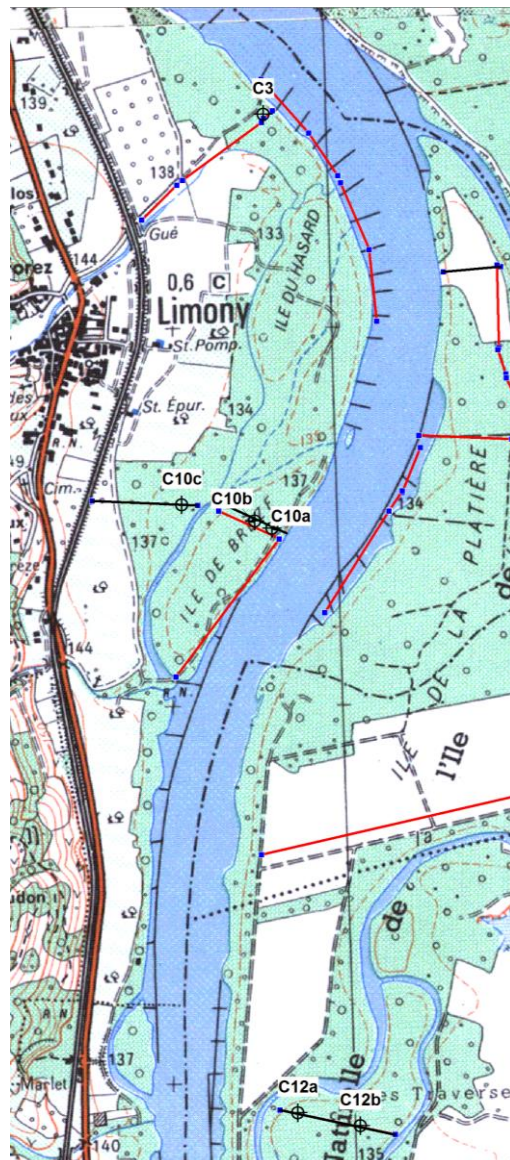


Figure 1 : Emplacement des six prélèvements par carottage sur le Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon.

## I. Matériel et méthode

### I.1. Apport de la campagne géophysique

L'emplacement des carottes a été déterminé par l'analyse des radargrammes issus de la prospection au radar géologique. La présentation de l'ensemble des radargrammes obtenus sur la totalité du RCC de Péage-de-Roussillon a déjà été réalisée dans le livrable « *Traitement et analyse des radargrammes* », elle ne sera donc pas reprise dans ce rapport. Nous nous concentrerons en effet uniquement sur les radargrammes réalisés au droit des carottes prélevées.

Ces radargrammes ont été acquis avec deux antennes différentes, qui répondent à plusieurs besoins :

- des radargrammes à l'antenne de 200 MHz : de plusieurs centaines de mètres, ces profils ont une profondeur d'investigation d'environ 5 mètres, et une résolution verticale d'environ 30 centimètres. Ils permettent d'identifier les grandes structures sédimentaires en place dans le dépôt ;
- des radargrammes à l'antenne de 400 Mhz : réalisés de manière perpendiculaire l'un à l'autre, deux transects dits « courts » d'une dizaine ou d'une vingtaine de mètres ont été investigués au droit de chaque carotte. Ces radargrammes présentent une profondeur d'investigation moindre (de l'ordre de 3 mètres) mais avec une meilleure résolution verticale (d'environ une dizaine de centimètres) que ceux de l'antenne de 200 MHz. Ils complètent donc la première investigation en permettant de relier de manière plus fine les variations chimiques avec les différents réflecteurs observés.

Le couplage entre les analyses réalisées sur les archives sédimentaires et les radargrammes acquis au radar géologique permet d'extrapoler les résultats des carottes dans un premier temps en 2D, sur l'hypothèse que les analyses réalisées sur la carotte sont caractéristiques de toute la structure sédimentaire investiguée. Dans un second temps, une proposition sur l'ensemble du RCC de Péage-de-Roussillon pourra être émise, mais cette étape fera l'objet d'un rapport de synthèse ultérieur car elle nécessite la synthèse des résultats acquis par l'ensemble des équipes participant au présent programme de recherche.

### I.2. Analyse des radionucléides

L'étude de la radioactivité permet une datation absolue des couches successives d'une carotte. Dans cette étude, une attention particulière a été portée à l'échelle du siècle, par l'étude des isotopes naturels ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ) et artificiels ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) provenant des essais nucléaires aériens (antérieurs au moratoire international de 1964) injectant dans l'atmosphère des isotopes artificiels qui sont le produit de la fission, et des accidents de centrales (Tchernobyl en 1986).

Les échantillons ont été séchés à 60°C pendant trois jours, puis conservés dans des boîtes en polystyrène. La spectrométrie gamma a été réalisée au LSCE de Gif-sur-Yvette sur deux demi-carottes du Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon : C10a et C10b.

### I.3. La spectrométrie Gamma

L'échantillon est protégé de la radioactivité ambiante par un château de plomb. Les photons gamma sont détectés à l'aide d'un détecteur de germanium, caractérisé par une grande pureté, un bruit de fond très faible et une efficacité relative de 20,6%. Ce type de détecteur présente une excellente efficacité aux basses énergies, ce qui est particulièrement nécessaire pour les isotopes qui nous intéressent dans notre étude (soit 46.52 keV pour le  $^{210}\text{Pb}$  et 600 KeV pour le  $^{137}\text{Cs}$ ). Chaque comptage s'effectue sur une durée de 24 heures au minimum. Le spectre gamma ainsi obtenu met en évidence des marqueurs géochimiques (K, U, Th) et des marqueurs temporels ( $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ).

### 1.3.a. Le plomb 210

Cet isotope radioactif du Plomb est issu de la chaîne de désintégration de  $^{238}\text{U}$ . Ce dernier est contenu naturellement dans la croûte terrestre, et subit la chaîne de désintégration suivante : Uranium 238 ( $^{238}\text{U}$ ) > Uranium 234 ( $^{234}\text{U}$ ) > Thorium 230 ( $^{230}\text{Th}$ ) > Radium 226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) > Radon 222 ( $^{222}\text{Rn}$ ).

Le  $^{222}\text{Rn}$  ainsi généré est un gaz inerte. Lorsqu'il est produit à proximité de la surface, le gaz s'échappe dans l'atmosphère où il se désintègre (demi-vie de 3,8 jours) en un radionucléide métallique, le Polonium 218 ( $^{218}\text{Po}$ ) qui se désintègre en quelques minutes en  $^{210}\text{Pb}$  (demi-vie de 22,3 ans). Le  $^{210}\text{Pb}$  s'adsorbe sur des aérosols submicroniques et retombe sur la surface terrestre sous forme de précipitations sèches et humides (de 50 à 75%). Le  $^{210}\text{Pb}$  peut se fixer sur les sédiments en raison de sa forte affinité particulaire. Suite aux retombées atmosphériques d'aérosols, la majorité du  $^{210}\text{Pb}$  se retrouve ainsi stockée dans les alluvions des cours d'eau. Ce plomb est dit « non supporté » car sa quantité au sein d'un sédiment diminue avec le temps selon la loi de décroissance radioactive suivante :

$$A = A_0 e^{-\Delta t}$$

où  $t$  correspond au temps écoulé depuis la sédimentation,  $A_0$  à l'activité initiale du dépôt,  $A$  à l'activité mesurée au temps  $t$  et  $\Delta$  la constante de décroissance.

Le principe de datation via le  $^{210}\text{Pb}$  s'appuie sur l'hypothèse que le flux atmosphérique de  $^{210}\text{Pb}$  est constant, ce qui implique que l'activité de l'isotope radioactif à la surface des sédiments reste toujours identique. Cette hypothèse permet en mesurant l'activité du plomb non supporté à un horizon sédimentaire et en appliquant la loi de décroissance radioactive de déterminer l'âge des sédiments :  $A=A_0 e^{-\Delta t}$  soit  $t = (-\Delta/\ln 2) \cdot \ln(A/A_0)$ . Sur l'hypothèse que le  $^{222}\text{Rn}$  est en équilibre avec le  $^{226}\text{Ra}$ , l'excès de  $^{210}\text{Pb}$  est obtenu par la soustraction de l'activité spécifique de la totalité du  $^{210}\text{Pb}$  à l'activité du  $^{226}\text{Ra}$ .

### 1.3.b. Le Césium 137

Le Césium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $T_{1/2} = 30$  ans) est un émetteur provenant notamment de la fission de l'Uranium-235 et de l'Uranium-238. Purement artificiel, les sources et le cycle des émissions atmosphériques de cet élément sont identiques au plutonium : il s'agit principalement de bombes à ciel ouvert et des accidents nucléaires. Ainsi, de 1954 à 1962 (maximum des émissions en rapport avec le Limited Test Ban Treaty)  $5,18 \cdot 10^{17}$  Bq de  $^{137}\text{Cs}$  ont été introduits dans l'atmosphère et répandus à l'échelle globale. Le 26 avril 1986 se produit l'accident de Tchernobyl qui a des conséquences plus locales. 79% (soit  $7700 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$  en moyenne) de ces retombées touchent l'Europe.

Le Césium présente une forte affinité pour la phase argileuse dans des conditions de surface et d'eau douce. La demi-vie du  $^{137}\text{Cs}$  (30 ans) et sa fonction d'entrée dans l'environnement font que cet élément est particulièrement adapté à la détermination de taux d'érosion et de sédimentation à l'échelle séculaire.

## 1.4. Les mesures chimiques XRF

Les mesures par spectrométrie de fluorescence des rayons X, ou XRF, sont des mesures non destructives. Elles ont été réalisées par Madame Anne-Lise Develle, de la composante CISM du laboratoire EDYTEM, avec un pas d'échantillonnage de 5 mm sur l'ensemble des six archives sédimentaires prélevées sur le RCC de Péage-de-Roussillon.

Le principe de la spectrométrie de fluorescence X repose sur l'exploitation de l'effet photoélectrique. L'appareil utilisé est un core-scanner Avaatech Variable Optical XRF System. Chaque échantillon est bombardé de rayons X émis par une anode de rhodium susceptible d'exciter les éléments allant du magnésium à l'uranium. Les photons excités d'énergie caractéristique des éléments sont détectés par un capteur de rayons X Silicon Drift Detector, ou SDD, et un nombre de coups pour chaque énergie est enregistré. L'analyse se déroule sous une atmosphère d'hélium, et la surface de mesure est suffisamment grande pour que l'inhomogénéité du sédiment n'empêche pas la mesure d'être représentative.

Les coups enregistrés sont retranscrits sous forme de pics centrés sur l'énergie propre des éléments sondés, dans un diagramme compte-de-coups / énergie. Le signal est ensuite intégré de manière à ce qu'à chaque élément détecté soit associée une surface. Cette surface sera alors représentative de la concentration de l'élément à la profondeur scannée.

**Puisque seule une fraction des atomes d'un élément sera excitée par rayon X, il est important de noter que la mesure XRF n'est qu'un indicateur de concentration, et non pas une mesure de la concentration totale de chaque élément dans l'échantillon.**

Les résultats transmis ont été nettoyés : les mesures multiples ont été remplacées par leur valeur moyenne, les surfaces de pics négatives ainsi que les points aberrants ont été supprimés.

### I.5. L'analyse chimique quantitative

Les échantillons ont été prélevés sur une épaisseur de 0,5 cm, de façon à pouvoir coïncider avec l'échantillonnage des analyses au Core-Scanner. Sur cet échantillon, 100 mg ont été prélevés afin de réaliser une minéralisation par four à micro-onde CEM / Xpress. Cette minéralisation s'effectue avec 2 mL de HNO<sub>3</sub> ultrapur et de 6 mL de HCl ultrapur. La montée en température jusqu'à 180°C est réalisée en 15 min avec un palier de 30 min. Les échantillons sont ensuite filtrés sur des filtres Whatmann n° 541 puis repris dans 25 mL.

Toutes les mesures sont donc réalisées sur 25 mL de minéralisat filtré.

### I.6. Les analyses PCB

Les polychlorobiphényles (PCB) sont une famille d'organochlorés comptant 209 congénères. Bien qu'ils soient tous théoriquement analysables, les mesures à des fins environnementales sont généralement effectuées sur seulement une vingtaine de congénères (limites analytiques et coût élevé) ; plus généralement, les études se limitent aux 7 PCB indicateurs.

Dans le cadre de ce programme, ont été analysés pour chaque échantillon les 7 PCB indicateurs : # 101, # 118, # 138, # 153, # 180, # 28, # 52.

Aucune normalisation au carbone organique total ou à la granulométrie n'est exigée dans les mesures de PCB sur les sédiments faites par les services de l'État, les gestionnaires, les associations de protection de la nature, les industriels, etc. Pourtant, il a été démontré que les PCB présentent des affinités avec la matière organique et les particules fines (granulométrie < 63 µm).

Toutes les analyses en PCB des sédiments proviennent du laboratoire EUROFIN / LABERCA : elles peuvent donc être comparées. Dans ce laboratoire, l'extraction des dioxines et PCB est normalement réalisée pour des sédiments selon la méthode accréditée QMA 504-192. Elle comporte trois grandes étapes, que sont la préparation de l'échantillon et l'extraction, la purification de l'extrait et l'analyse par HRGC-HRMS (Chromatographie gazeuse capillaire couplée à une spectrométrie de masse haute résolution).

## II. Résultats

### II.1. Les carottes analysées et leur environnement sédimentaire

Les **Figures 2 à 11** présentent les carottes (représentées par leur description sédimentologique) sur les radargrammes correspondant acquis à l'antenne de 200 MHz et à l'antenne de 400 MHz. Elles sont présentées d'amont en aval sur le RCC de Péage-de-Roussillon, soit la carotte C3 située sur le site 3, les carottes C10a, C10b et C10c sur le site 10 et les carottes C12a et C12b sur le site 12.

### *II.1.a. Le site 3 et la carotte C3*

La Figure 2 représente le radargramme acquis à l'antenne de 200 MHz (d'une longueur totale de 30 mètres), ainsi que les deux radargrammes courts acquis à l'antenne de 400 MHz (chacun d'une longueur d'environ 15 mètres) acquis perpendiculairement l'un à l'autre au droit de la carotte C3, en rive droite du Rhône. Ces radargrammes sont traités, de façon à rendre la position des réflecteurs plus lisible et leur interprétation plus aisée (voir le livrable 2 pour plus de précisions sur la méthode de traitement des radargrammes).

La **Figure 3** présente ces mêmes radargrammes, avec leur interprétation en termes de structures sédimentaires, de façon à dans un premier temps caractériser leur environnement de dépôt et de pouvoir dans un second temps extrapoler les résultats d'analyses chimiques.

La carotte C3 est proche du Rhône, et les structures principales se décomposent, de la surface vers la profondeur :

- d'une structure de surface, d'une épaisseur d'environ 50 cm, représentée en rose ; cette structure est continue sur l'ensemble du transect ;
- d'un remplissage de type chenal, sableux, représenté en gris ;
- d'un remplissage sous forme de lentilles silteuses, représenté en jaune moutarde ;
- d'un remplissage plus profond (à partir d'environ 3 mètres de profondeur), plus fin (silts et argiles), représenté en violet.

Cette carotte n'a pas été analysée plus en détails (chimie, core scanner,) car elle se situe dans une zone de sédimentation ancienne (antérieure au XIXe siècle).



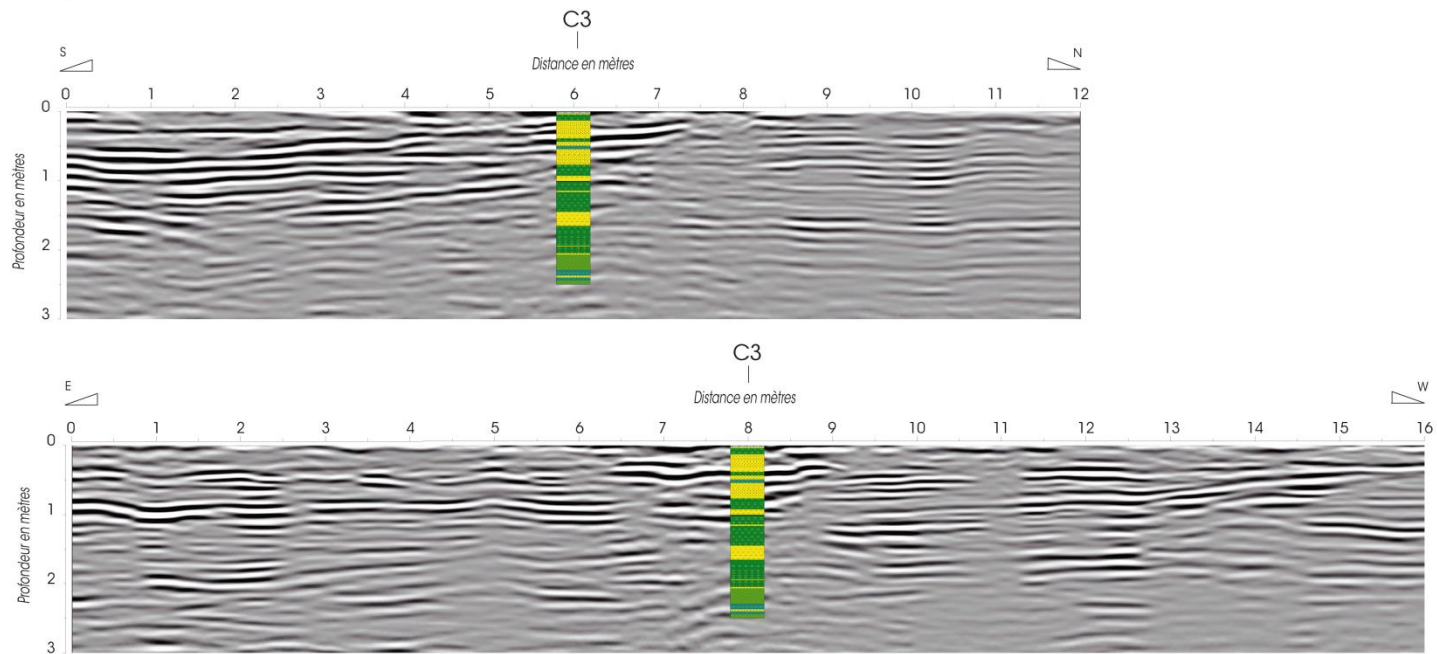
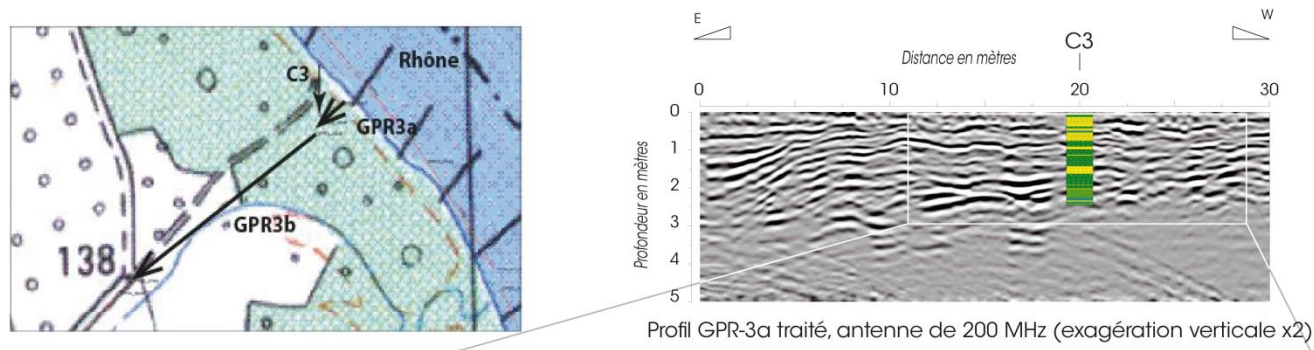
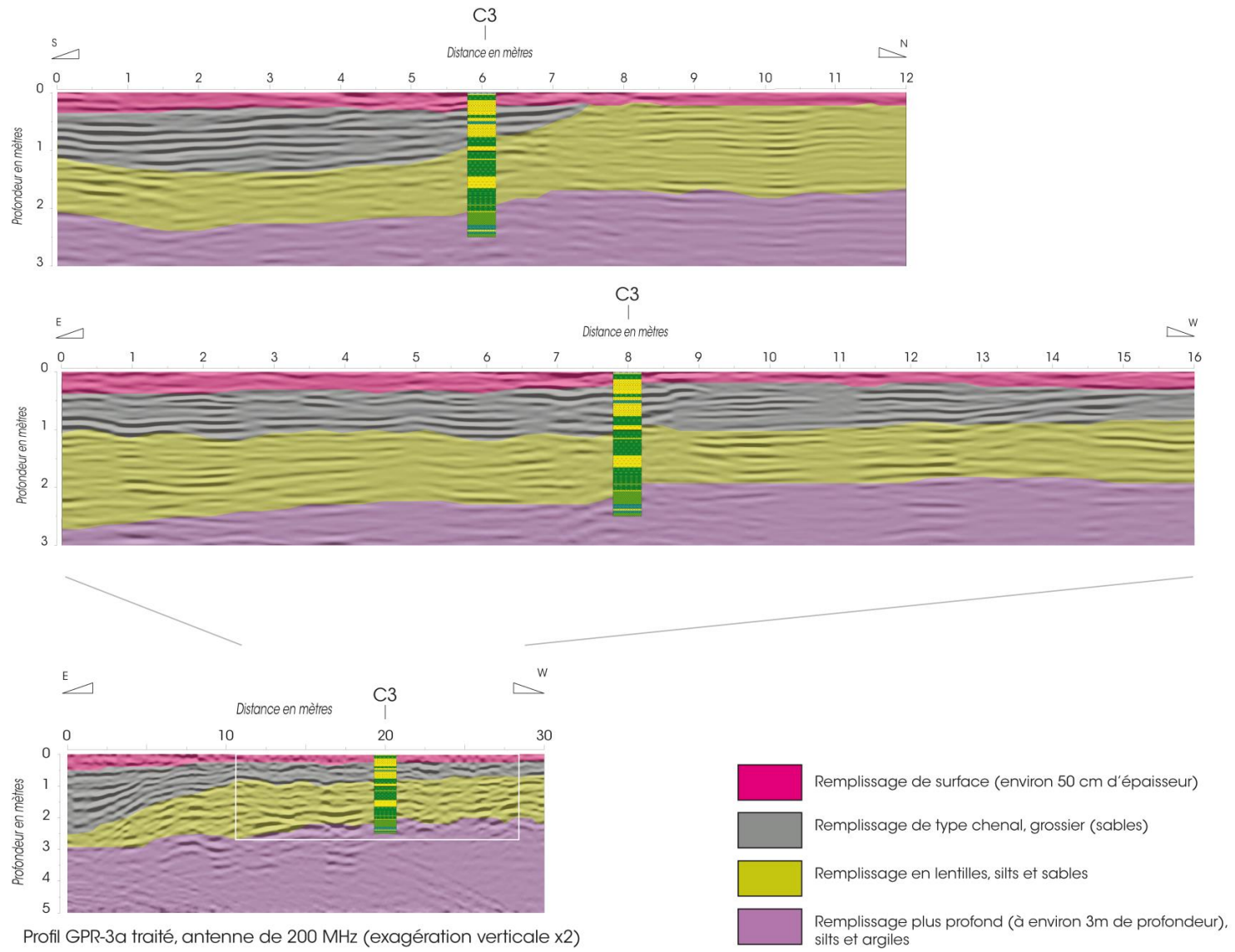


Figure 2 : La carotte C3 représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants.



Profil GPR-3a traité, antenne de 200 MHz (exagération verticale x2)

Figure 3 : La carotte C3 représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants et interprétation des structures sédimentaires constituant l'environnement de dépôt.

### *II.1.b. Le site 10 et les carottes C10c, C10b et C10a*

La **Figure 4** représente le radargramme acquis à l'antenne de 200 MHz, ainsi que les deux radargrammes courts acquis à l'antenne de 400 MHz (chacun d'une longueur d'environ 20 mètres) acquis perpendiculairement l'un à l'autre au droit des carottes, et ce pour la carotte C10a et la carotte C10b (en rive droite du Rhône, au niveau de l'Île du Gouverneur). Ces radargrammes sont traités, de façon à rendre la position des réflecteurs plus lisible et leur interprétation plus aisée (voir précédent livrable pour plus de précisions sur la méthode de traitement des radargrammes). La **Figure 5** représente ces mêmes radargrammes pour la carotte C10c.

Les **Figure 5**, **Figure 6** et **Figure 7** représentent ces mêmes radargrammes, mais avec l'identification des structures sédimentaires qui constituent l'environnement de dépôt des carottes. Cette identification se fait en premier lieu sur les radargrammes courts, réalisés à l'antenne de 400 MHz, en raison de sa meilleure résolution verticale. Ceci est particulièrement nécessaire dans le cas de l'environnement sédimentaire de la carotte C10b, car le signal est très atténué sur le radargramme acquis à l'antenne de 200Mz.

Une fois les structures identifiées sur les radargrammes courts, nous pouvons la reporter sur le radargramme long, et ainsi déterminer la position de ces structures sur une emprise spatiale plus importante.

La carotte C10b a été prélevée dans un ancien chenal, dont le remplissage est essentiellement composé d'éléments fins (cf. précédent livrable pour la présentation des analyses granulométriques). Ce dépôt de particules fines est constaté à la fois au niveau de la description sédimentologique de l'archive sédimentaire, des résultats granulométriques, et de la lecture des radargrammes (le signal est atténué lors de sa propagation dans les particules fines). Nous avons donc représenté ces structures de remplissage du chenal d'une couleur spécifique : orange pour la partie du remplissage supérieure, et bleu pour la partie inférieure.

Le radargramme long présente une structure en surface, sur environ 50 cm d'épaisseur, qui est continue sur l'ensemble du transect ; elle est représentée en rose.

Au niveau de l'environnement sédimentaire de la carotte C10a (la plus proche du Rhône), nous observons deux structures différentes, plus en profondeur que la structure de surface : la première, représentée en jaune, est à géométrie de dépôt subhorizontale, de remplissage fin tandis que la seconde, représentée en orange, elle aussi de géométrie de dépôt subhorizontale, est composée de particules plus grossières (sables). Ces deux structures ont une épaisseur d'environ 1 mètre chacune.

Enfin, le radargramme long présente entre 3 et 5 mètres de profondeur, une structure plus grossière, et continue sur l'ensemble du transect ; elle est représentée en violet.

La carotte sédimentaire C10c présente un environnement sédimentaire moins complexe : nous retrouvons cette structure de surface (représentée en rose), et plus en profondeur deux structures principales : une de remplissage plutôt fin et subhorizontale, représentée en marron, et l'autre de remplissage plus grossier (sables), représentée en bleu ciel. Cette dernière structure pourrait être interprétée de manière plus fine, car nous notons la présence de lentilles, mais cette précision n'est pas nécessaire dans la présente étude.

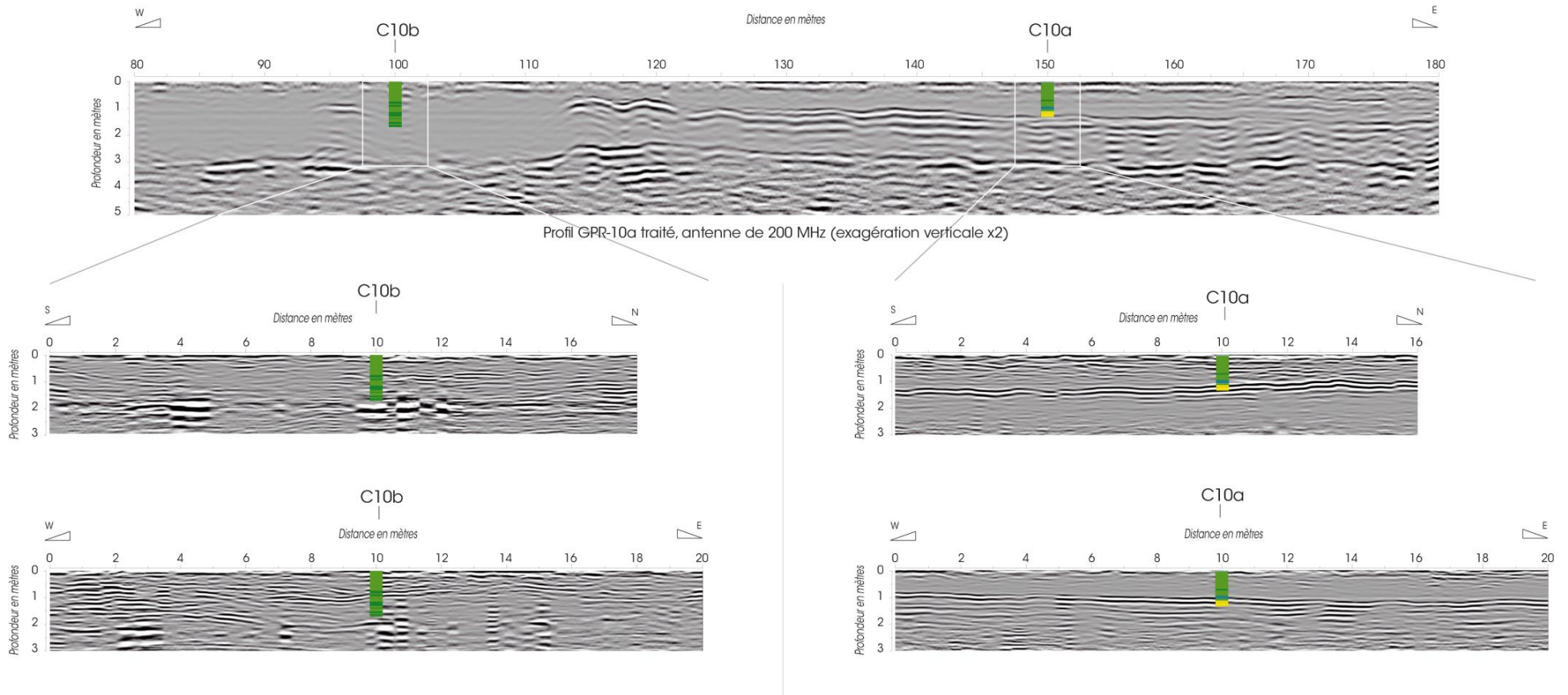
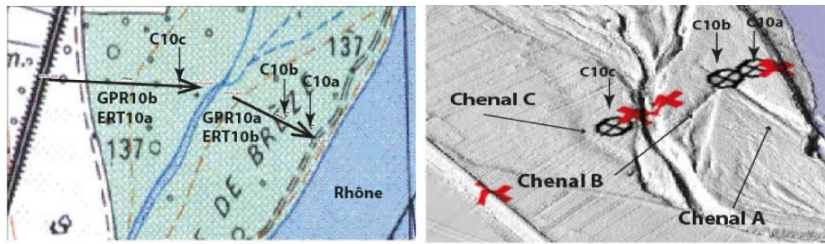


Figure 4 : Les carottes C10a et C10b représentées sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants.



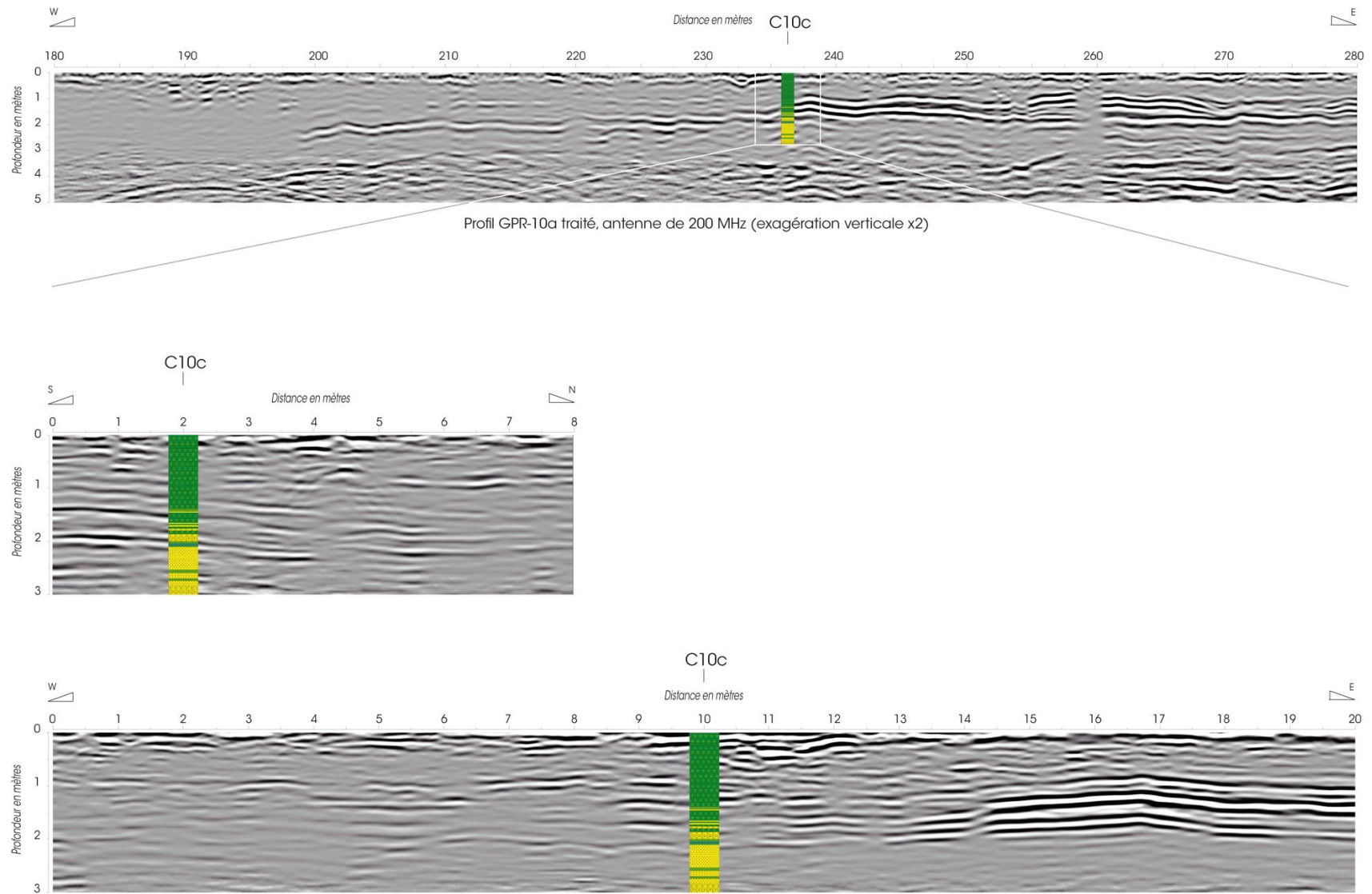
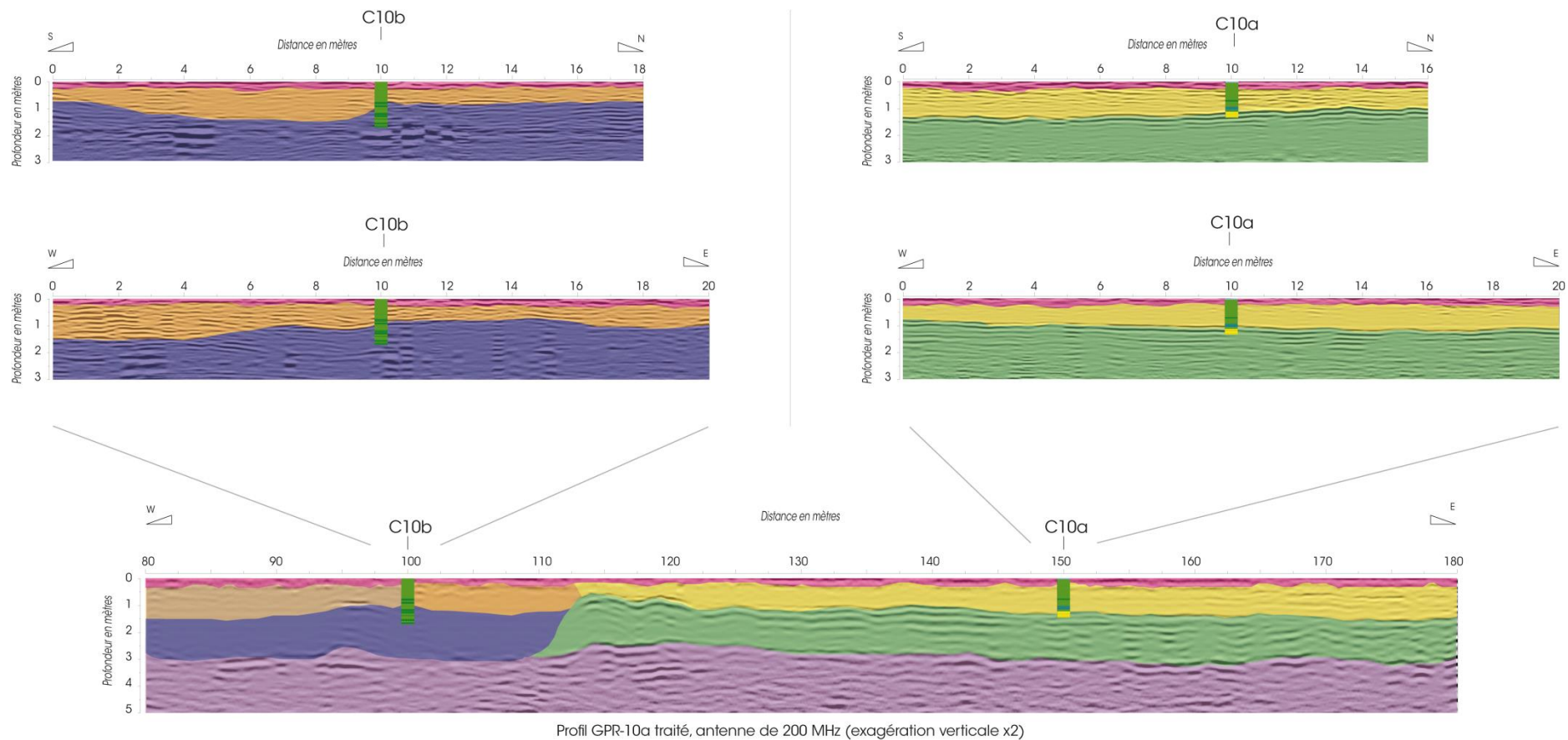


Figure 5 : La carotte C10c représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants.

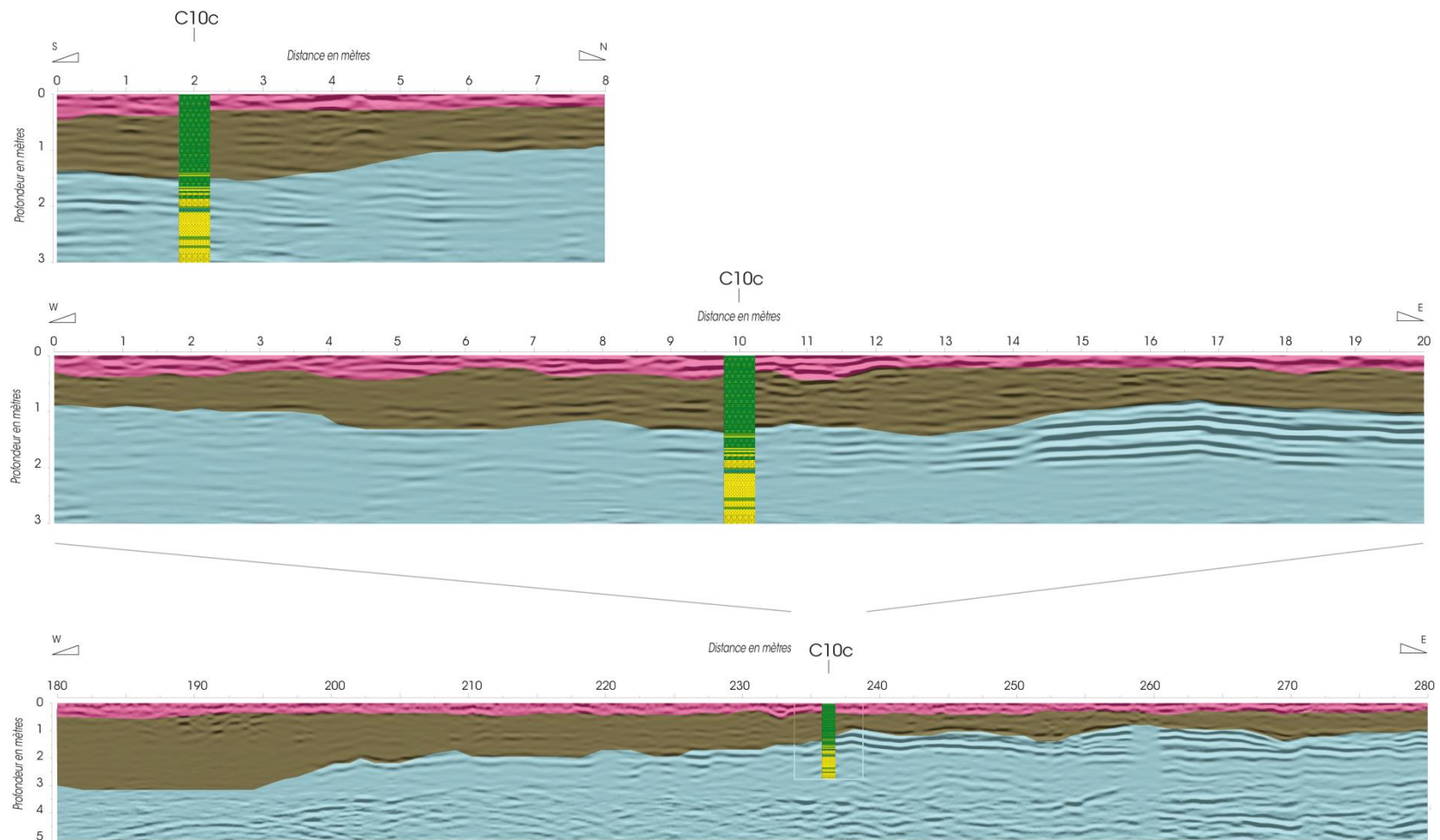


- Remplissage de surface (environ 40 cm)
- Remplissage supérieur du chenal (environ 1 m)
- Remplissage inférieur du chenal (environ 1m)

- Remplissage fin subhorizontal
- Remplissage de sable (subhorizontal)
- Remplissage en profondeur, sables

Figure 6 : Les carottes C10a et C10b représentées sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants et identification des structures sédimentaires constituant l'environnement de dépôt des archives.





Profil GPR-10a traité, antenne de 200 MHz (exagération verticale x2)

- Remplissage de surface (environ 50 cm d'épaisseur)
- Remplissage fin, subhorizontal (en moyenne 1 m d'épaisseur)
- Remplissage plus grossiers (sables), avec présence de lentilles (environ 2 m d'épaisseur)

Figure 7 : La carotte C10c représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz, en bas) et les transects courts (antenne de 400 MHz, en haut) correspondants et identification des structures sédimentaires constituant l'environnement de dépôt de l'archive.

### *II.1.c. Le site 12 et les carottes C12b et C12a*

Les carottes C12a et C12b ont été prélevées en rive gauche (cf. **Figure 1** de localisation des prélèvements).

Les **Figure 8** et **Figure 9** représentent le radargramme acquis à l'antenne de 200 MHz, ainsi que les deux radargrammes courts acquis à l'antenne de 400 MHz (chacun d'une longueur d'environ 20 mètres) acquis perpendiculairement l'un à l'autre au droit des carottes, et ce pour la carotte C12a et la carotte C12b. Ces radargrammes sont traités, de façon à rendre la position des réflecteurs plus lisible et leur interprétation plus aisée (voir le livrable 2 pour plus de précisions sur la méthode de traitement des radargrammes).

Les **Figure 10** et **Figure 11** représentent ces mêmes radargrammes interprétés en termes de structures sédimentaires, de façon à rendre compte de l'environnement de dépôt des archives.

Ces structures principales sont relativement simples. Au niveau de la carotte C12a, nous observons une structure de type sol sur les 20 premiers centimètres. À cette structure succède des remplissages chenalisés, silteux, puis plus en profondeur des structures de type lentilles plus sableuses. Enfin, à partir d'environ 3 mètres de profondeur, nous observons une structure plus continue, et de remplissage plus fin.

Au niveau de la carotte C12b, nous retrouvons ces mêmes structures (à l'exception de la structure de surface), mais déposées de manière plus homogène, et avec une amplitude plus importante.

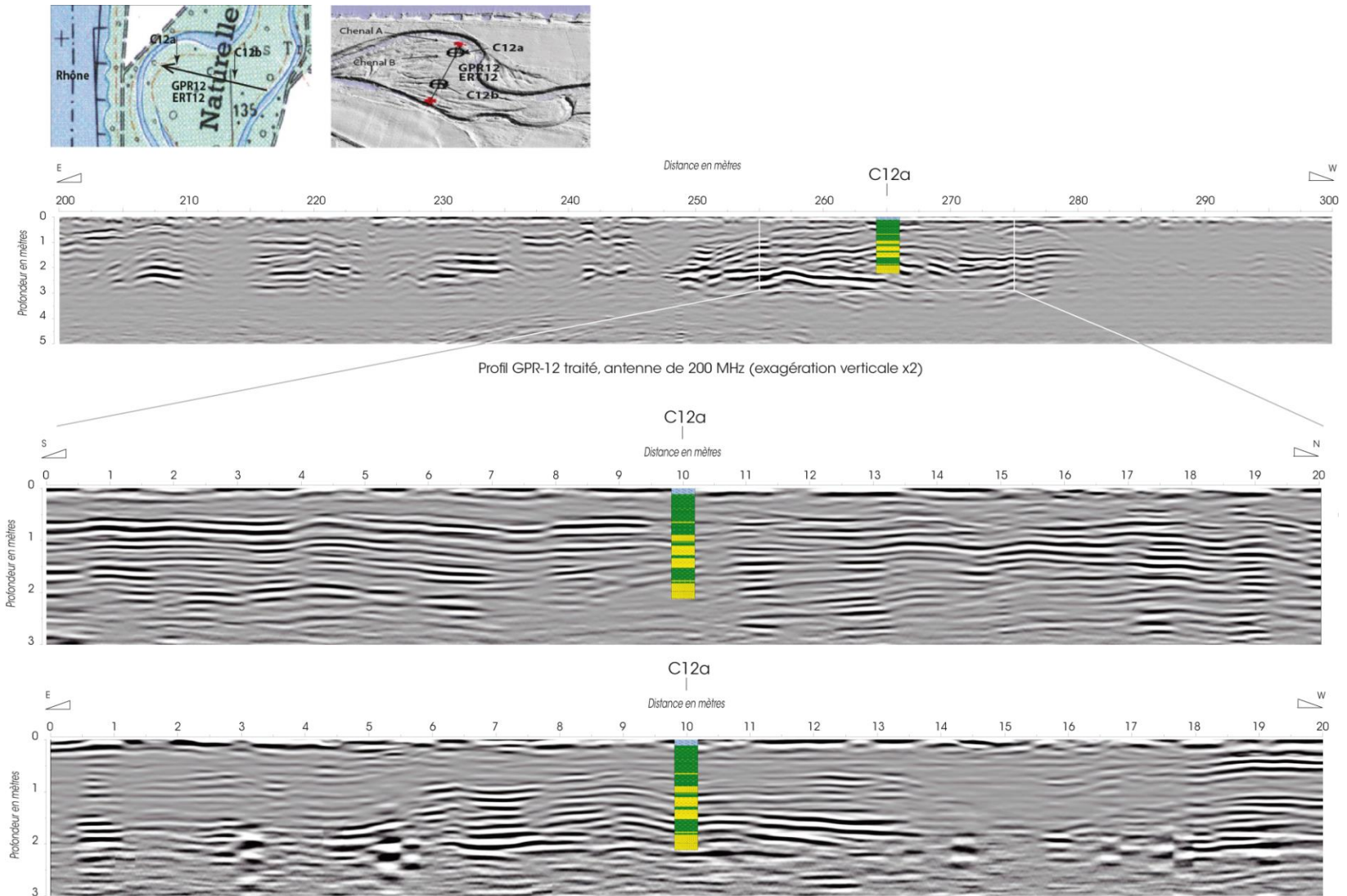


Figure 8 : La carotte C12a représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants.

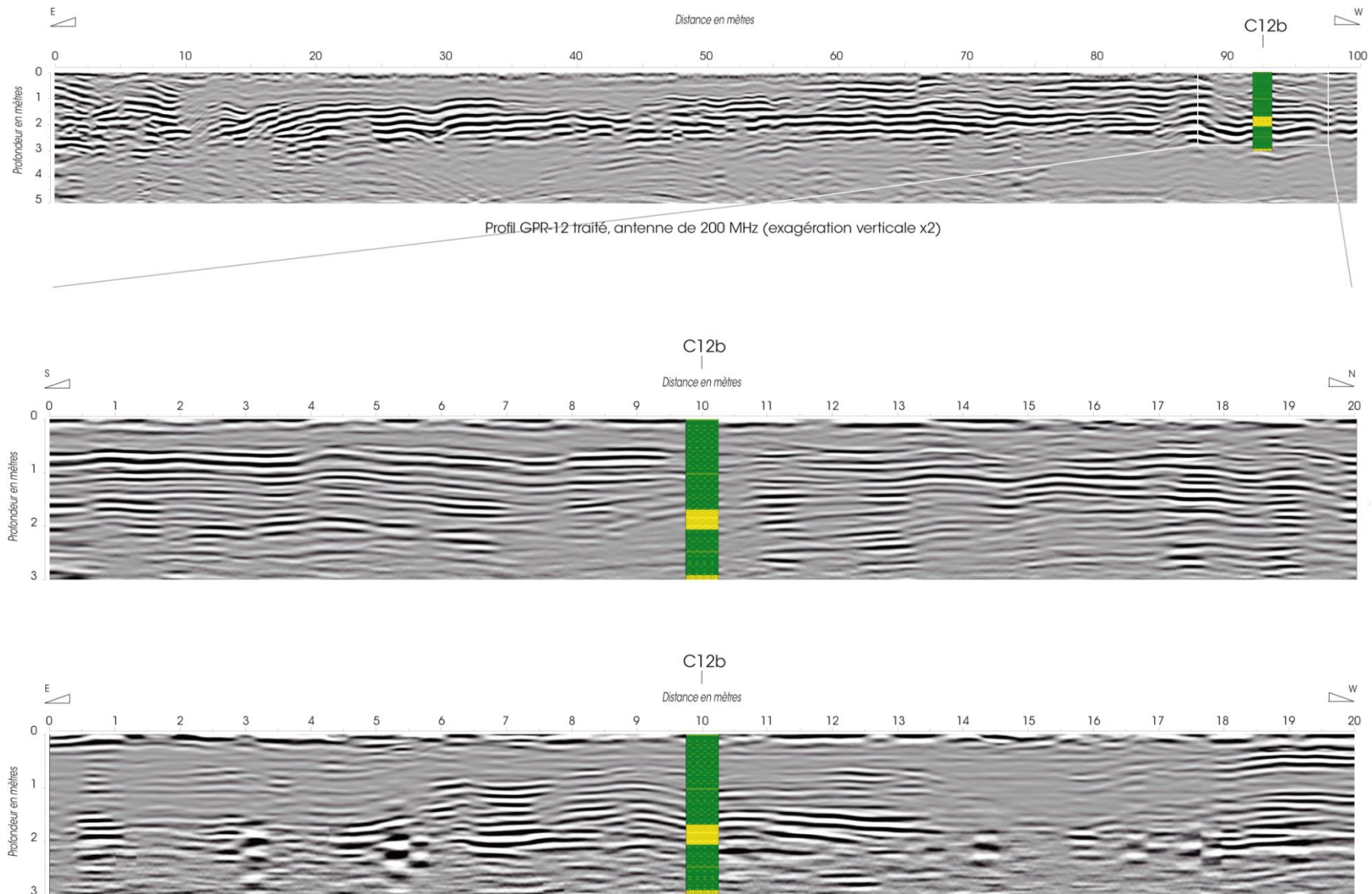
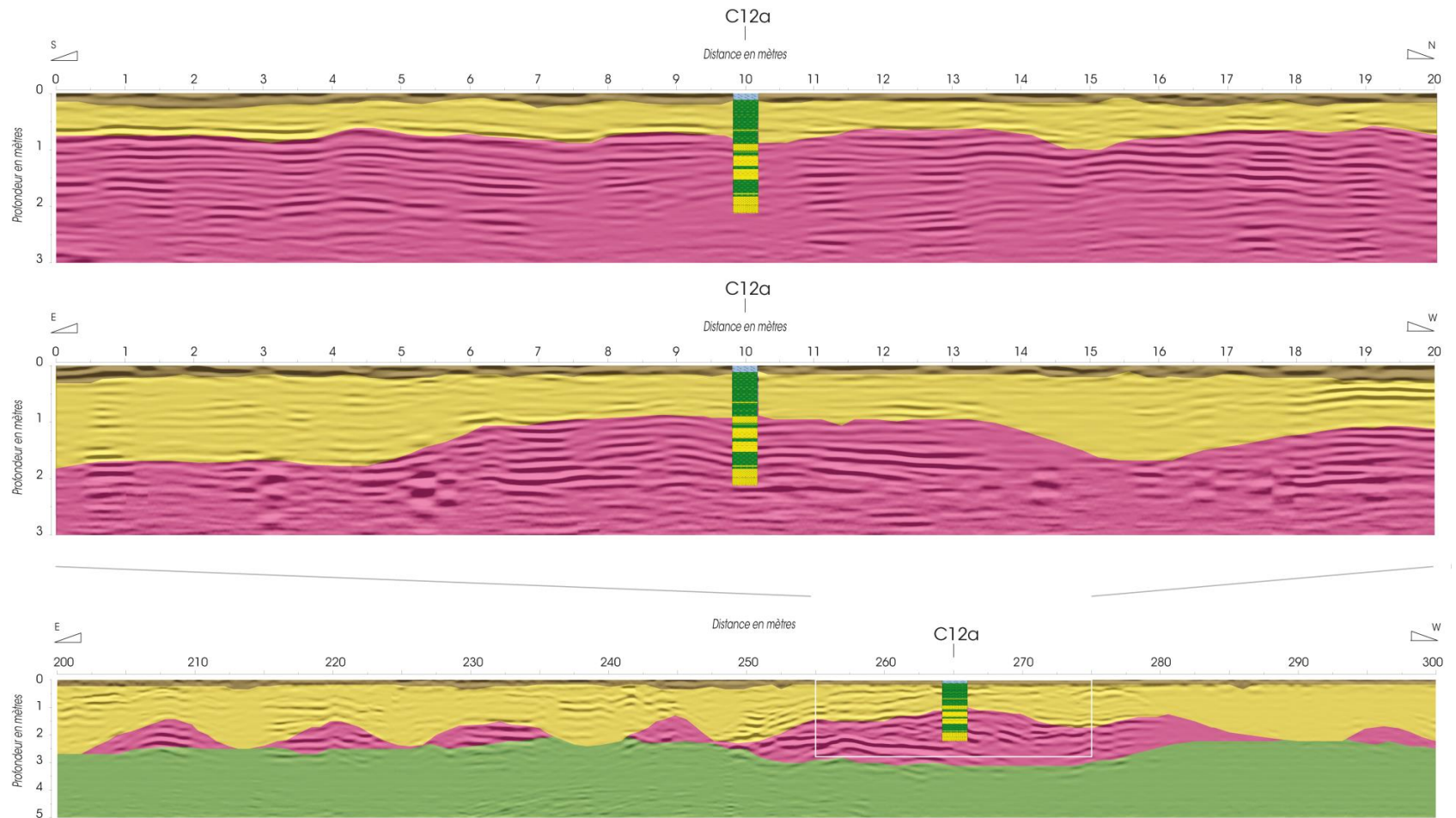


Figure 9 : La carotte C12b représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants.





Profil GPR-12 traité, antenne de 200 MHz (exagération verticale x2)



Figure 10 : La carotte C12a représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants et interprétation des structures sédimentaires.

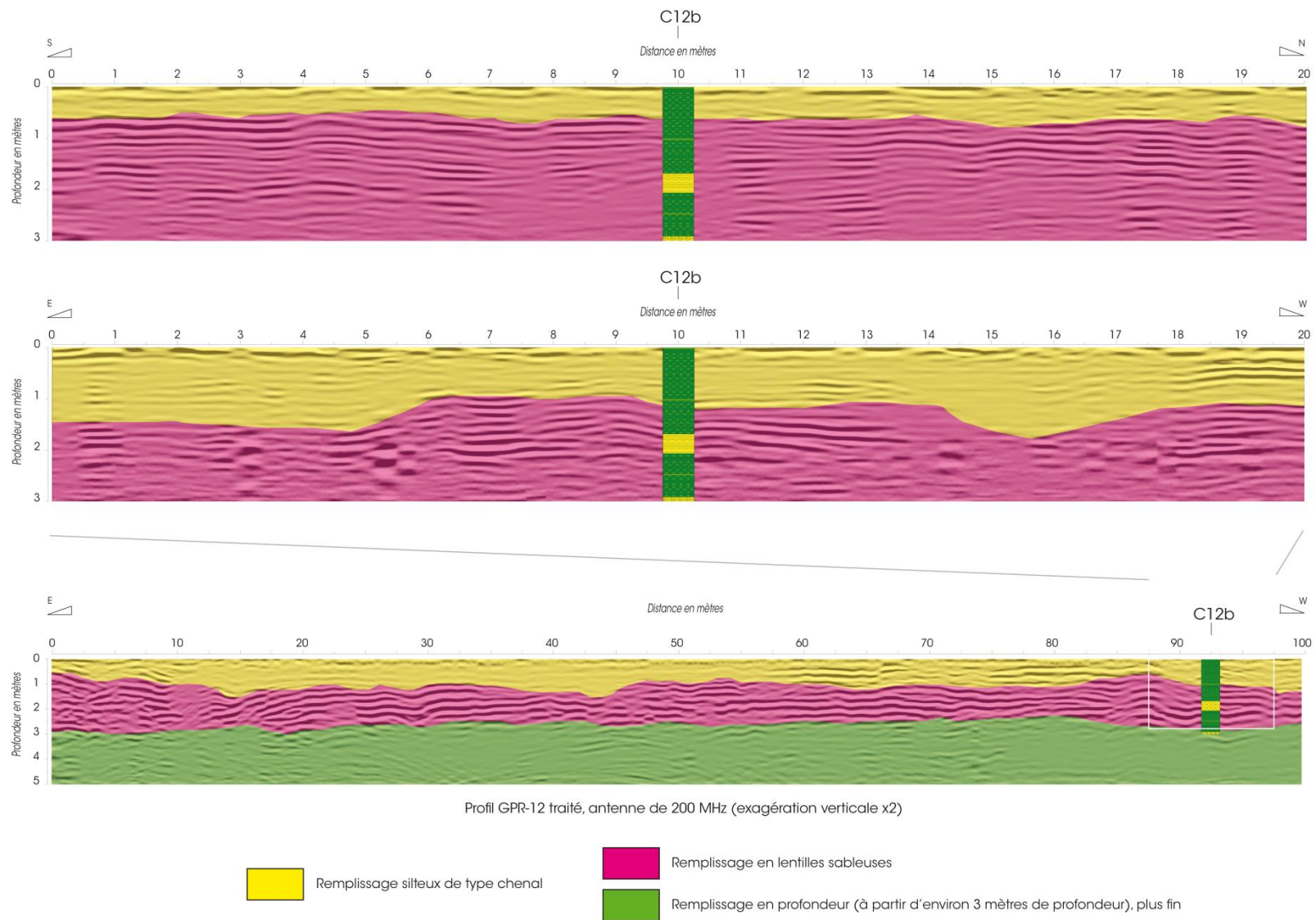


Figure 11 : La carotte C12b représentée sur les transects longs (antenne de 200 MHz) et les transects courts (antenne de 400 MHz) correspondants et interprétation des structures sédimentaires.



## II.2. Synthèse des analyses de radionucléides

### II.2.a. La carotte C10a

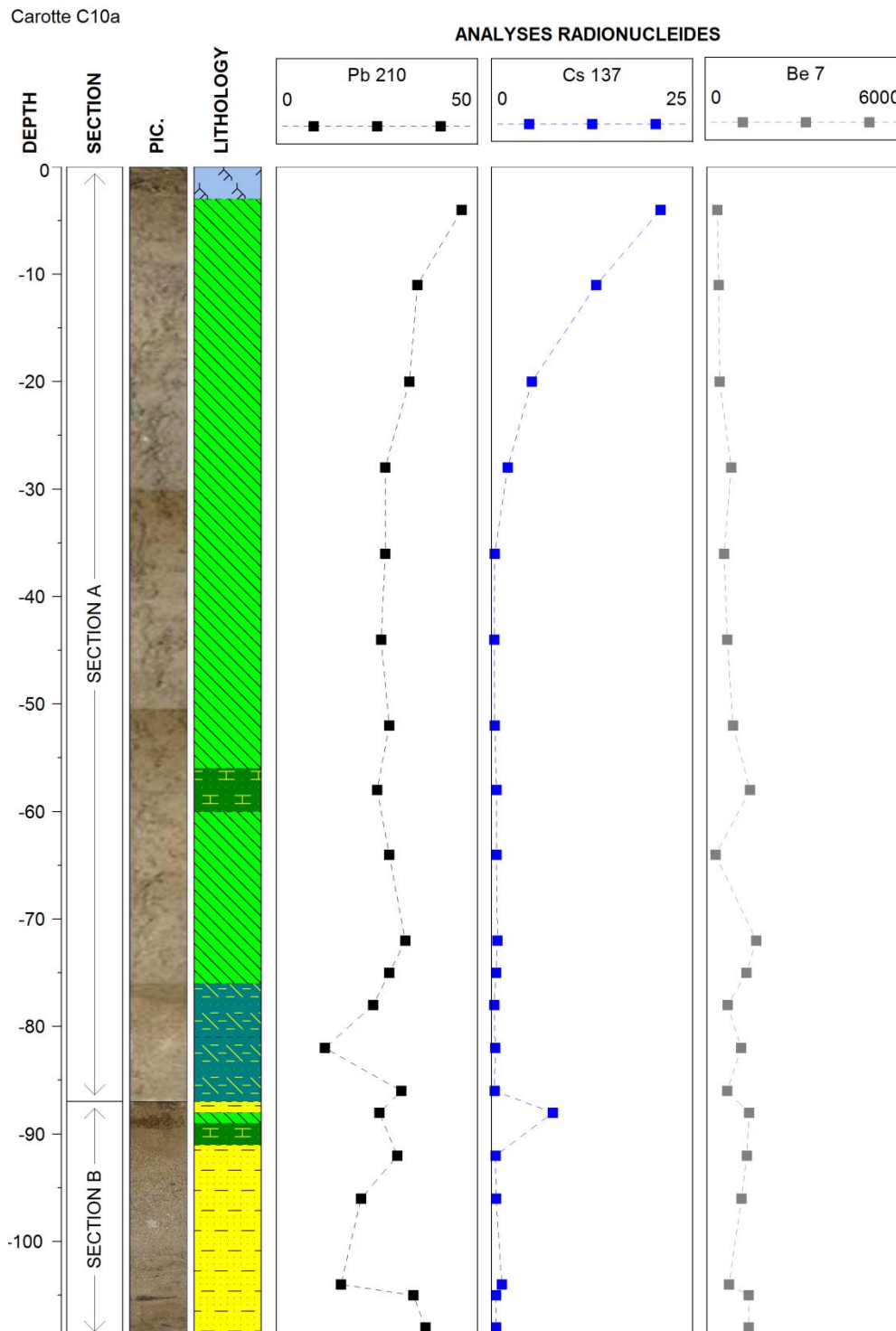


Figure 12 : Résultats des analyses en radionucléides ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^7\text{Be}$ ) pour chaque échantillon de la carotte C10a, en Bq.

Nous avons prélevé 20 échantillons sur la carotte C10a, et 20 échantillons sur la carotte C10b. Les valeurs inférieures au seuil de détection ont été remplacées par la moitié de celui-ci. L'ensemble des résultats des analyses en radionucléides est présenté en **Annexe 1**.

La **Figure 12** représente les résultats des analyses réalisées sur la carotte C10a pour les éléments  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^7\text{Be}$ . Nous avons choisi de représenter les résultats du  $^7\text{Be}$ , car cet isotope du béryllium a un temps de demi-vie très court, de 53 jours ; sa présence signe donc des dépôts très récents, et, *contrario*, son absence nous permettra de valider une hypothèse de dépôts plus anciens. Les valeurs du  $^{210}\text{Pb}$  sont bien celles de l'activité spécifique de la totalité du plomb 210.

Les valeurs du  $^{210}\text{Pb}$  présentent une décroissance, mais ont de faibles valeurs, ce qui rend l'extrapolation d'un taux de sédimentation extrêmement délicat, surtout dans ces circonstances de dépôt : les structures sédimentaires sont atterries, nous ne connaissons pas la date du dépôt de surface (donc nous n'avons pas de temps 0), et les dépôts ne sont pas continus.

Cependant, nous pouvons essayer de calculer le taux de sédimentation en utilisant le plomb dit « en excès » ou encore « non supporté », dont les valeurs correspondent aux valeurs du  $^{210}\text{Pb}$  soustraites à l'activité du  $^{226}\text{Ra}$  (sur l'hypothèse que le  $^{222}\text{Rn}$  est en équilibre avec le  $^{226}\text{Ra}$ ). La **Figure 13** représente les valeurs de l'activité spécifique du  $^{210}\text{Pb}$  en excès dans les échantillons de la carotte C10a. La ligne en pointillé correspond au pourcentage de fraction fine.

Nous avons représenté l'évolution de la fraction fine en fonction de la profondeur d'échantillonnage dans le but de pouvoir identifier d'éventuelles passées sableuses qui ne correspondraient qu'à un seul évènement de crue, afin de pouvoir affiner la courbe de décroissance du plomb. Malheureusement, de 0 à 80 cm de profondeur, le sédiment est essentiellement silteux ; nous ne pouvons donc pas retrancher des valeurs de l'activité du  $^{210}\text{Pb}$ . **La décroissance du  $^{210}\text{Pb}$  n'est donc pas exploitable pour proposer un taux de sédimentation et par conséquent un modèle d'âge.**

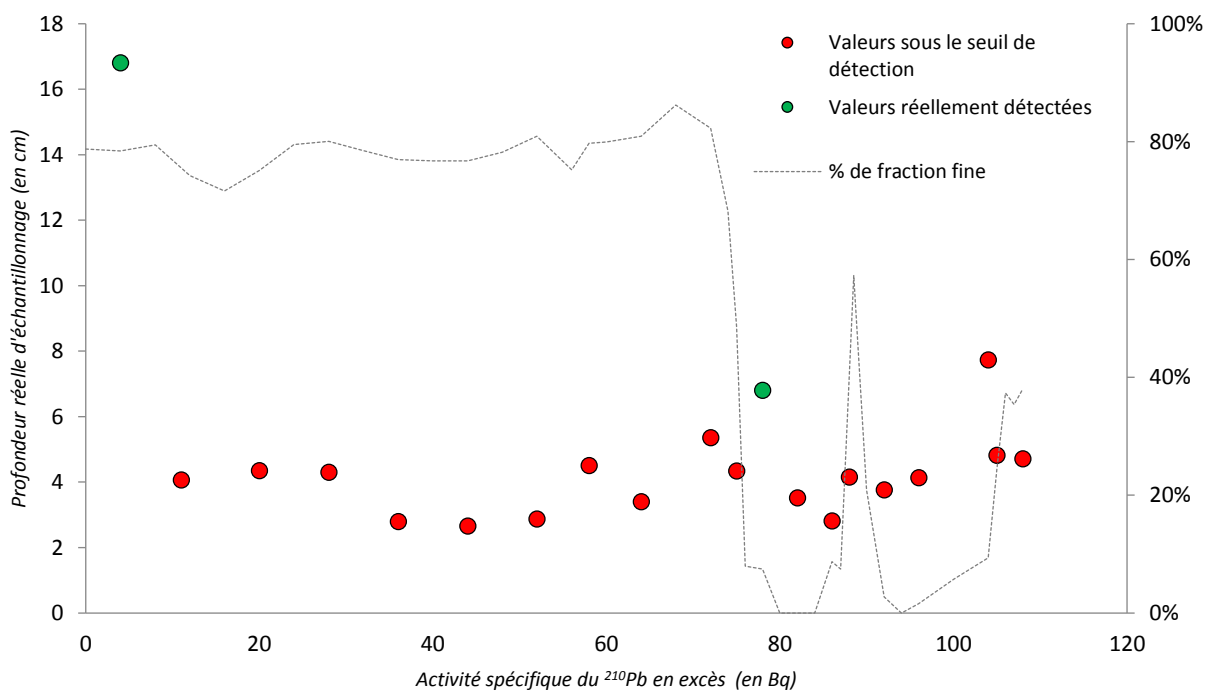


Figure 13 : Activité spécifique (en Bq) du  $^{210}\text{Pb}$  en excès dans la carotte C10a, en fonction de la profondeur d'échantillonnage (en cm) ; en vert : les valeurs au-dessus du seuil de détection, en rouge : les valeurs en dessous du seuil de détection, donc remplacée par la moitié de ce dernier.

Les valeurs du  $^{137}\text{Cs}$  sont également très faibles, et surtout nous ne constatons pas la présence d'un pic, qui signerait ou l'accident de Tchernobyl en 1986, ou encore le moratoire des Essais Nucléaires Aériens de 1964. Cette absence de pic de  $^{137}\text{Cs}$  nous permet cependant de conclure que les structures sédimentaires investiguées par cet échantillonnage se sont mises en place dans une période antérieure ou à 1986, ou à 1964, ce qui est corroboré par les très faibles valeurs du  $^7\text{Be}$ .

Les analyses ne détectent pas de présence de  $^{241}\text{Am}$ . La présence de cet élément aurait signifié de manière certaine les ENA de 1964 ; cependant, son absence ne permet pas de déterminer pour autant l'évènement de la catastrophe de Tchernobyl de 1986, en raison (i) de la difficulté de détection de cet élément et (ii) la faible quantité de matériel sédimentaire mis à disposition du laboratoire. Au contraire de sa présence, l'absence de  $^{241}\text{Am}$  n'est donc pas suffisamment contraignante pour nous permettre de faire un choix éclairé entre ENA et Tchernobyl.

### II.2.b. La carotte C10b

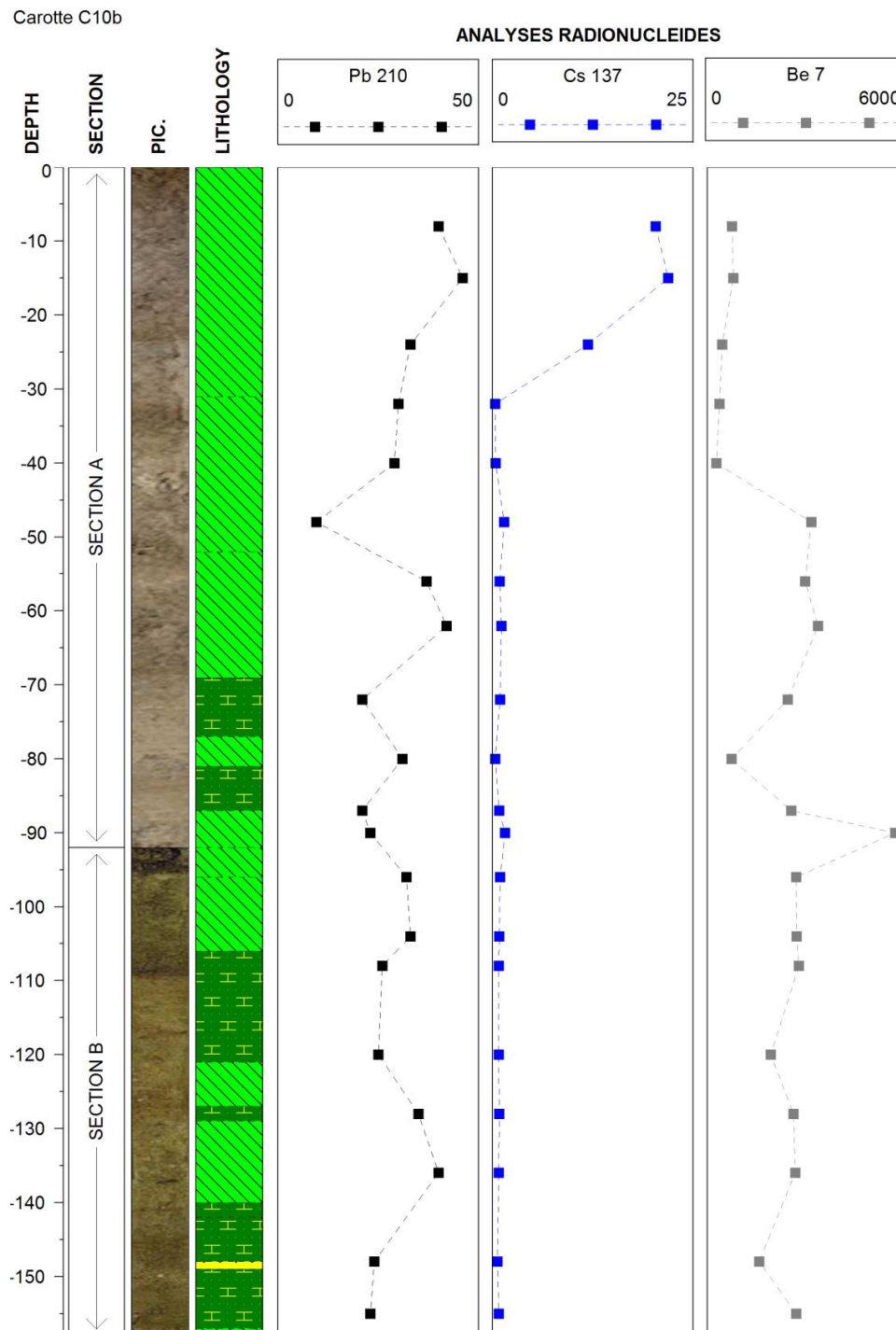


Figure 14 : Résultats des analyses en radionucléides ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^7\text{Be}$ ) pour chaque échantillon de la carotte C10b, en Bq.

La carotte C10b présente les mêmes caractéristiques que la carotte C10a (**Figure 14**) : la décroissance du  $Pb^{210}$  n'est pas exploitable (**Figure 15**), et aucun pic de  $^{137}Cs$  n'est visible. Cependant, nous observons sur les premiers centimètres de la carotte une augmentation du taux de  $^{137}Cs$ , sans présence d'américium. Les carottes C10a et C10b semblent avoir fonctionné de manière similaire, avec cependant un enregistrement plus long pour la carotte C10b.

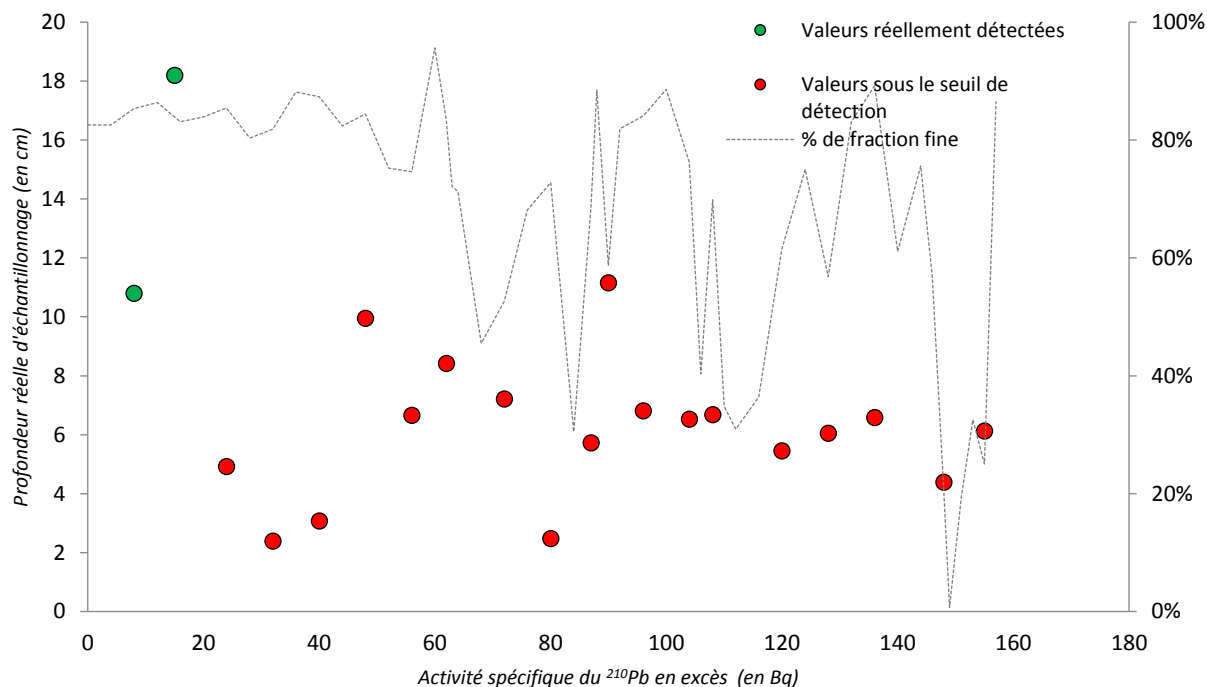


Figure 15 : Activité spécifique (en Bq) du  $^{210}Pb$  en excès dans la carotte C10a, en fonction de la profondeur d'échantillonnage (en cm) ; en vert : les valeurs au-dessus du seuil de détection, en rouge : les valeurs en dessous du seuil de détection, donc remplacées par la moitié de ce dernier.

Nous tirons les mêmes conclusions, avec le même raisonnement, pour la carotte C10b que pour la carotte C10a : l'analyse seule des radionucléides ne nous permet pas de proposer un modèle d'âge pour cette archive.

L'étude des résultats des métaux et des PCBi nous permettra cependant de procéder par convergence de signaux pour proposer, en dépit de ces difficultés, une hypothèse de temporalité de dépôt pour les deux carottes C10a et C10b et également pour l'ensemble des archives prélevées dans le RCC de Péage-de-Roussillon.

### II.3. Corrélation entre les analyses chimiques qualitatives et les analyses chimiques quantitatives

Le Core-Scanner est une méthode d'analyse chimique rapide, complète, non destructive, et le pas d'échantillonnage peut être faible (0,5 cm dans notre étude). Cependant, les résultats sont des résultats qualitatifs, qui représentent l'aire du pic détecté.

Les éléments analysés au Core-Scanner sont : l'aluminium (Al), le silicium (Si), le phosphore (P), le soufre (S), le chlore (Cl), le potassium (K), le calcium (Ca), le titane (Ti), le chrome (Cr), le manganèse (Mn), le fer (Fe), le rhodium (Rh), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le gallium (Ga), le brome (Br), le rubidium (Rb), le strontium (Sr), l'yttrium (Y), le zirconium (Zr), le niobium (Nb), le molybdène (Mo), le plomb (Pb) et le bismuth (Bi). Le pas d'échantillonnage est de 0,5 cm. L'ensemble des résultats pour les six carottes est regroupé en **Annexe 2**.

Des analyses quantitatives ont été réalisées au laboratoire LEHNA-IPE, afin de compléter les investigations chimiques sur les carottes, de proposer des comparaisons entre ces deux natures de résultats différentes et de valider nos interprétations des analyses qualitatives, qui sont plus complètes.

Les éléments analysés sont : le zinc (Zn), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu) et le mercure (Hg). Les échantillons sont prélevés sur 0,5 cm, et le pas d'échantillonnage est en moyenne de 6 cm. L'ensemble des résultats pour les six carottes est présenté en **Annexe 3**.

La réglementation pour la qualité des sédiments issus de cours d'eau et de canaux de navigation est définie en France dans l'article 1er de l'arrêté du 09 août 2006. Ces seuils de qualité influencent par exemple le régime de l'opération de dragage (autorisation ou déclaration) ou de remise des sédiments dans le cours d'eau. Ces seuils s'appliquent à 8 métaux lourds, ainsi qu'aux HAP et PCB totaux, et sont rappelés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Seuils de qualité (mg/kg de sédiment sec, analyse sur la fraction <2mm) pour les métaux lourds pris pour les sédiments de cours d'eau ou de canaux de navigation, d'après l'arrêté du 09 Août 2006.

Élément	Cuivre	Mercure	Zinc	Nickel	Chrome	Plomb	Cadmium	Arsenic
Seuil S1 (mg/kg MS)	100	1	300	50	150	100	2	30

Afin de comparer les résultats des analyses quantitatives avec le seuil S1, le **Tableau 2** présente les valeurs maximales, minimales et moyennes des éléments, et ce pour chacune des carottes.

Tableau 2 : Maximum, minimum et moyenne des analyses chimiques quantitatives pour chaque carotte échantillonnée.

Carotte	Valeurs	Cuivre en mg/kg MS	Plomb en mg/kg MS	Zinc en g/kg MS	Nickel en mg/kg MS	Cadmium en mg/kg MS	Mercure en mg/kg MS
C10a	Max	30,5	44,3	0,1	31,0	0,8	0,3
	Min	4,5	7,6	0,02	9,3	0,1	0,1
	Moyenne	18,7	29,0	0,08	22,5	0,4	0,2
C10b	Max	34,8	50,9	0,2	32,6	1,4	0,4
	Min	7,0	12,4	0,04	14,2	0,1	0,1
	Moyenne	20,4	30,3	0,09	24,7	0,4	0,2
C10c	Max	17,3	53,7	0,1	28,0	0,5	ND
	Min	3,3	9,1	0,03	8,1	0,1	ND
	Moyenne	8,0	24,1	0,05	19,8	0,2	ND
C12a	Max	36,2	44,3	0,1	25,1	0,8	<b>1</b>
	Min	3,6	3,4	0,01	4,7	0,1	0,1
	Moyenne	13,7	20,8	0,06	14,9	0,3	0,2
C12b	Max	45,2	31,6	0,1	21,2	0,6	0,3
	Min	2,7	6,1	0,02	8,1	0,1	0,1
	Moyenne	14,6	12,7	0,04	14,7	0,2	0,2

Nous notons que pour l'ensemble des analyses quantitatives réalisées sur les archives sédimentaires prélevées dans le Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon, les valeurs sont inférieures au seuil S1 pour les éléments cuivre, plomb, zinc, nickel, cadmium et mercure. Un seul échantillon présente une valeur limite pour le mercure : l'échantillon de la carotte C12a à une profondeur de 29 cm (soit de 29 à 29,5 cm). Par mesure de précaution, le laboratoire a effectué la mesure deux fois, et cette valeur est confirmée.

Les éléments en commun pour les deux méthodes d'analyses (quantitatives et qualitatives) sont au nombre de 3 : le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le plomb (Pb).

Les **Figure 16**, **Figure 17** et **Figure 18** représentent la répartition de chaque échantillon analysé à la fois en analyse chimique qualitative (Core-Scanner, axe horizontal) et en analyse chimique quantitative (axe vertical) pour chacun de ces trois éléments. L'équation de la droite de régression est indiquée sur le graphique, et prend en compte l'ensemble des points.

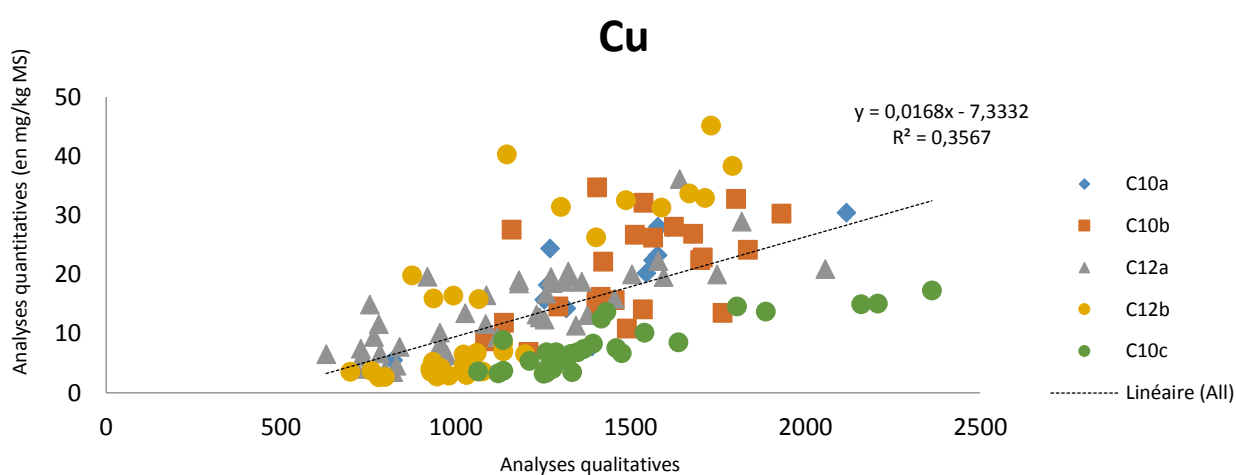


Figure 16 : Comparaison des données chimiques qualitatives et quantitatives pour le cuivre.

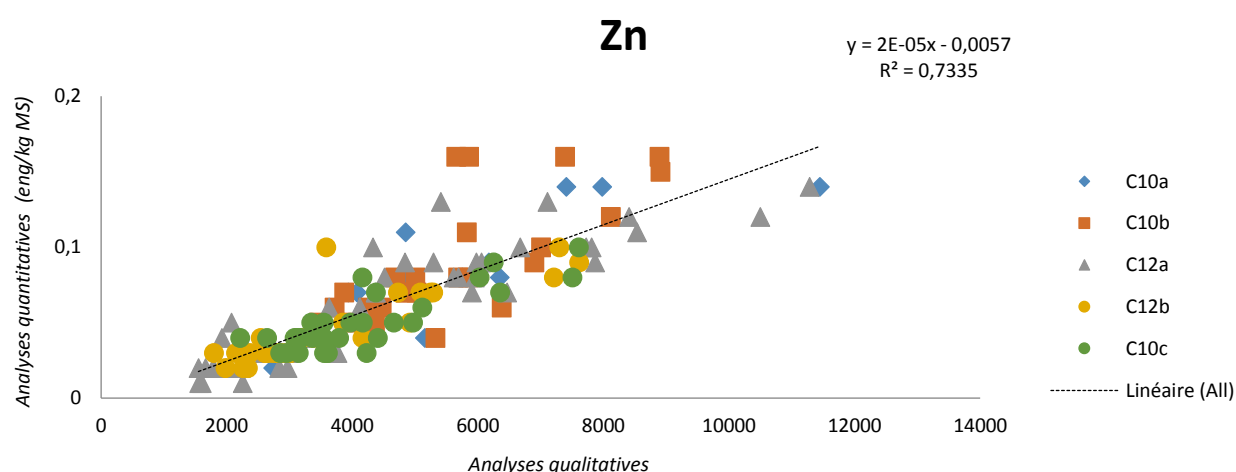


Figure 17 : Comparaison des données chimiques qualitatives et quantitatives pour le zinc.

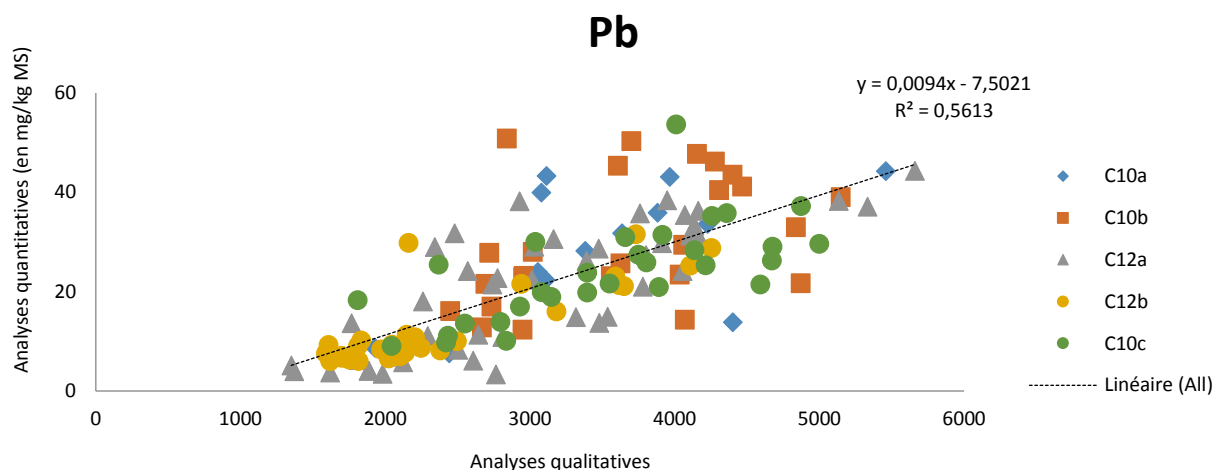


Figure 18 : Comparaison des données chimiques qualitatives et quantitatives pour le plomb.

La meilleure corrélation entre les analyses chimiques qualitatives et les analyses chimiques quantitatives est obtenue pour le zinc ( $R^2$  de la régression linéaire égal à 0,74, contre 0,56 pour le plomb et 0,36 pour le cuivre). C'est donc cet élément qui sera analysé en priorité, et nous considérons que les données du Core-Scanner sont fiables.

## II.4. Synthèse des analyses chimiques

L'ensemble des résultats en analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) est présenté en **Annexe 2**, et celui des analyses chimiques quantitatives est présenté en **Annexe 3**. Le lecteur qui souhaitera consulter les résultats exhaustifs pourra s'y reporter. Ces résultats sont présentés en fonction de la longueur de la carotte.

Durant le processus de carottage, nous avons observé un tassement du matériel, dont le taux est renseigné dans le livrable précédent. Pour les résultats présentés dans cette section du rapport, nous avons transformé cette longueur en profondeur réelle, de façon à extrapoler les résultats sur l'ensemble des structures sédimentaires présentées dans la partie II.1.

Les résultats présentés en **Annexes 2 et 3** sont des résultats bruts, donc non normalisés. Cependant, comme nous souhaitons d'une part analyser la pollution comprise dans ces structures sédimentaires, et d'autre part utiliser des potentiels périodes d'émission en polluants afin de confirmer nos hypothèses sur les temporalités de dépôt présentées dans la partie II.2, nous avons choisi de normaliser les résultats qualitatifs en plomb, zinc et cuivre avec l'élément rubidium. Cet élément est en effet représentatif des processus biologiques, physiques et chimiques dans un contexte sédimentaire (B. Mourier et al., 2015). Il est corrélé à la fraction fine, et la normalisation permet ainsi d'observer l'évolution de la pollution de manière indépendante de la granulométrie.

Les **Figures 19 à 29** présentent ces résultats pour l'ensemble des carottes échantillonnées, d'amont en aval.

### II.4.a. Le site 3 et la carotte C3

La carotte C3 présente des évolutions de pollution en adéquation avec les structures sédimentaires préalablement identifiées (**Figure 19** et **Figure 20**) :

- de 0 à environ 30 cm de profondeur, la structure de surface (représentée en rose) contient des valeurs relativement élevées en Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb (avec des moyennes respectivement de 0,075, 0,22 et 0,44) ; ces éléments présentent une décroissance avec la profondeur ; la

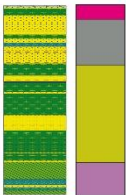






granulométrie de cette structure de surface est plutôt fin base e, avec une passée sableuse à (moyenne du D50 à 220  $\mu\text{m}$  et 17% de fraction fine) ;

- de 30 à environ 85 cm de profondeur (structure sédimentaire représentée en gris), les valeurs en Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb sont plus stables et ne présentent pas de variations très importantes ; elles sont centrées sur des moyennes égales ou légèrement inférieures à la structure de surface (respectivement de 0,078, 0,21 et 0,36) ; cette structure est de type remplissage de chenal, et nous notons la présence de nombreuses passées sableuses (D50 de 230  $\mu\text{m}$  en moyenne, et seulement 6% de fraction fine) ;
- de 85 à environ 230 cm de profondeur (structure sédimentaire identifiée en jaune), les valeurs de CU/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb sont stables ; la granulométrie est également relativement stable, avec une présence plus importante de silts que dans la structure supérieure (D50 en moyenne de 180  $\mu\text{m}$  et 20% de fraction fine) ;
- de 230 cm de profondeur à la base de la carotte, soit 280 cm de profondeur (structure représentée en violet), les valeurs en Cu/Rb, PB/Rb et Zn/Rb présente des variations corrélées avec les variations granulométriques : ces valeurs sont plus importantes dans les passées les plus fines. Cette structure présente une granulométrie de type silts et argiles (D50 en moyenne de 133  $\mu\text{m}$  et 40 % de fraction fine), et est continue sur l'ensemble du transect.

Le **Tableau 3** synthétise les valeurs moyennes en Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans chacune des structures sédimentaires investiguées.

*Tableau 3 : Valeur moyenne de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans la carotte C3 pour chacune des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes.*

Site	Carotte	Structure sédimentaire identifiée sur les radargrammes	Cu/Rb	Pb/Rb	Zn/Rb
3			0,09	0,26	0,56
			0,08	0,21	0,35
			0,09	0,25	0,35
			0,1	0,25	0,29



Carotte C3

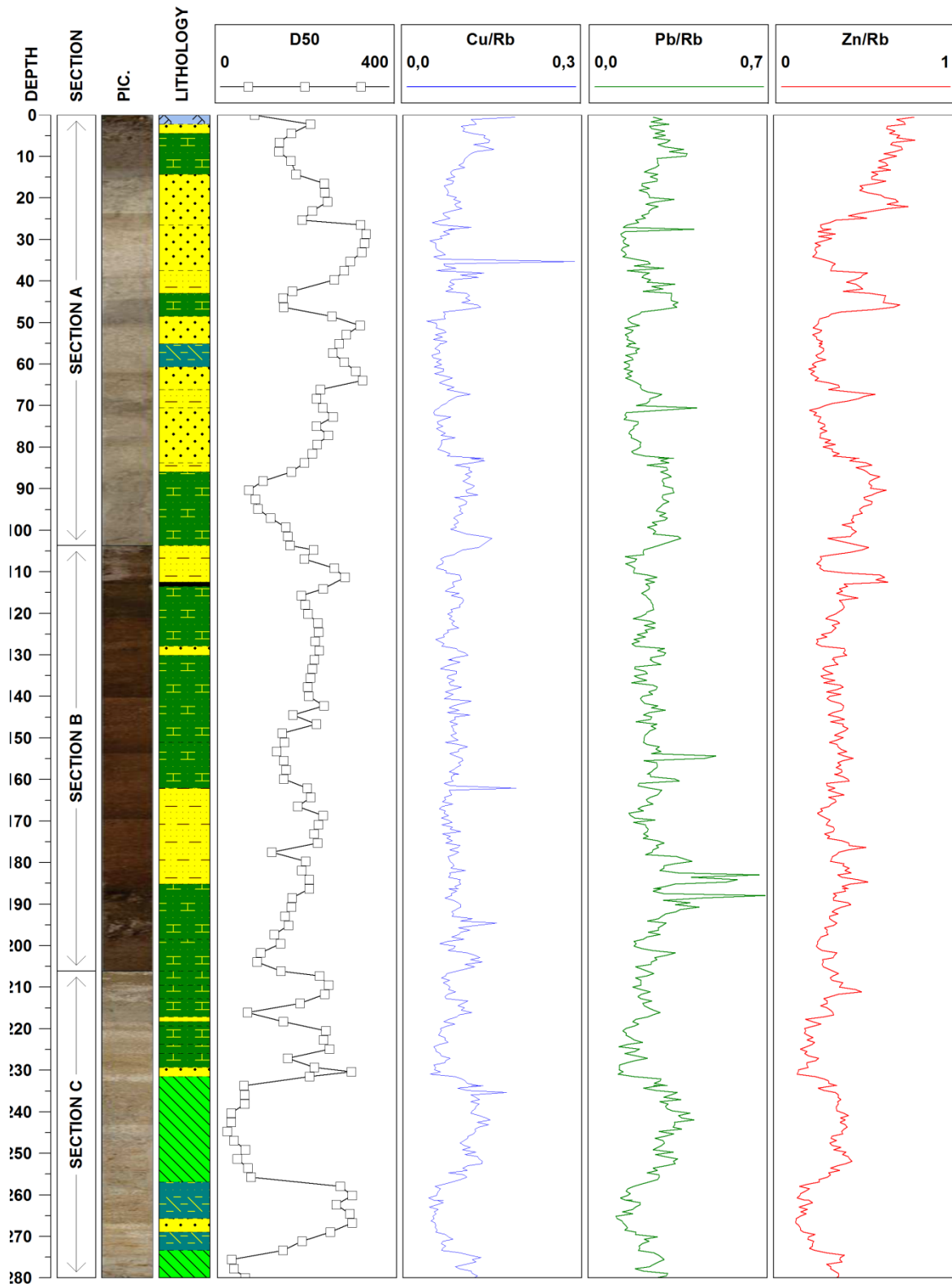


Figure 19 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C3.

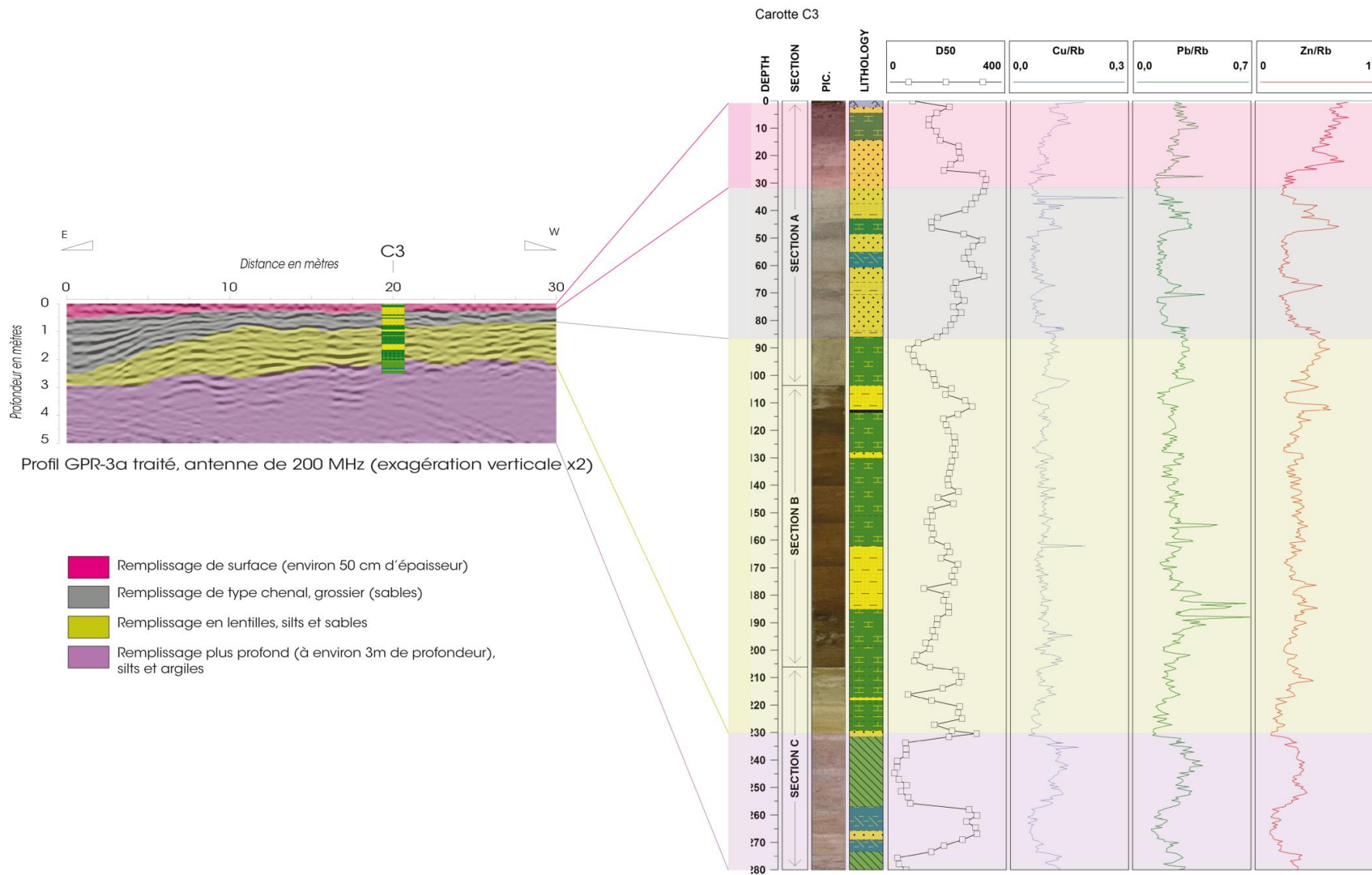


Figure 20 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour la carotte C3.

#### II.4.b. Le site 10 et les carottes C10a, C10b et C10c

Au niveau de la carotte C10a (**Figure 21** et **Figure 23**), la couche de surface (représentée en rose, présente jusqu'à 25 cm de profondeur environ) présente les valeurs de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb les plus fortes de l'ensemble de l'archive. Cette couche peut représenter la couche déposée le plus récemment (soit dans les années 1960 selon notre proposition de temporalité de dépôt, cf. partie II.2.a du présent rapport), ou encore une couche plus récente, remobilisée et déposée par un événement de crue. Cette dernière hypothèse semble cependant moins probable, en raison de la position de la carotte, relativement éloignée des berges du Rhône. De plus, cette couche présente un début de pédogénèse, ce qui confirme sa nature ancienne et non active. La valeur moyenne du D50 est de 20µm et le pourcentage de fraction fine est 77%).

À cette couche de surface, succède une couche d'environ 1 mètre d'épaisseur, de 25 à 95 cm de profondeur, représentée en jaune. Le remplissage est de nature silteuse et argileuse (le D50 a une valeur moyenne de 26 µm et cette couche présente un pourcentage moyen de fraction fine de 74,4%). Les valeurs de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb sont relativement stables, avec une légère diminution du Zn/Rb avec la profondeur.

La dernière couche présente dans la carotte C10a (représentée en vert sur le radargramme et sur les profils de pollution) est beaucoup plus sableuse : le D50 a une valeur moyenne de 204 µm et la fraction fine ne représente que 17%). Les profils de pollution varient dans des proportions plus importantes que la couche supérieure, avec des pics observés dans la fine couche d'argiles aux alentours de 105 cm de profondeur. Cette structure plus profonde a été mise en place par des processus hydrosédimentaires différents, marqués par des débits plus importants. En dépit de ces pics de pollution présents à 105 cm de profondeur, la pollution y est globalement plus faible.

La carotte C10b a été prélevée dans des structures chenalées. Nous retrouvons la même couche de surface (toujours représentée en rose, **Figure 22** et **Figure 23**) sur les 20 premiers centimètres d'épaisseur. Les valeurs de pollution métallique y sont élevées, de la même façon que pour la carotte C10a. La valeur moyenne du D50 est de 16 µm et le pourcentage de fraction fine de 84%.

Les structures du chenal (en orange puis en bleu) sont de nature silteuse et argileuse : le D50 présente une valeur moyenne pour ces deux structures de 58 µm, et la fraction fine est de 64%. Les valeurs de CU/Rb, Pb/Rb et ZN/Rb sont stables, de manière très analogue à la couche jaune de l'environnement sédimentaire de la carotte C10a. Au vu de la nature sédimentaire de ces trois structures et des valeurs de pollution, elles pourraient avoir été déposées selon la même temporalité.

La carotte C10c est située, comme les carottes C10a et C10b, sur l'île du Gouverneur (cf. **Figure 1**). Elle est la plus éloignée du fleuve Rhône, séparée des carottes C10a et C10b par un bras toujours actif.

Cette carotte présente en surface et jusqu'à 20 cm de profondeur une couche sédimentaire où la pollution est moins importante que sur le reste de l'archive (couche représentée en rose, **Figure 24** et **Figure 25**).

Lui succède une couche de nature silteuse et argileuse (le D50 a une valeur moyenne de 65 µm), jusqu'à 170 cm de profondeur, représentée en marron. Les valeurs en Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb sont stables, et en légère diminution avec la profondeur. Cette couche, de par ses valeurs de pollution et sa granulométrie, semble similaire aux couches (i) jaune de l'environnement sédimentaire de la carotte C10a et (ii) orange et bleue du chenal de l'environnement sédimentaire de la carotte C10b.

À cette couche succède en profondeur une couche beaucoup plus sableuse (le D50 a une valeur moyenne de 350 µm), représentée en bleu ciel. Les taux de pollution sont toujours relativement faibles, avec des variations cependant plus importantes, vraisemblablement liées au mode de dépôt et aux variations granulométriques. Cette couche présente de fortes similitudes avec la couche représentée en vert dans l'environnement sédimentaire de la carotte C10a.

Carotte C10a

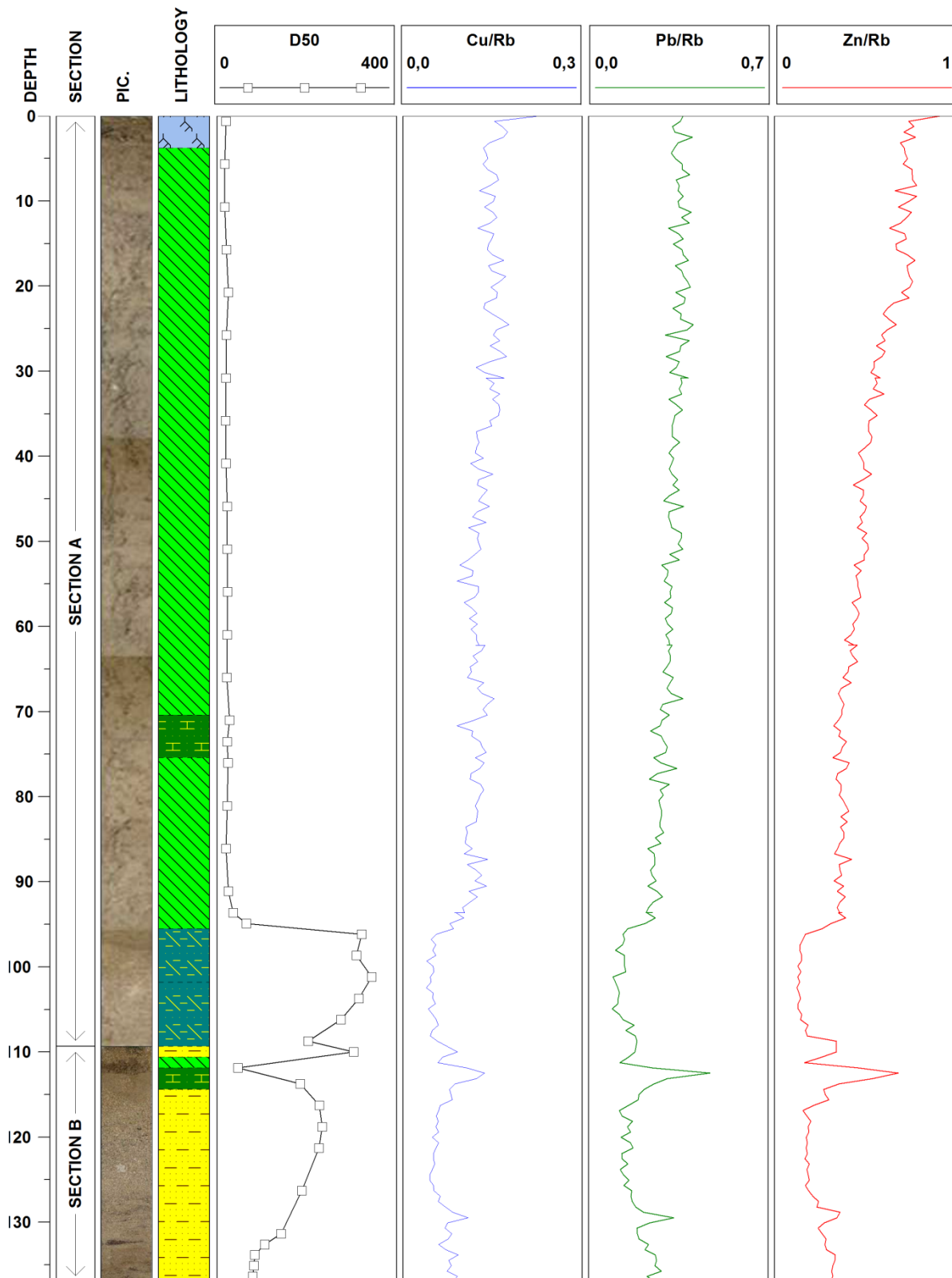


Figure 21 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C10a.

Carotte C10b

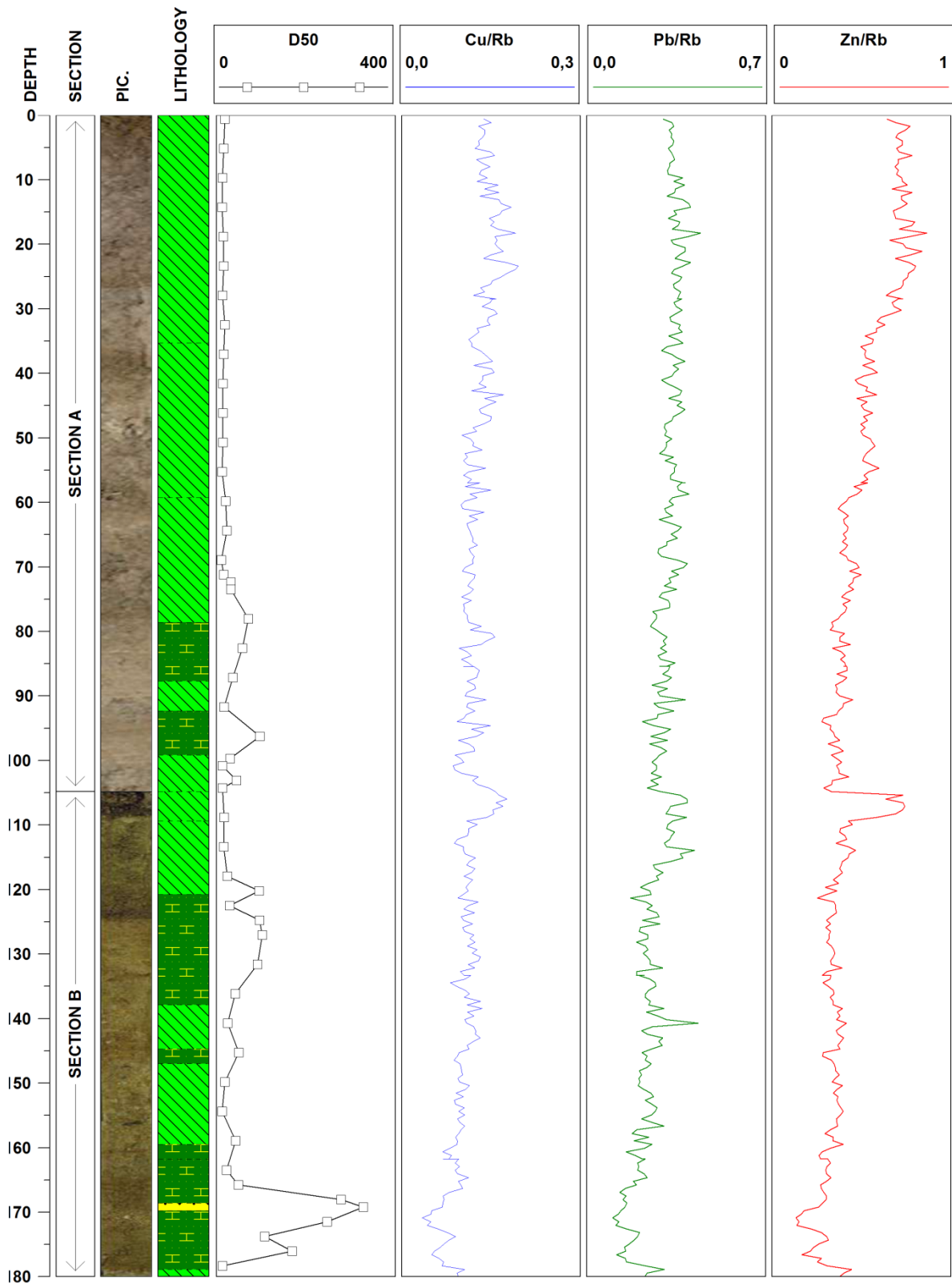
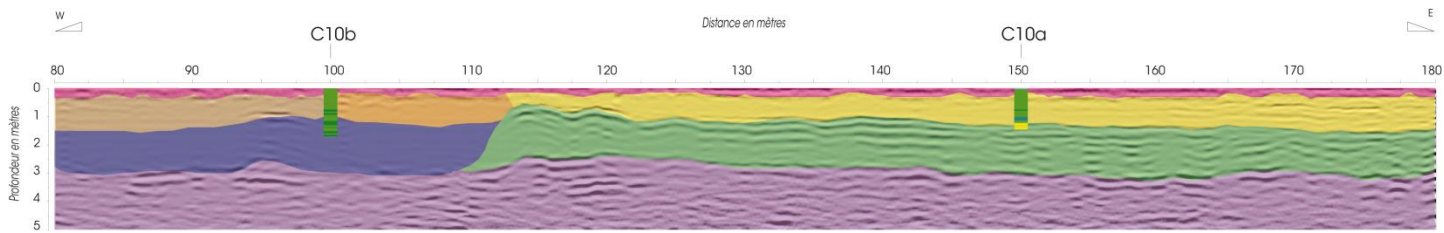
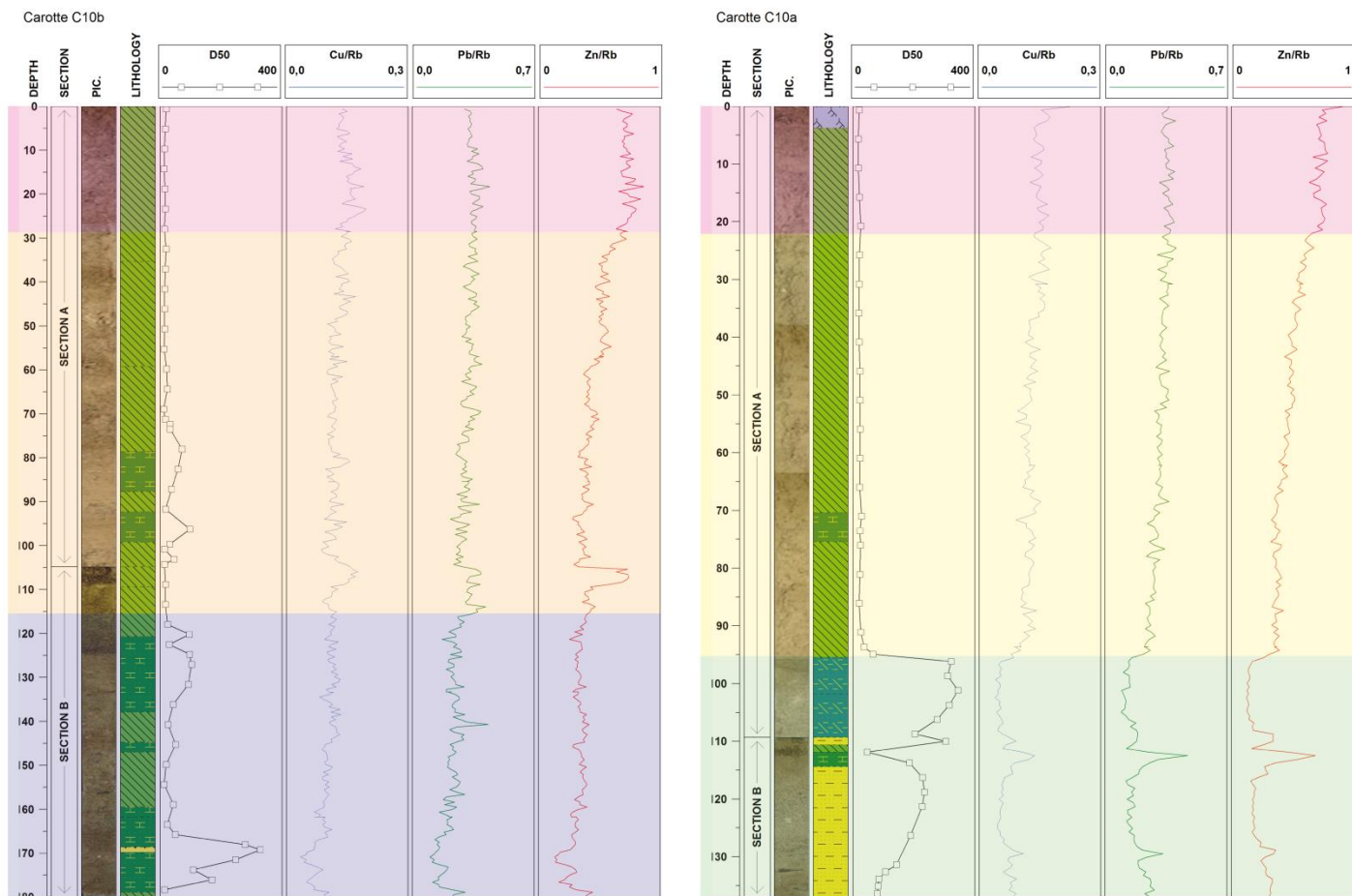


Figure 22 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C10b.



Profil GPR-10a traité, antenne de 200 MHz (exagération verticale x2)



- |  |   |  |                                      |
|--|---|--|--------------------------------------|
|  | Remplissage de surface (environ 40 cm)        |  | Remplissage fin subhorizontal        |
|  | Remplissage supérieur du chenal (environ 1 m) |  | Remplissage de sable (subhorizontal) |
|  | Remplissage inférieur du chenal (environ 1m)  |  | Remplissage en profondeur, sables    |

Figure 23 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour les carottes C10a et C10b.



Carotte C10c

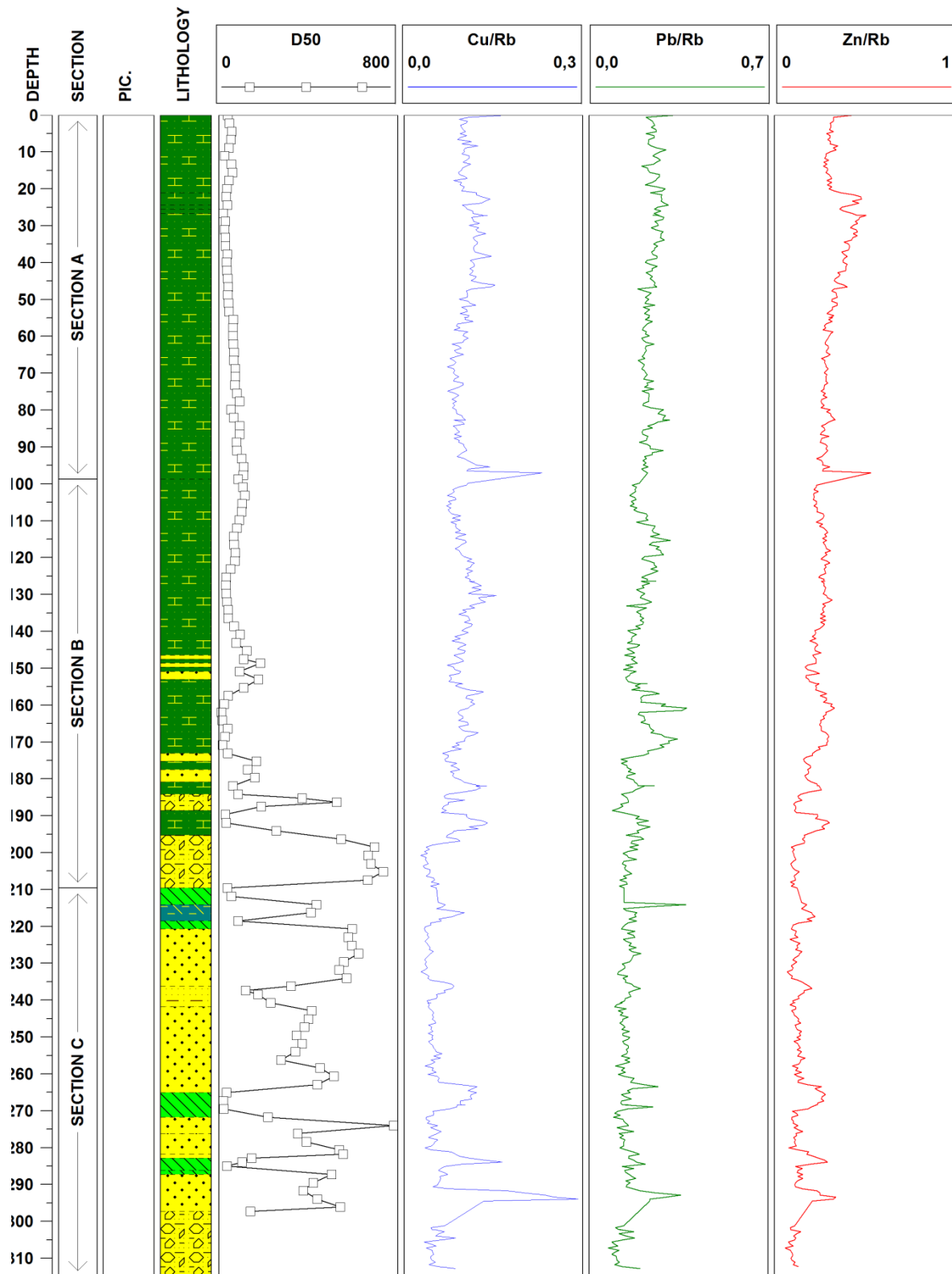


Figure 24 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C10c.

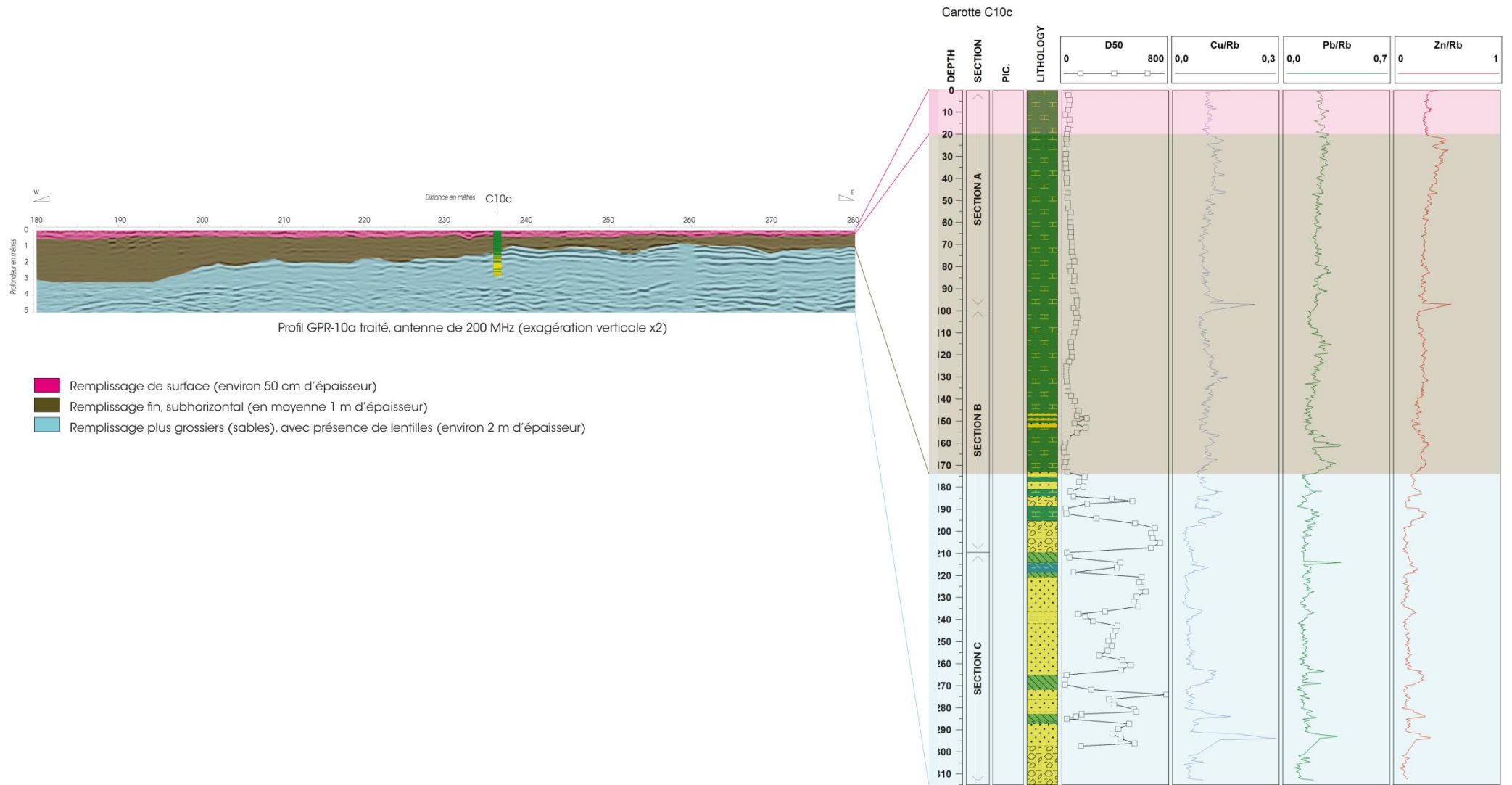
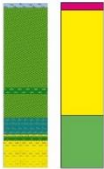







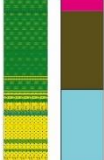





Figure 25 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour la carotte C10c.

Le **Tableau 4** synthétise les valeurs moyennes en Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans chacune des structures sédimentaires investiguées pour l'ensemble du site 10.

Tableau 4 : Valeur moyenne de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans les carottes C10a, C10b et C10c pour chacune des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes.

Site	Carotte	Structure sédimentaire identifiée sur les radargrammes	Cu/Rb	Pb/Rb	Zn/Rb
10	C10a 		0,15	0,35	0,72
			0,10	0,26	0,44
			0,07	0,20	0,25
	C10b 		0,15	0,35	0,72
			0,12	0,31	0,43
			0,09	0,22	0,32
	C10c 		0,10	0,26	0,31
			0,10	0,23	0,30
			0,07	0,16	0,16

#### II.4.c. Le site 12 et les carottes C12a et C12b

La carotte C12a rencontre en surface, jusqu'à environ 10 cm de profondeur, une structure sédimentaire présentant un début de pédogénèse (représentée en marron, **Figure 26** et **Figure 27**). Les valeurs de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb sont plus élevées dans cette structure que sur le reste de l'ensemble de l'archive sédimentaire.

À cette couche de surface succède de 10 à environ 90 cm de profondeur une structure sédimentaire silteuse (le D50 a une valeur moyenne de 76  $\mu\text{m}$ , et la fraction fine est de 65 %). Les valeurs de pollution sont relativement stables.

La structure plus en profondeur (de 90 à 215 cm de profondeur) est représentée en rose. Elle est plus sableuse (le D50 a une valeur moyenne de 272  $\mu\text{m}$ , et la fraction fine est de 15%). Les valeurs en pollution métallique présentent des variations importantes au sein de cette structure, mais les valeurs sont plus faibles, comparativement aux autres structures supérieures investiguées.

La carotte C12b est située sur le même transect que la carotte C12a, et est plus éloignée du Rhône. Les structures investiguées sont similaires (**Figure 28** et **Figure 29**) :

- une structure sédimentaire silteuse, représentée en jaune (le D50 a une valeur moyenne de 50  $\mu\text{m}$ , et le pourcentage de fraction fine est de 55%). Les valeurs de pollution métallique sont élevées, mais en diminution constante avec la profondeur ;
- une structure sédimentaire plus sableuse, représentée en rose (le D50 a une valeur moyenne de 148  $\mu\text{m}$ , et la fraction fine y est de 18%). Les valeurs de pollution en CU/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb présentent de légères variations, mais y sont globalement plus faibles que dans la structure supérieure.

La carotte C12b présente à sa base une couche de graviers, qui n'a pas été analysée.

Carotte C12a

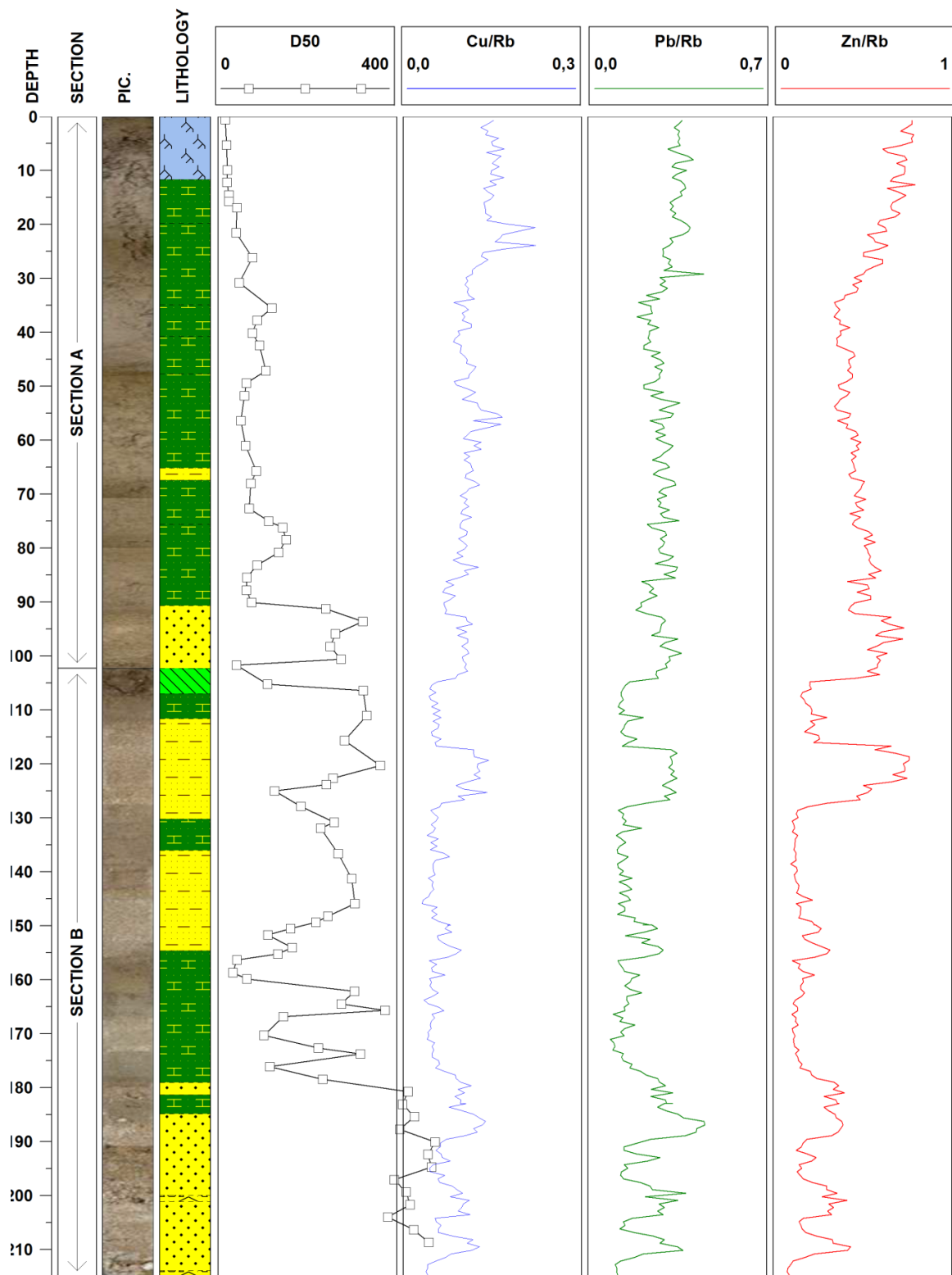


Figure 26 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C12a.

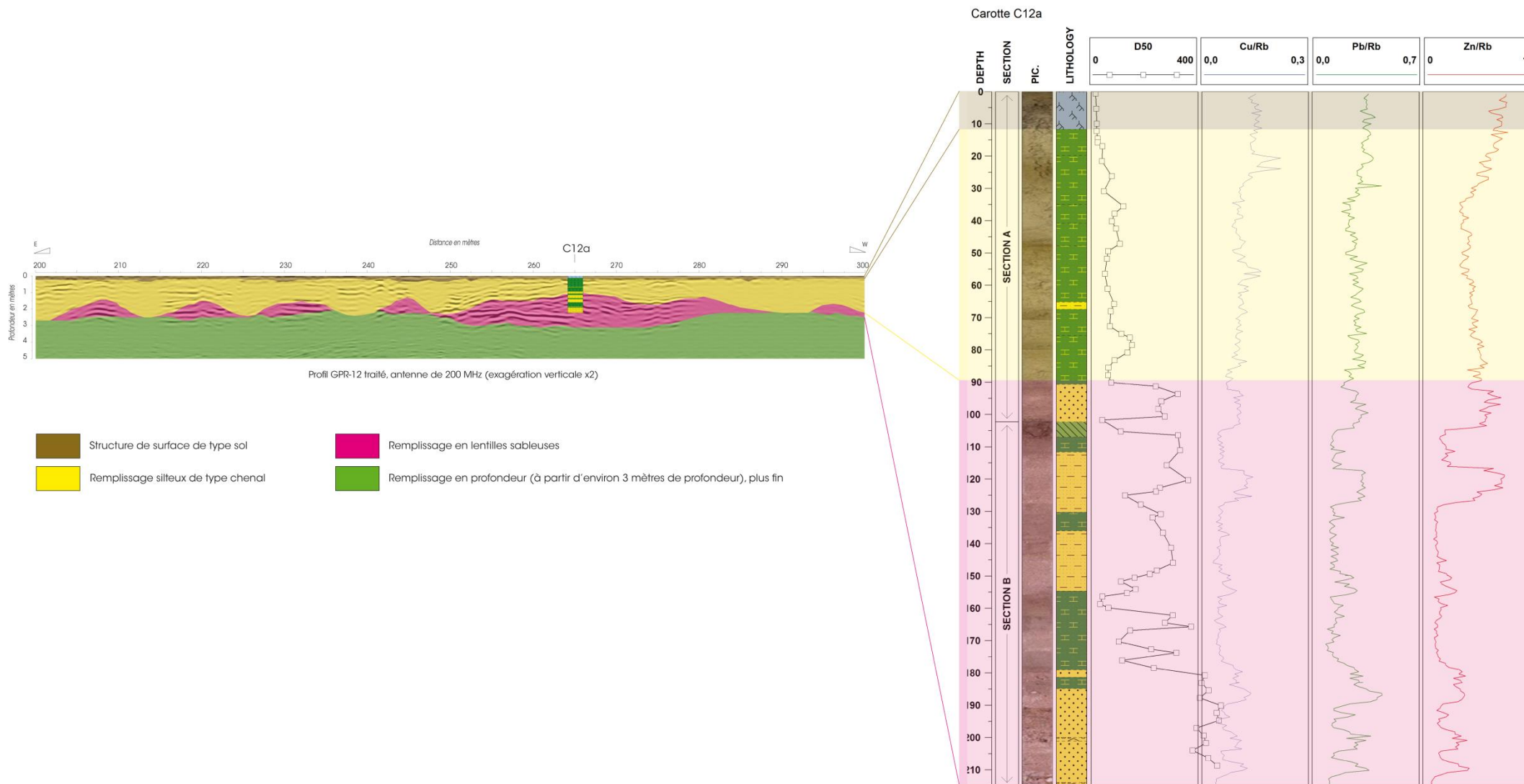


Figure 27 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour la carotte C12a.

Carotte C12b

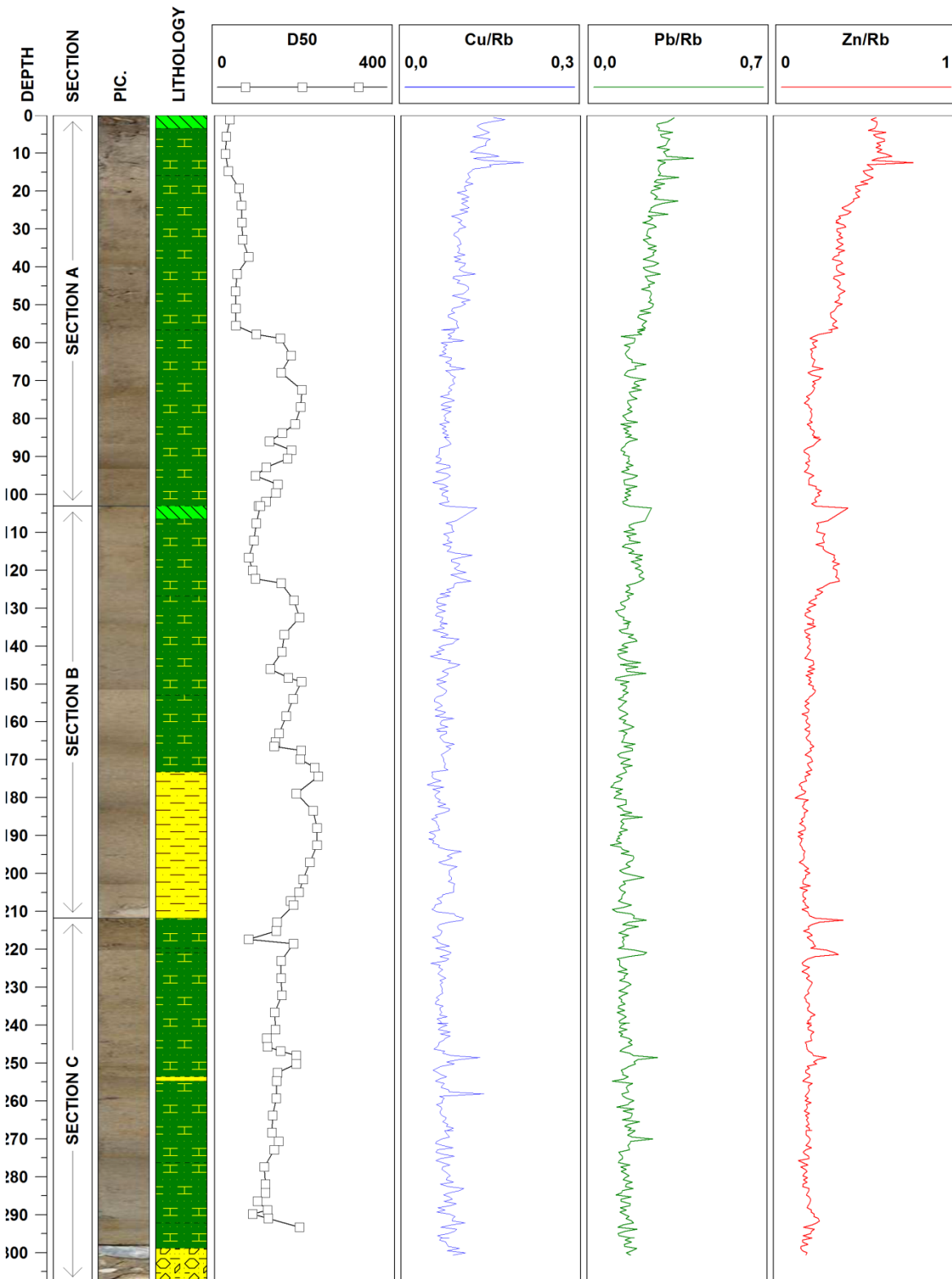


Figure 28 : Résultats des analyses granulométriques (D50) et des analyses chimiques qualitatives (Core-Scanner) pour le cuivre, le plomb et le zinc, normalisés au rubidium pour la carotte C12b.



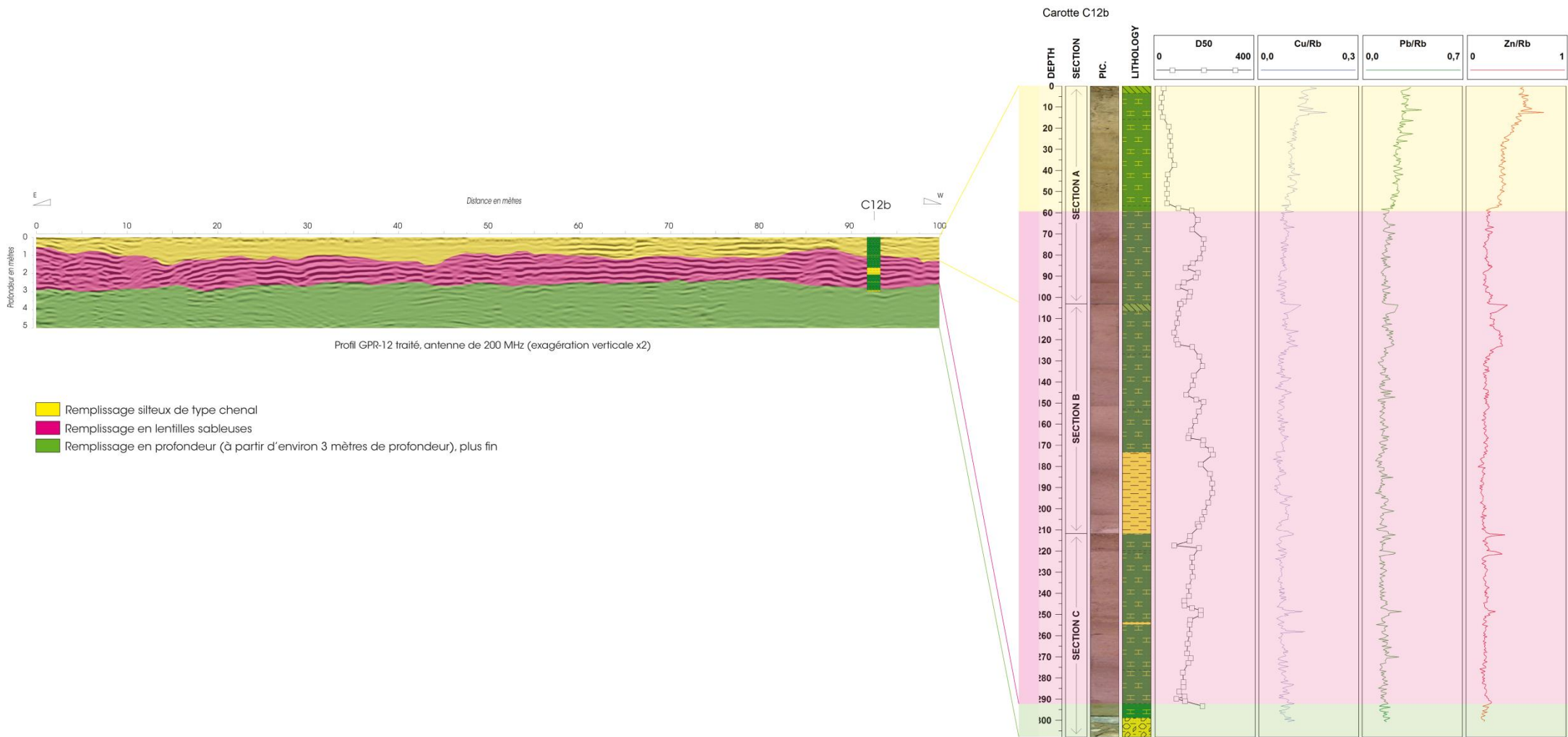








Figure 29 : Résultats des analyses chimiques qualitatives en cuivre, plomb et zinc normalisés au rubidium en fonction de la profondeur et des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes pour la carotte C12b.

Le **Tableau 5** synthétise les valeurs moyennes en Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans chacune des structures sédimentaires investiguées pour l'ensemble du site 12.

Tableau 5 : Valeur moyenne de Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb dans les carottes C12a et C12b pour chacune des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes.

Site	Carotte	Structure sédimentaire identifiée sur les radargrammes	Cu/Rb	Pb/Rb	Zn/Rb
12	C12a		0,15	0,35	0,73
			0,12	0,29	0,49
			0,07	0,19	0,24
	C12b		0,11	0,26	0,43
			0,07	0,15	0,21
			0,08	0,16	0,19

## II.5. Synthèse des analyses de PCB<sub>i</sub> et chroniques historiques de pollution des deux archives sédimentaires échantillonnées

39 analyses en PCB<sub>i</sub> ont été réalisées par le laboratoire LABERCA / EUROFINs : 19 analyses sur la carotte C10a (un flacon a été cassé durant le transport, et le matériel sédimentaire a été perdu) et 20 analyses sur la carotte C10b. Les échantillons ont été prélevés sur 1 cm d'épaisseur, avec un pas d'échantillonnage de 8 cm en moyenne, afin d'investiguer la totalité des deux archives sédimentaires.

Les **Tableau 6** et **Tableau 7** présentent les résultats de ces analyses, avec les côtes centimétriques de chacun des prélèvements.

Les **Figure 30** et **Figure 31** présentent les résultats en fonction de la profondeur.

Tableau 6 : Résultats des analyses en PCB<sub>i</sub> (avec côte centimétrique de chaque échantillon) sur la carotte C10a.

Carotte	Côte centimétrique	Somme des 7 PCB <sub>i</sub> (en µg/kg MS)	Incertitude
Carotte C10a	0 – 1 cm	15,835	4,02
	8 – 9 cm	18,905	4,80
	16 – 17 cm	12,286	3,12
		Flacon cassé	
	32 – 33 cm	0,451	0,11
	40 – 41 cm	0,144	0,04
	48 – 49 cm	0,081	0,02
	56 – 57 cm	0,110	0,03
	60 – 61 cm	0,107	0,03
	68 – 69 cm	1,065	0,27
	74 – 75 cm	0,486	0,12
	84 – 85 cm	0,147	0,04

Carotte	Côte centimétrique	Somme des 7 PCB <sub>i</sub> (en µg/kg MS)	Incertitude
	87 – 88 cm	2,372	0,60
	90 – 91 cm	0,448	0,11
	94 – 95 cm	0,255	0,06
	97 – 98 cm	0,085	0,02
	100 – 101 cm	0,095	0,02
	101 – 102 cm	0,101	0,03
	105 – 106 cm	0,099	0,03
	107 – 108 cm	0,141	0,04

Tableau 7 : Résultats des analyses en PCB<sub>i</sub> (avec côte centimétrique de chaque échantillon) sur la carotte C10b.

Carotte	Côte centimétrique	Somme des 7 PCB <sub>i</sub> (en µg/kg MS)	Incertitude
Carotte C10b	0 – 1 cm	14,609	3,71
	4 – 5 cm	15,352	3,90
	12 – 13 cm	21,727	5,51
	20 – 21 cm	16,461	4,18
	28 – 29 cm	3,089	0,78
	36 – 37 cm	0,840	0,21
	44 – 45 cm	2,151	0,55
	52 – 53 cm	0,277	0,07
	60 – 61 cm	0,125	0,03
	68 – 69 cm	0,071	0,02
	84 – 85 cm	0,090	0,02
	92 – 93 cm	10,721	2,72
	100 – 101 cm	0,186	0,05
	110 – 111 cm	0,068	0,02
	112 – 113 cm	0,063	0,02
	124 – 125 cm	0,058	0,01
	132 – 133 cm	0,072	0,02
	146 – 147 cm	0,072	0,02
151 – 152 cm	0,108	0,03	
157 – 158 cm	0,087	0,02	

Carotte C10a

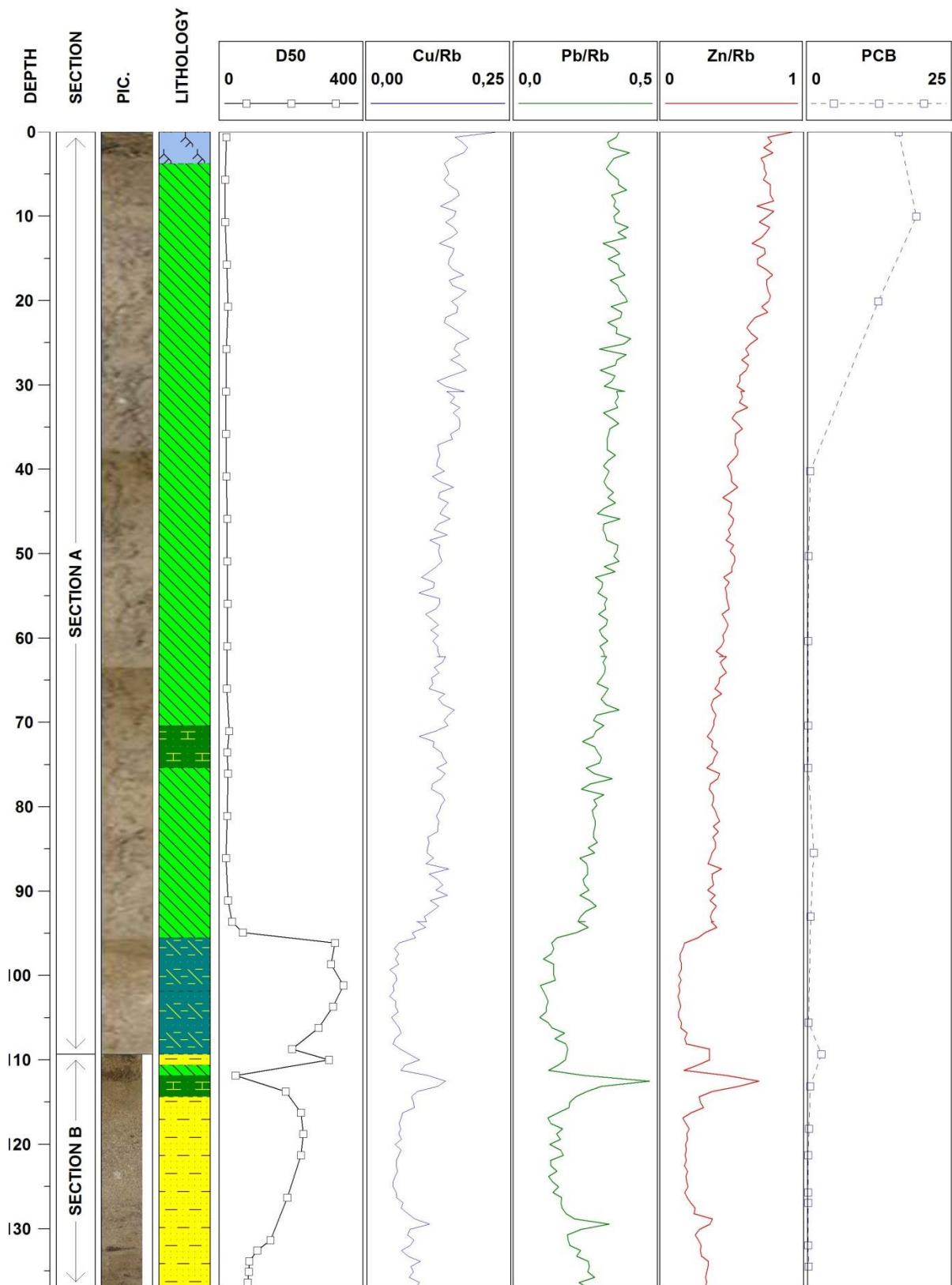


Figure 30 : Résultats des analyses chimiques quantitatives Cu/Rb, Pb/Rb, Zn/Rb et des analyses en PCB en fonction de la profondeur pour la carotte C10a.

Carotte C10b

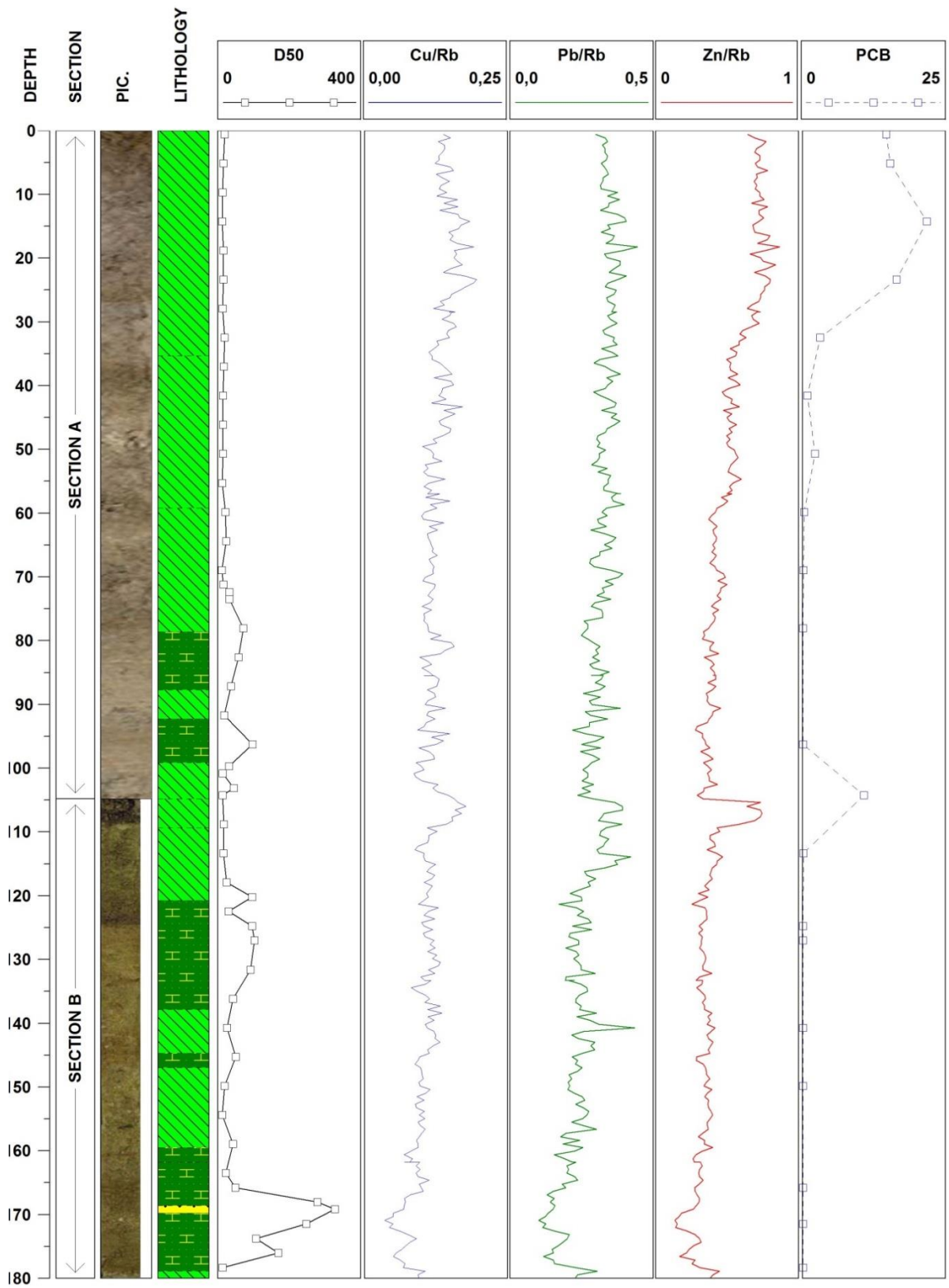


Figure 31 : Résultats des analyses chimiques quantitatives Cu/Rb, Pb/Rb, Zn/Rb et des analyses en PCB en fonction de la profondeur pour la carotte C10b.

Les PCB<sub>i</sub> ne sont pas présents dans les échantillons analysés, sauf en surface, et ce pour les deux carottes :

- au niveau de la carotte C10a, les PCB<sub>i</sub> sont présents entre la surface et environ 20 cm de profondeur, ce qui correspond à la zone la plus contaminée au niveau des métaux (notamment Cu/Rb, Pb/Rb et Zn/Rb, cf. partie II – 4.b. du présent rapport). Cette couche est la couche de surface, et présente donc les contaminations les plus importantes en termes de polluants métalliques et organiques de l'ensemble des archives sédimentaires ;
- pour la carotte C10b, nous observons le même type de contamination : les PCB<sub>i</sub> sont présents sur les 30 premiers cm de la carotte, et absents dans le reste de l'archive sédimentaire. De même que pour la carotte C10a, c'est cette couche qui présente les pollutions métalliques les plus importante du reste de l'archive.

La moyenne de PCB<sub>i</sub> dans cette structure de surface est de 16 µg/kg MS pour la carotte C10a et de 15,5 µg/kg MS pour la carotte C10b.

## II.6. Hypothèse de temporalité de dépôt pour l'ensemble des carottes du RCC de Péage-de-Roussillon

Les résultats des analyses de radionucléides pour les carottes C10a et C10b, même s'ils ne nous permettent pas d'extrapoler un taux de sédimentation de manière satisfaisante, peuvent être cependant croisés avec les résultats (i) de la granulométrie, (ii) des PCB<sub>i</sub>, (iii) des métaux et enfin (iv) des débits journaliers mesurés à la station de Serrières (données CNR) , afin de proposer des temporalités de dépôt pour ces archives sédimentaires, et par extrapolation pour l'ensemble des six carottes réalisées sur le RCC de Péage-de-Roussillon.

La **Figure 32** présente les courbes de production/consommation des PCB<sub>i</sub> en France, ainsi que, pour rappel. L'introduction des PCB<sub>i</sub> dans l'environnement se situe vers le milieu des années 50, et le pic de production est centré au début des années 70. Consécutivement, et en supposant que les dépôts des carottes C10a et C10b ne sont pas dus à des remobilisations récentes de stocks sédimentaires anciens, nous pouvons situer le haut de ces deux archives sédimentaires entre 1955 et 1965, ce qui serait compatible avec la présence de <sup>137</sup>Cs si nous imputons cette présence aux ENA de 1964. La **Figure 33** présente ces résultats et ces hypothèses pour a) la carotte C10a et b) la carotte C10b.

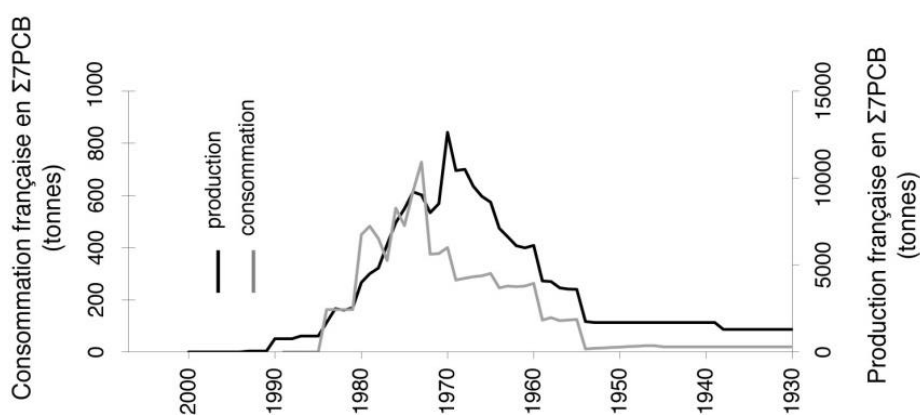
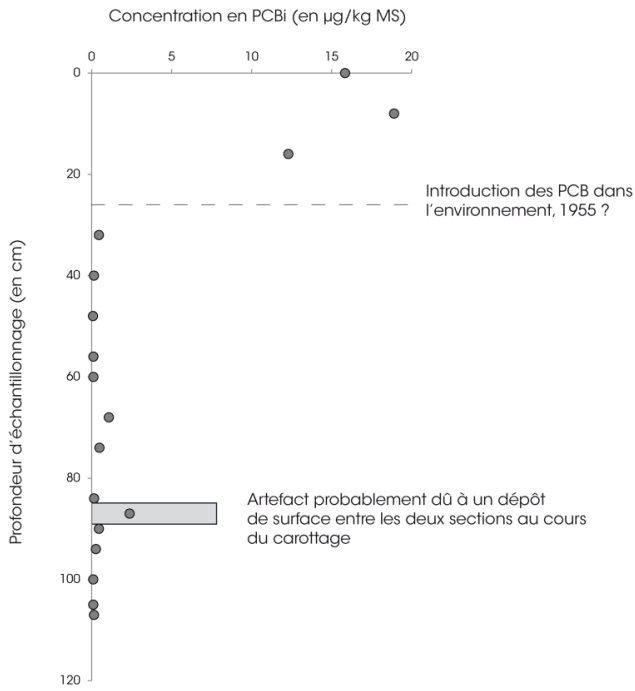
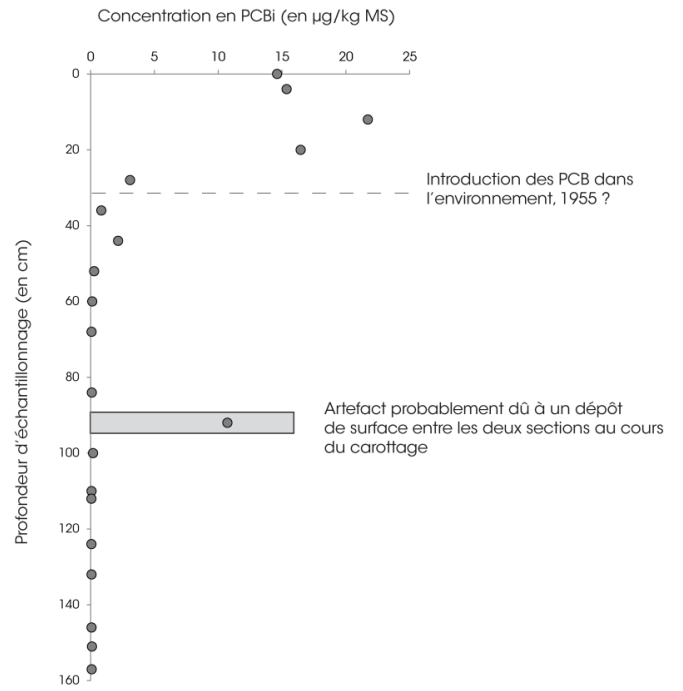


Figure 32 : Production et consommation en PCB<sub>i</sub> (en tonnes) en France.





a) Concentration en PCBi (µg/kg MS) dans la carotte C10a



b) Concentration en PCBi (µg/kg MS) dans la carotte C10b

Figure 33 : Concentration en PCBi (en µg/kg MS) dans a) la carotte C10a et b) la carotte C10b.

Nous pouvons désormais confronter cette hypothèse avec l'étude des débits journaliers enregistrés à la station de Serrières (données CNR) et en les comparant avec l'évolution de la teneur en sable dans les carottes C10a et C10b. La **Figure 34** représente l'intégralité de ces données de débits, soit du 1<sup>er</sup> janvier 1920 au 9 janvier 2012.

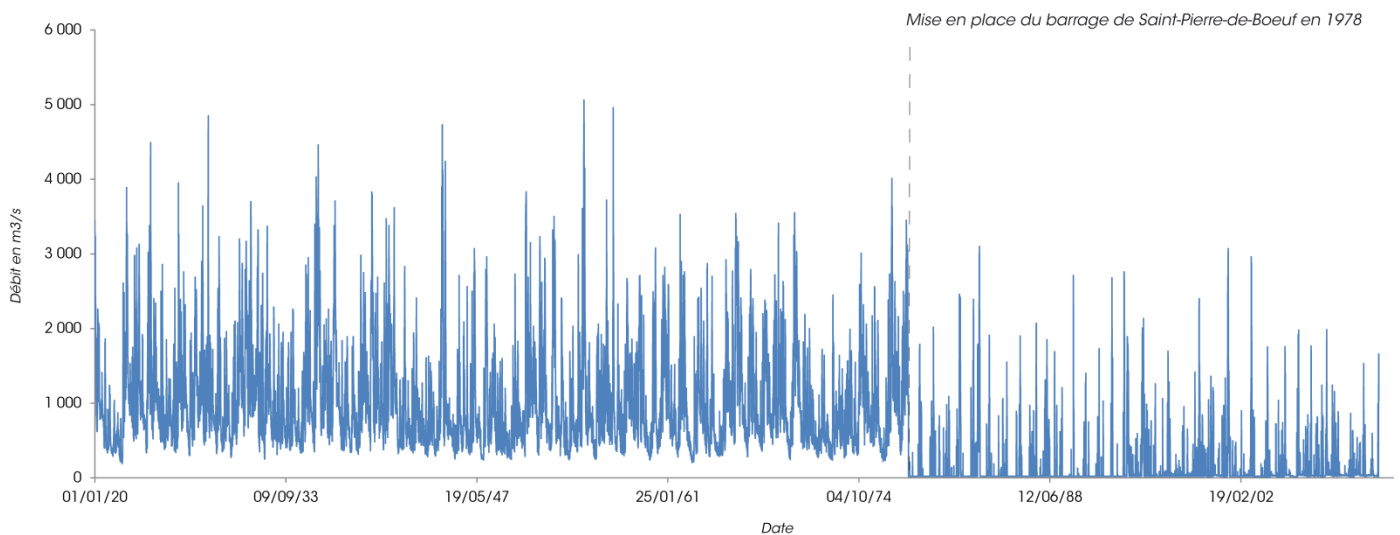


Figure 34 : Débits (en m<sup>3</sup>/s) journaliers enregistrés à la station de Serrières (données CNR).

L'enregistrement des débits débute le 1<sup>er</sup> janvier 1920, soit environ une vingtaine d'années après la mise en place des casiers Girardon. L'aménagement dont nous pouvons constater l'impact sur les débits est bien sûr le barrage de Saint-Pierre-de-Boeuf (mise en service en 1978).

Pour rappel, la **Figure 35** présente l'évolution du pourcentage de sable dans les carottes C10a (en haut) et C0b (en bas) en fonction de la profondeur d'échantillonnage (en cm). L'axe horizontal est présenté avec des valeurs en ordre inverse, afin de faciliter la mise en comparaison avec les débits, l'ordre chronologique évoluant alors dans le même sens que la mise en place des dépôts sédimentaires. Nous partons de l'hypothèse qu'une passée sableuse correspond à un événement de crue ; les dépôts qui nous semblent correspondre au même événement hydrologique pour les deux archives ont été matérialisés par des pastilles de couleur.

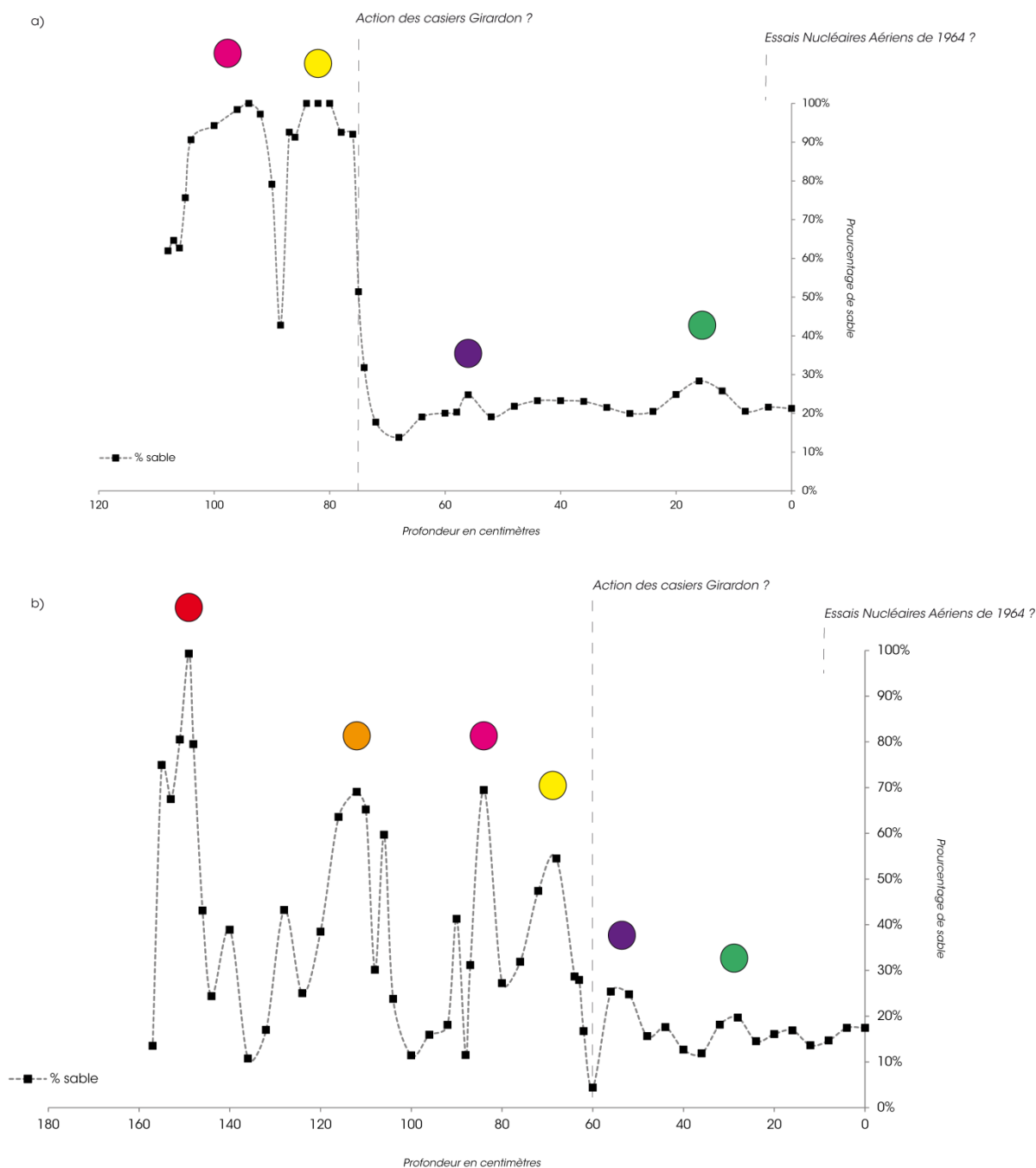


Figure 35 : Évolution du pourcentage de sable dans a) la carotte C10a et b) la carotte C10b en fonction de la profondeur d'échantillonnage en cm.

Les deux carottes présentent des chutes de granulométrie très identifiables, à 78 cm pour C10a et 60 cm pour C10b. Il aurait été plus intuitif d'attribuer cette chute de granulométrie à la mise en place du barrage en 1978, mais cela n'est pas compatible avec les résultats en PCB<sub>i</sub>, puisque le pic de production des PCB<sub>i</sub> en France est situé dans le milieu des années 1970. Or, dans les deux carottes, à ces mêmes profondeurs (78 cm et 60 cm), nous n'observons non seulement aucun pic, mais même aucune présence de PCB<sub>i</sub>. Pour cette raison, et également en raison de la position des carottes par rapport à la berge, nous tendons à imputer cette chute granulométrique à l'action des casiers Girardon. Malheureusement, avec cette hypothèse, nous ne pouvons pas identifier les crues responsables des différents dépôts sableux. Nous remarquons simplement que la carotte C10b présente, sans surprise, un début d'enregistrement antérieur à celui de la carotte C10a, et que nous pouvons retrouver dans les deux carottes les mêmes événements de crues.

Sans revenir plus longuement sur les résultats des analyses de métaux au Core-scanner, nous constatons que ces hypothèses de temporalité de dépôts sont compatibles avec l'évolution de ces derniers : légère augmentation des concentrations à partir du milieu de la carotte vers la surface, sans la présence de pic, aussi bien pour le plomb que pour le zinc.

En raison du manque de marqueurs temporels, essentiellement dans la base de la carotte, il est cependant trop hasardeux de proposer un taux de sédimentation.

Forts de ces convergences, nous pouvons maintenant revoir les hypothèses de temporalité de dépôts présentées dans le livrable 2, non seulement pour les carottes C10a et C10b, mais également pour toutes les archives prélevées dans le RCC de Péage-de-Roussillon (**Figure 36**). Pour établir les correspondances entre les carottes, nous nous servons du même marqueur granulométrique.

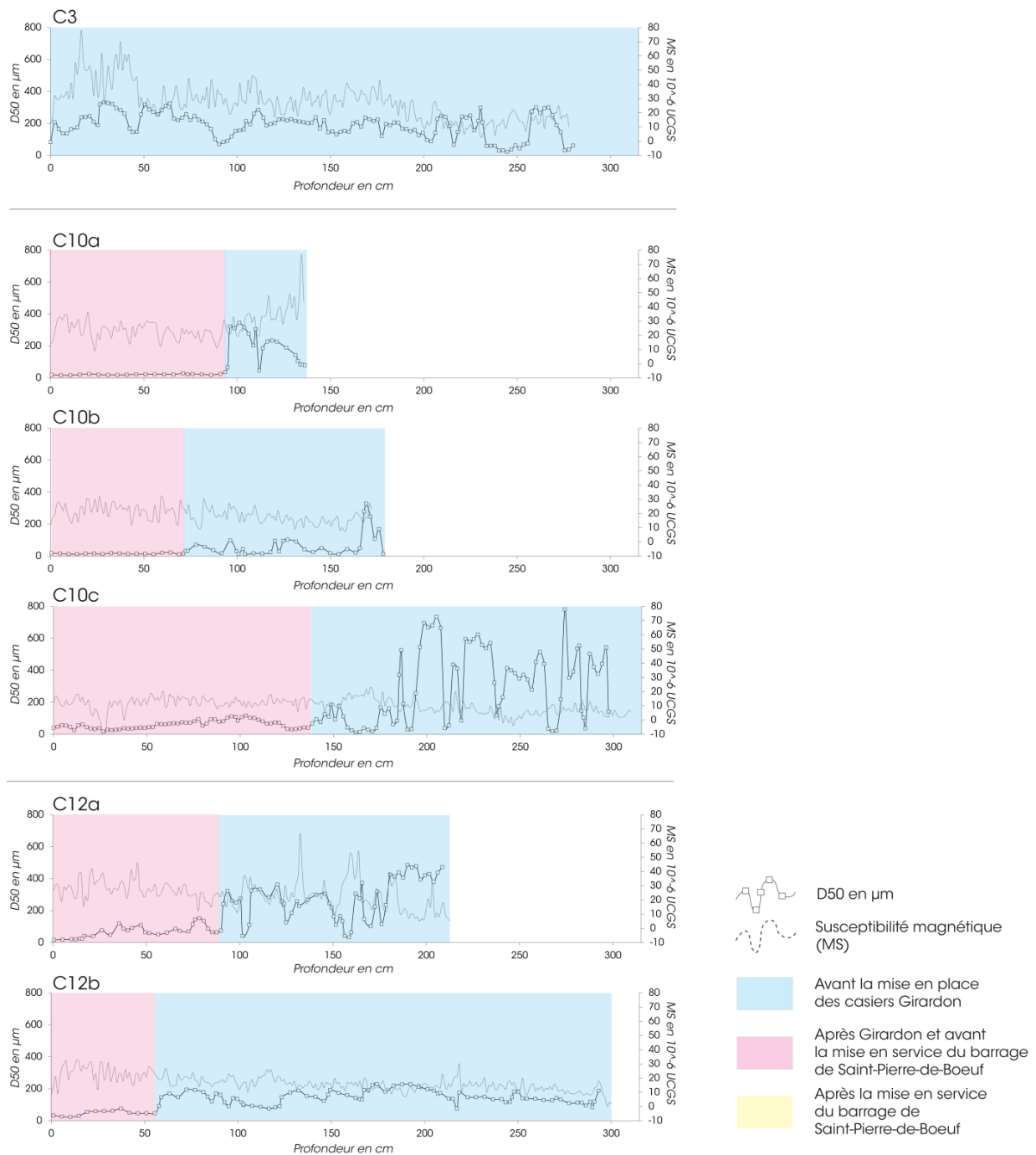


Figure 36 : Hypothèses de temporalité de dépôts pour l'ensemble des cinq archives sédimentaires prélevées dans le RCC de Péage-de-Roussillon.

Nous insistons cependant sur le fait que l'hypothèse présentée dans la figure ci-dessus repose plus sur une convergence de facteurs (radionucléides, granulométrie, analyses de métaux et de PCBi) que sur un marqueur spécifique, surtout en l'absence d'un pic marqué de  $^{137}\text{Cs}$ . Elle nécessite donc une confrontation supplémentaire avec les résultats des autres équipes du programme OSR4.

## Conclusion

La campagne d'acquisition au radar géologique menée dans le cadre de ce programme sur le RCC de Péage-de-Roussillon (cf. livrable **Traitement et analyse des radargrammes**) a permis (i) de déterminer stratégiquement l'emplacement des carottes et de (ii) caractériser l'environnement sédimentaire de ces archives par l'identification des structures principales sur les radargrammes correspondants (antennes de 200 Mz et de 400 MHz, cf. partie II.1. du présent rapport).

Une fois prélevées, les carottes ont été décrites en termes de lithologie, et analysées avec un pas d'échantillonnage très fin, de l'ordre de 2 à 4 cm (granulométrie et susceptibilité magnétique, cf. livrable **Traitement et analyse des radargrammes**).

Afin de compléter la caractérisation de ces archives sédimentaires, nous avons mené des analyses chimiques (i) d'ordre qualitatif au Core-Scanner, avec un pas d'échantillonnage de 0,5 cm, (cf. partie II.4. et **Annexe 1**) et (ii) quantitatives, au sein du laboratoire LEHNA-IPE (cf. partie II.4. et **Annexe 2**).

**Sur l'ensemble des archives, les structures en surface sont globalement plus polluées que les structures plus en profondeur, et ce tant au niveau des contaminants métalliques que des contaminants organiques.** Cette structure peut être en continuité avec le reste du remplissage, et avoir enregistré l'introduction des polluants dans l'environnement, ou être une structure en discontinuité, plus récente, consécutive à une remobilisation en amont. **Cependant, à l'exception d'un seul échantillon sur la carotte C12a pour le mercure, aucun des échantillons analysés en quantitatif ne dépasse les seuils S1. Les concentrations en PCBi ne dépassent pas elles non plus la valeur seuil de 60 µk/Kg MS.**

Concernant l'établissement d'un modèle d'âge, il s'est avéré irréalisable, aussi bien pour la carotte C10a que pour la carotte C10b, en raison de l'absence d'un pic de  $^{137}\text{Cs}$  sur les deux archives : le  $^{137}\text{Cs}$  n'est présent que sur les vingt premiers centimètres environ des dépôts. L'absence de  $^{241}\text{Am}$  n'est malheureusement pas suffisamment contraignante pour imputer de manière certaine cette augmentation de  $^{237}\text{Cs}$  à l'événement de Tchernobyl ou aux Essais Nucléaires Aériens. Cependant, nous avons pu confronter ces résultats aux mesures de PCBi, de métaux et de granulométrie, de façon à proposer une hypothèse de temporalité de dépôt pour les cinq archives prélevées dans le RCC de Péage-de-Roussillon. Les sédiments se seraient déposés depuis le début du XXème siècle (nous supposons voir l'effet des casiers Girardon sur la granulométrie) et dans une période qui reste antérieure à 1965.

La synthèse de l'ensemble des résultats des différents livrables du programme sera effectuée dans le document final, et ces résultats seront complétés par les résultats des équipes partenaires, afin notamment de (i) proposer des grands patrons de sédimentation et de fonctionnement hydrosédimentaire, et (ii) caractériser la pollution métallique et organique sur l'ensemble du RCC de Péage-de-Roussillon.





## **ANNEXES**

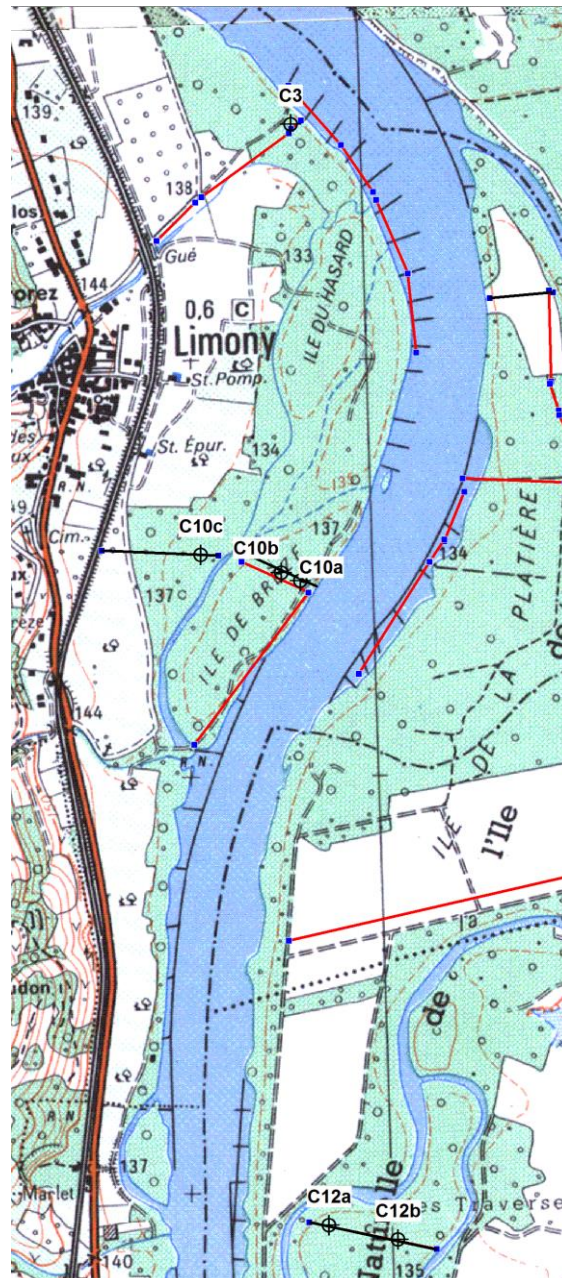


## Annexe 1 – Résultats des analyses en radionucléides (Laboratoire LSCE, Gif-sur-Yvette)

Sont regroupés dans cette annexe les résultats des analyses en radionucléides réalisées par le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, sur Gif-sur-Yvette.

À l'heure de la rédaction du présent rapport, seuls 6 échantillons de la carotte C10a et 1 échantillon de la carotte C10b ont été analysés.

Pour mémoire, la figure suivante rappelle leur emplacement respectif.



Localisation des archives sédimentaires prélevées sur le RCC de Péage-de-Roussillon

label	analysed weight (g)	reference date	counting date	spectrum	detector	géométrie	counting time (s)	Pb-210s	Pb-210	Th-234	Th-234xs	Ra-226
-------	---------------------	----------------	---------------	----------	----------	-----------	-------------------	---------	--------	--------	----------	--------

**NE PAS MODIFIER LES LIGNES CIDESSUS**

960,00 € Coût												
6												
vitesse de séch (cap/m):												
<b>C-10a</b>												
ENTPE C10a n01 4-5cm 01/03/17 cap	1	4	8,35	11/04/16	01/03/17	c10a-01c	cap16	cap16	46 +- 4	32 +- 4	< 95 096	30 +- 2
ENTPE C10a 11-13cm 22/03/17 mip	2	11	11,14	11/04/16	22/03/17	c10a-02m	mip16	mip16	35 +- 4	27 +- 4	< 173 123	29 +- 1
ENTPE C10a 20-21cm 23/03/17 mip	3	20	10,23	11/04/16	23/03/17	c10a-03m	mip16	mip16	33 +- 4	< 8,7	< 169 898	28 +- 2
	0	4		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	5		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	6	11,84	11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	7		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	8		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
ENTPE C10a n05 64-65cm 02/03/17 cap	9	64	10,07	11/04/16	02/03/17	c10a-09c	cap16	cap16	28 +- 3	27 +- 3	< 81 854	27 +- 1
	0	10		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	11		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	12		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	13		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	14	8,96	11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	15		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	16		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	17		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
ENTPE C10a n18 104-105cm 07/03/17 cap	18	104	10,22	11/04/16	07/03/17	c10a-18c	cap16	cap16	16 +- 7	44 +- 9	295230 +- 120 938	21 +- 2
	0	19		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	20		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A

vitesse de séch (cap/m):												
<b>C-10b</b>												
ENTPE C10b n05 40-41cm 24/03/17 mip	0	1		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	2		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	3	9,85	11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	4		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	5	9,08	11/04/16	24/03/17	c10b-05m	mip16	mip16	29 +- 3	30 +- 3	< 133 046	26 +- 0,5
	0	6		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	7		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	8		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	9		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	10		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	11		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	12		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	13		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	14		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	15		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	16		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	17		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	18		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	19		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	20		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	21		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	22		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	23		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	24		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	25		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	26		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	27		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	28		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	29		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	30		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	31		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	32		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	33		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	34		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A
	0	35		11/04/16		0	#N/A	#N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A	#N/A #N/A







3	Pb-211 405	3	Pb-211 832	3	Ra-223 164	3	Ra-223 324	3	Ra-223 445	3	Bi-211 351.0	Th-227 236	3	Th-227 256	3	U-235 163	3	U-235 205	
	8.4 +- 4.8 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A 0.3 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		5.0 +- < #N/A #N/A #N/A #N/A 8.9 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		2.6 +- 9.4 +- 5.4 +- #N/A #N/A #N/A #N/A 6.3 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		8.7 +- 54.7 +- 47.8 +- #N/A #N/A #N/A #N/A 1.8 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		3.2 +- 6.9 +- 3.4 +- #N/A #N/A #N/A #N/A 3.3 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		< 2.8 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		0.7 +- 0.5 +- 1.5 +- #N/A #N/A #N/A #N/A 2.3 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		5.8 +- < #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A 2.2 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		4.1 +- 3.0 +- 6.9 +- #N/A #N/A #N/A #N/A 2.6 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		< 3.3 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A 2.6 +- #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A
	#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		#N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A #N/A		

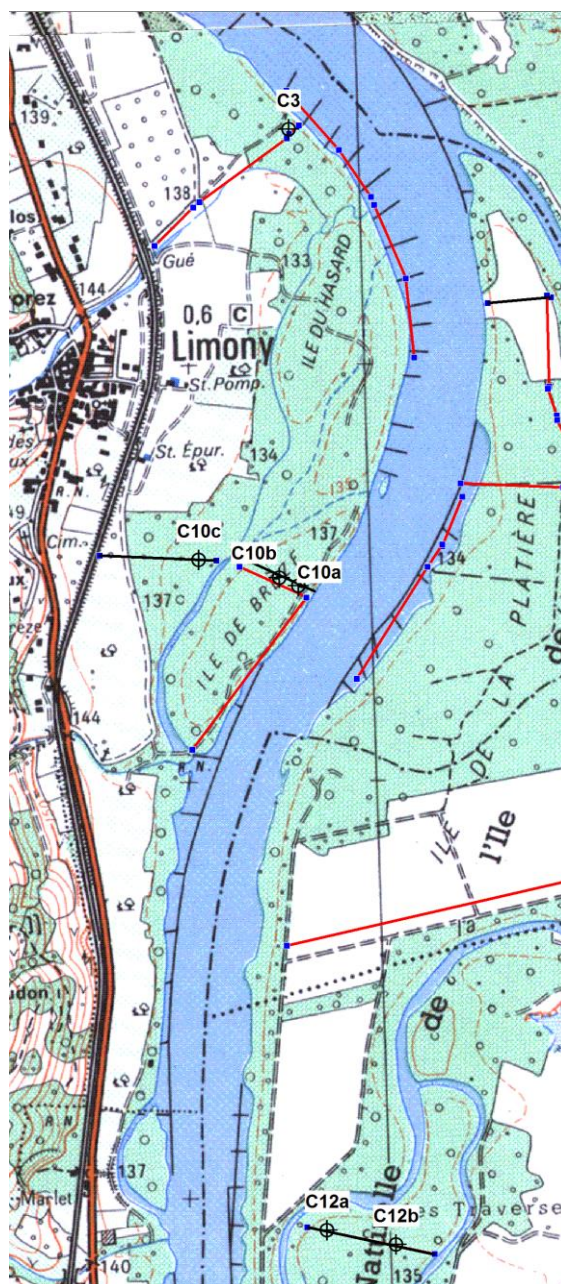


## Annexe 2 – Résultats des analyses au Core-Scanner

Sont regroupés dans cette annexe les résultats des analyses au Core-Scanner. Ils sont présentés en fonction de la longueur réelle des carottes.

Les éléments analysés sont : l'aluminium (Al), le silicium (Si), le phosphore (P), le soufre (S), le chlore (Cl), le potassium (K), le calcium (Ca), le titane (Ti), le chrome (Cr), le manganèse (Mn), le fer (Fe), le rhodium (Rh), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le gallium (Ga), le brome (Br), le rubidium (Rb), le strontium (Sr), l'yttrium (Y), le zirconium (Zr), le niobium (Nb), le molybdène (Mo), le plomb (Pb) et le bismuth (Bi). Le pas d'échantillonnage est de 0,5 cm.

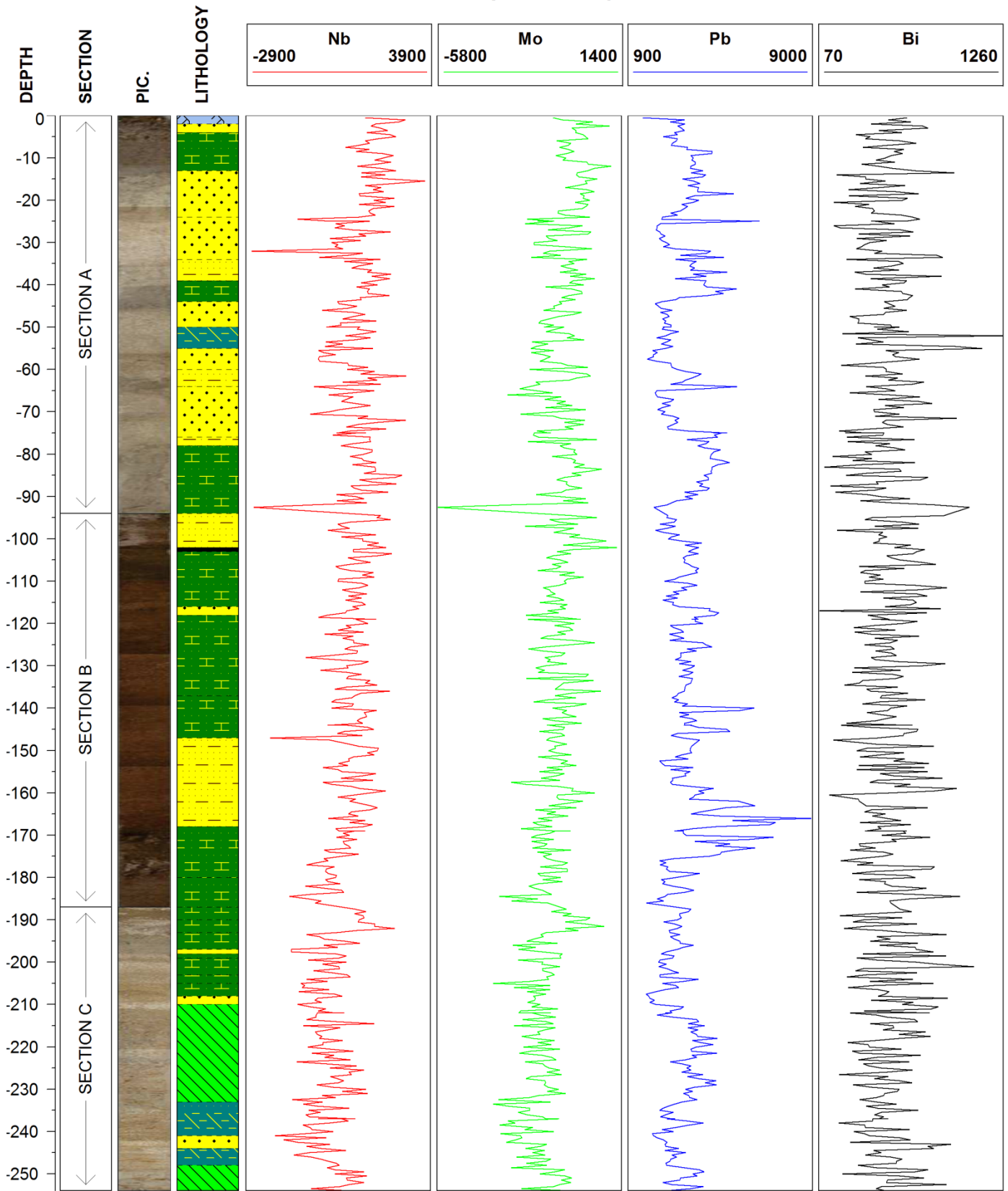
Les carottes sont présentées d'amont en aval, suivant la même logique que dans le présent rapport. Pour mémoire, la figure suivante rappelle leur emplacement respectif.



Localisation des prélèvements par carottage sur le RCC de Péage-de-Roussillon

Carotte C3

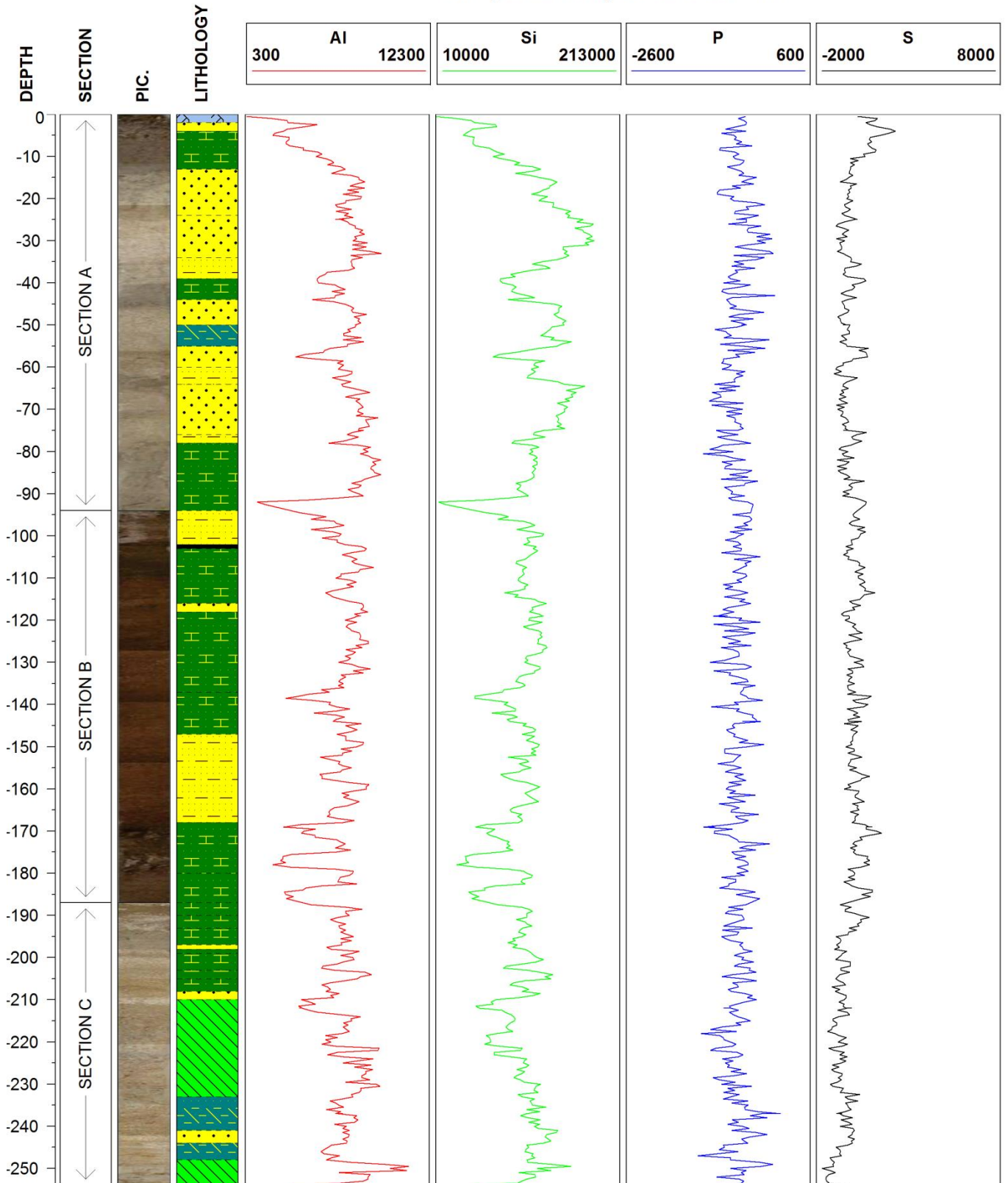
Analyses Chimiques Core-Scanner





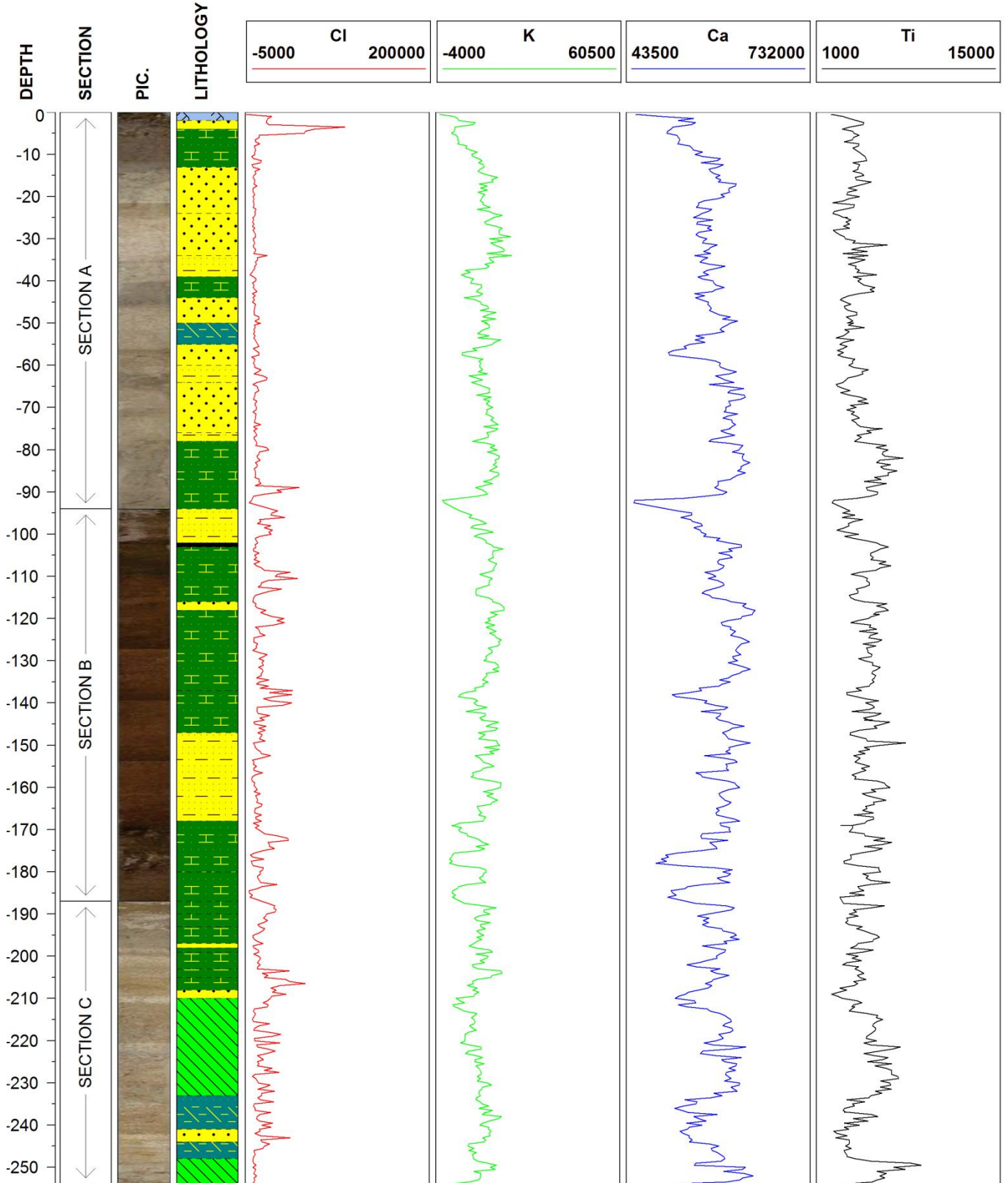
Carotte C3

Analyses Chimiques Core-Scanner



Carotte C3

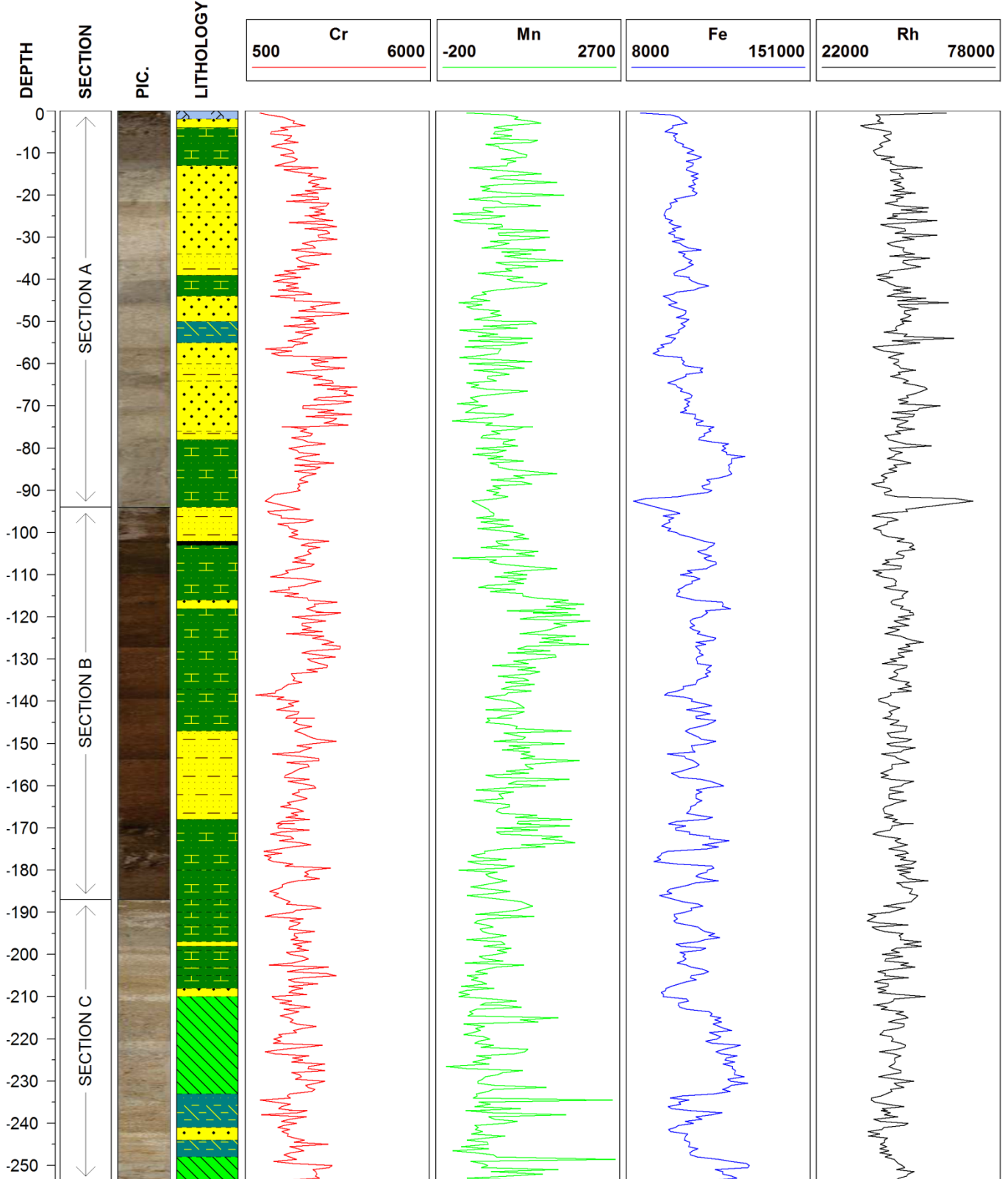
Analyses Chimiques Core-Scanner





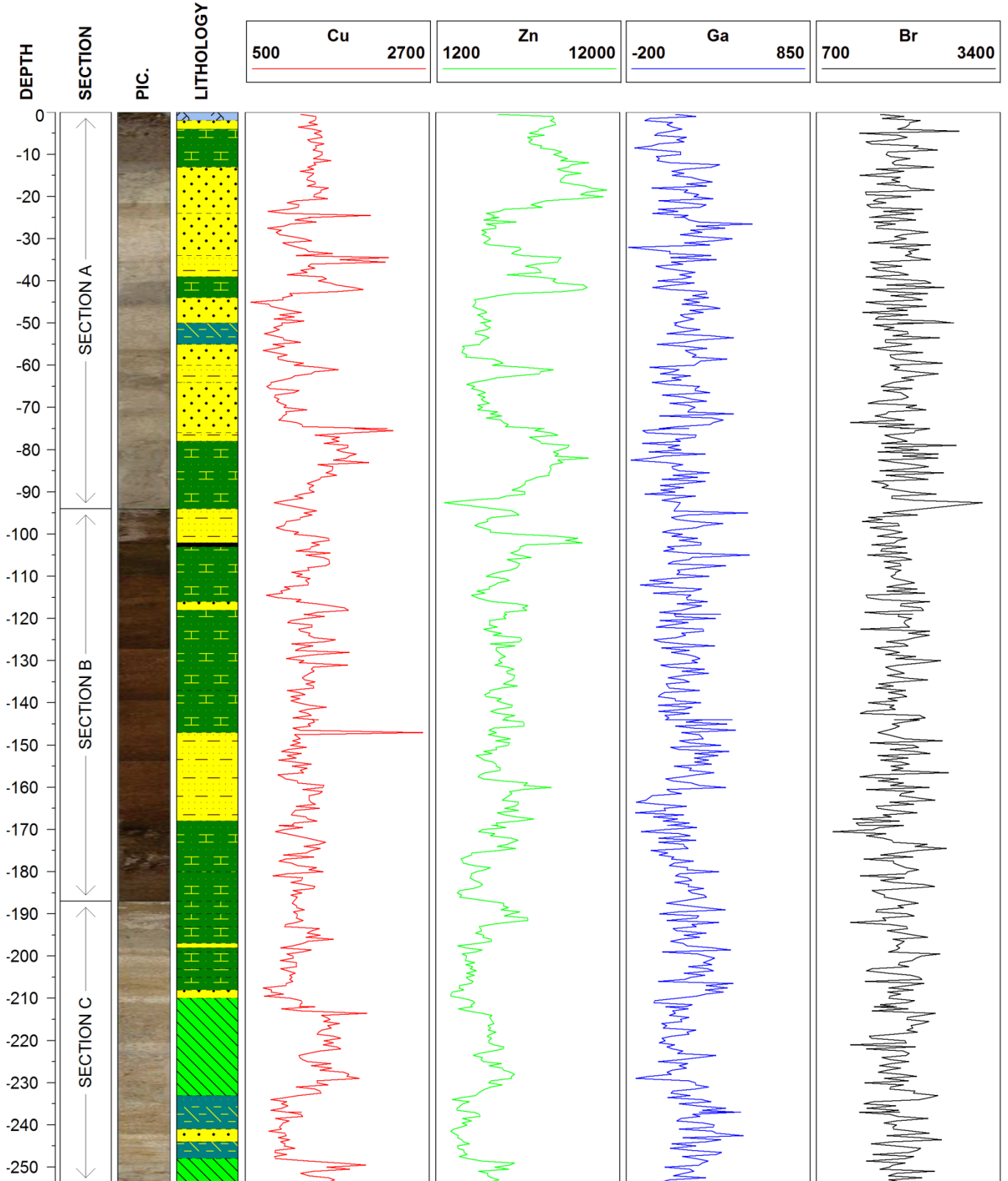
Carotte C3

Analyses Chimiques Core-Scanner



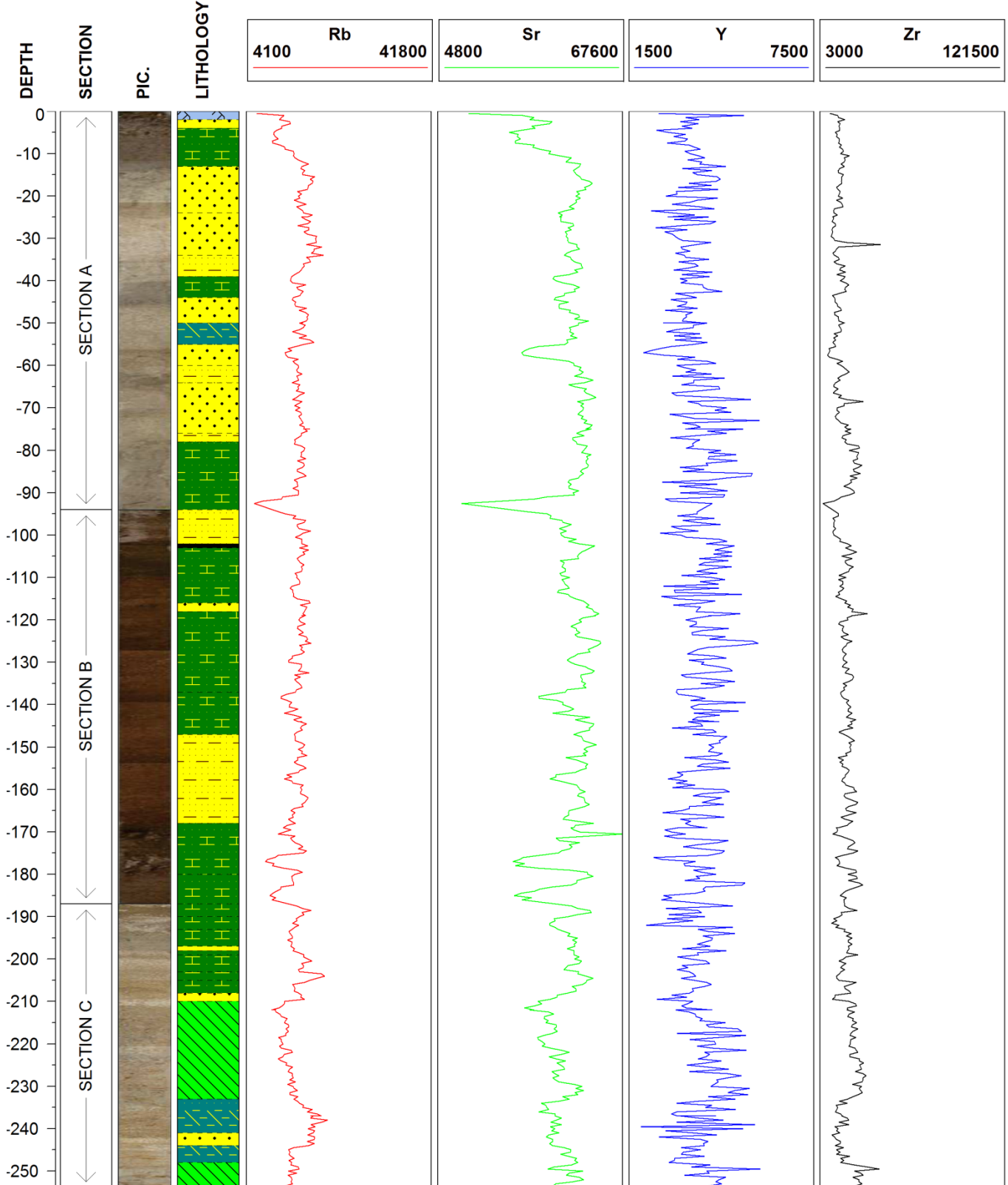
Carotte C3

Analyses Chimiques Core-Scanner



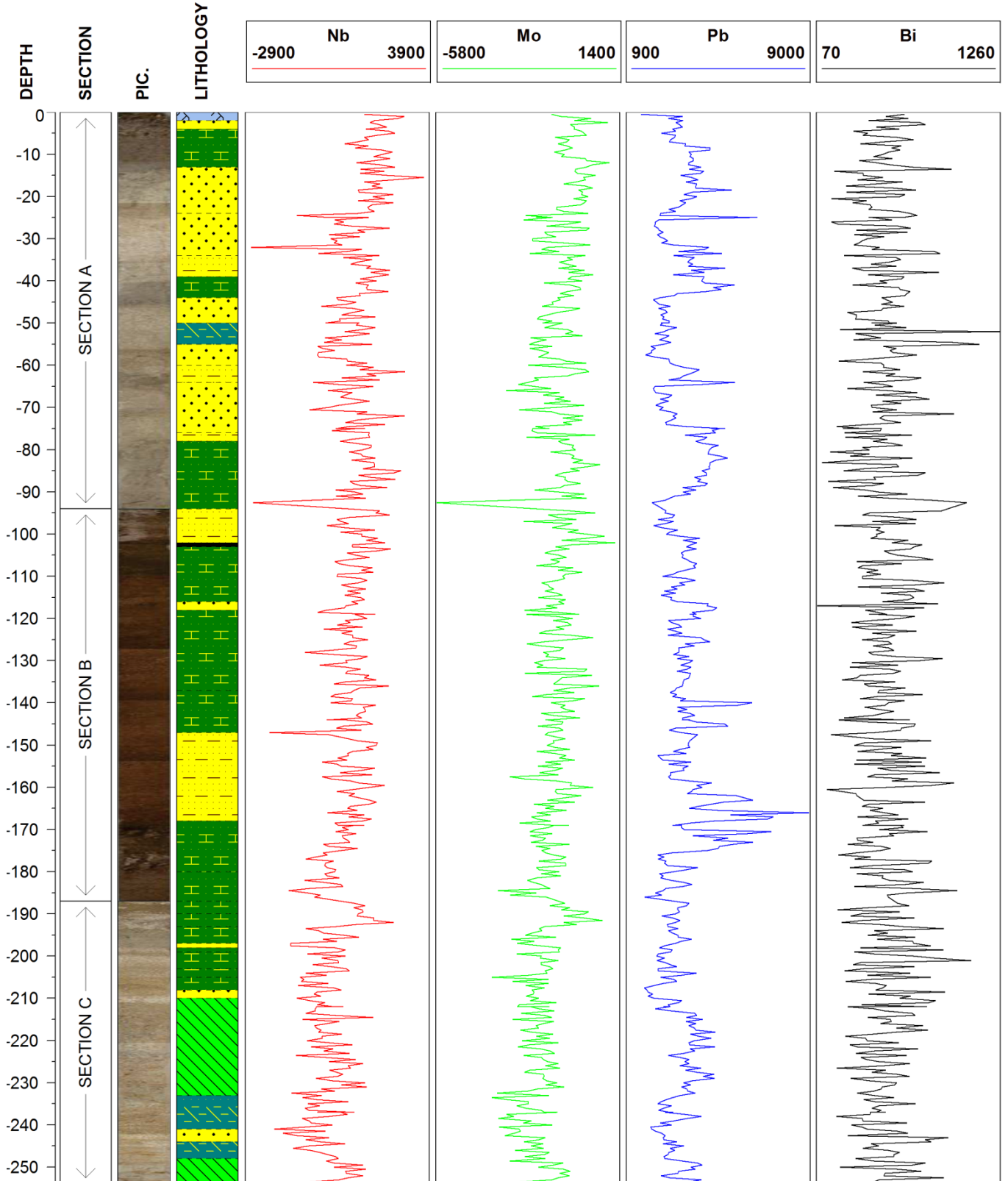
Carotte C3

Analyses Chimiques Core-Scanner



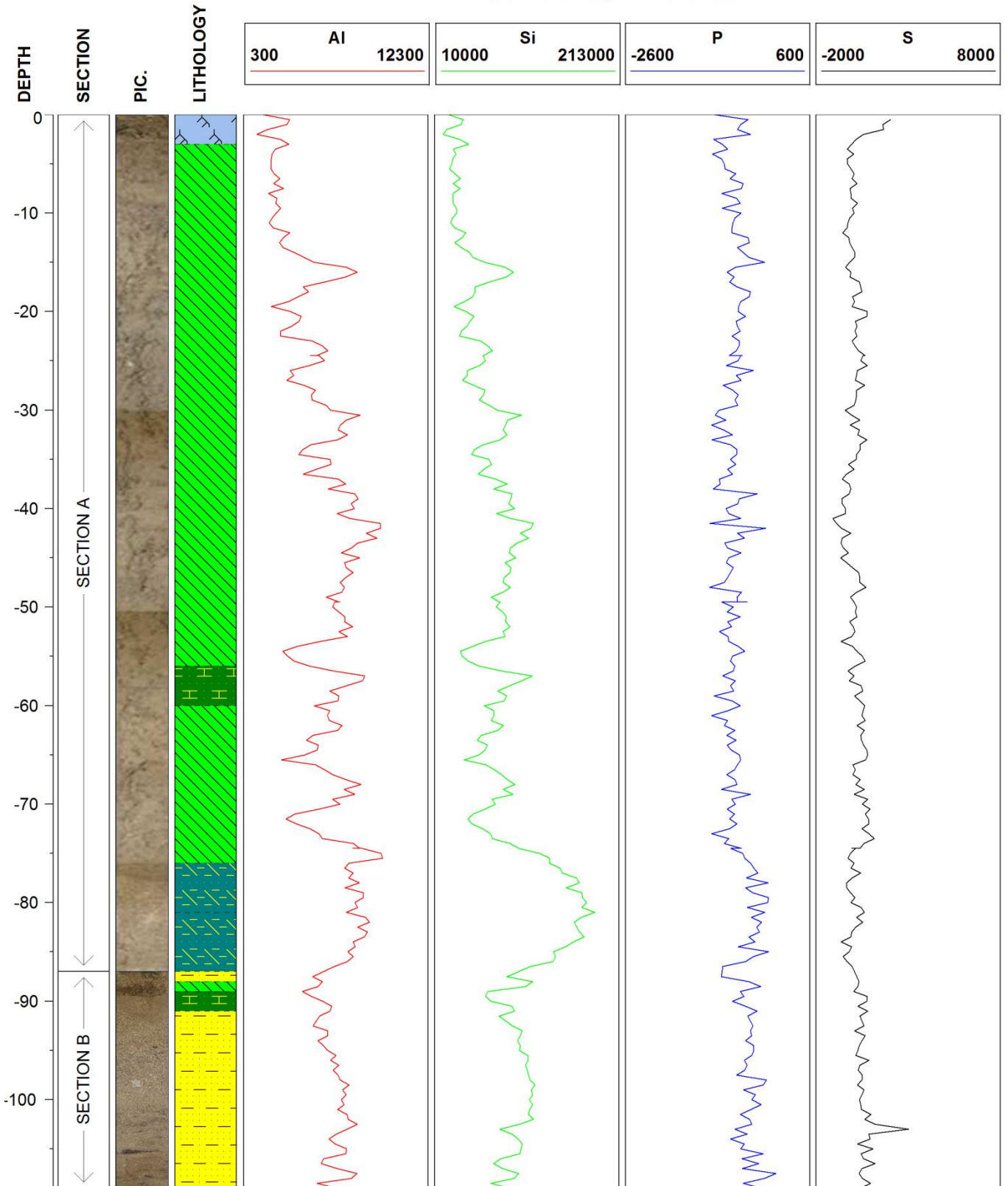
Carotte C3

Analyses Chimiques Core-Scanner



Carotte C10a

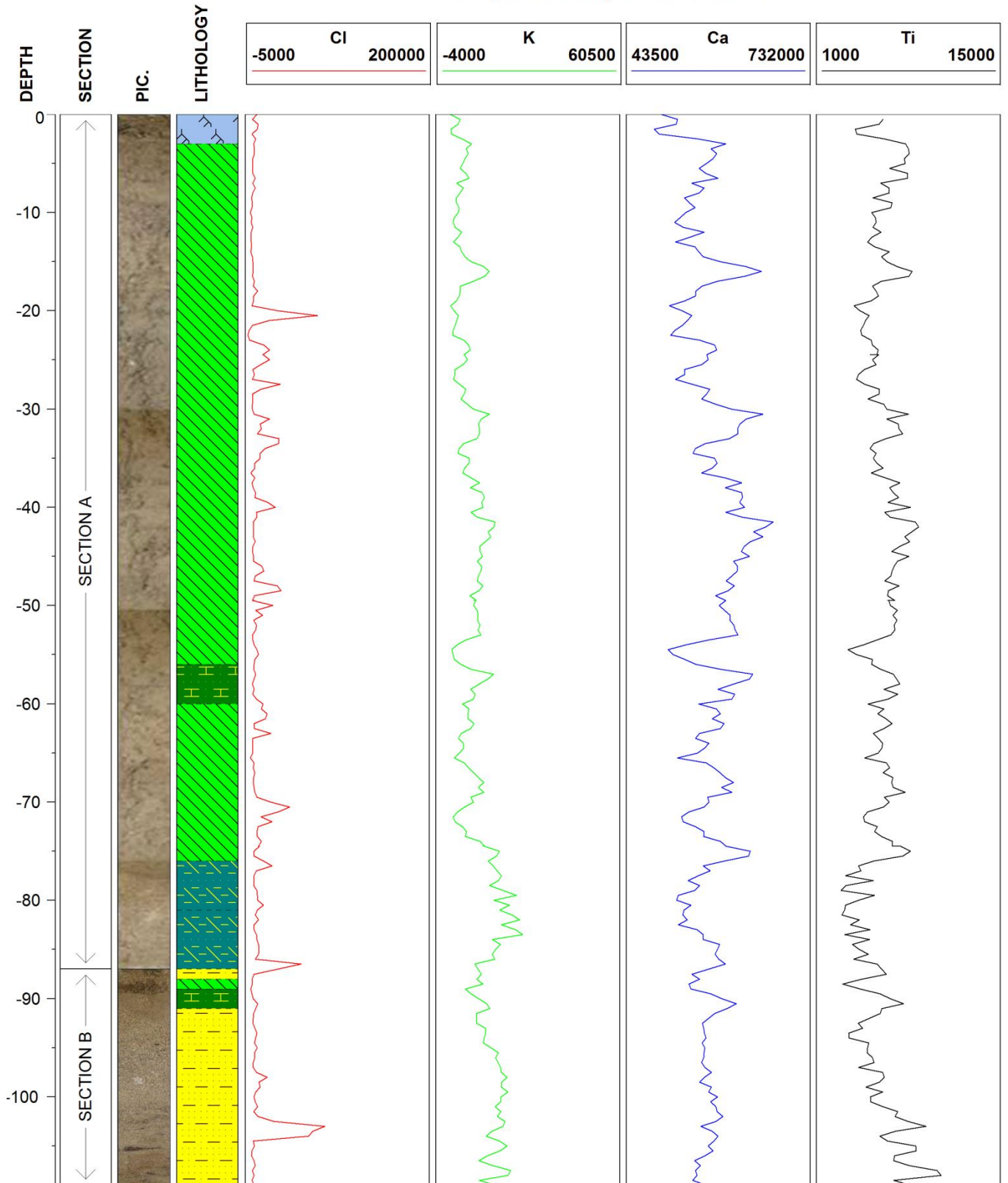
Analyses Chimiques Core-Scanner





Carotte C10a

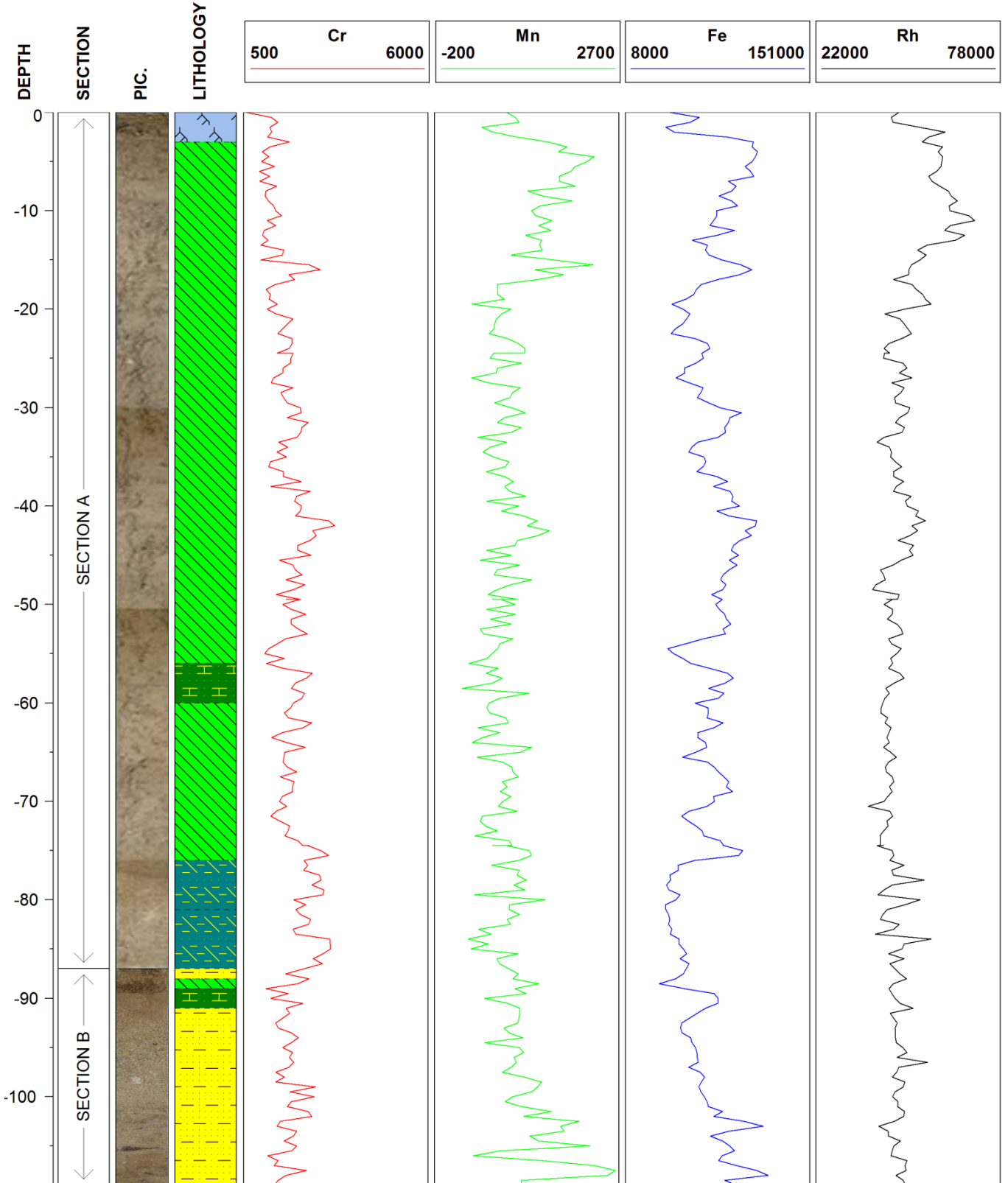
Analyses Chimiques Core-Scanner





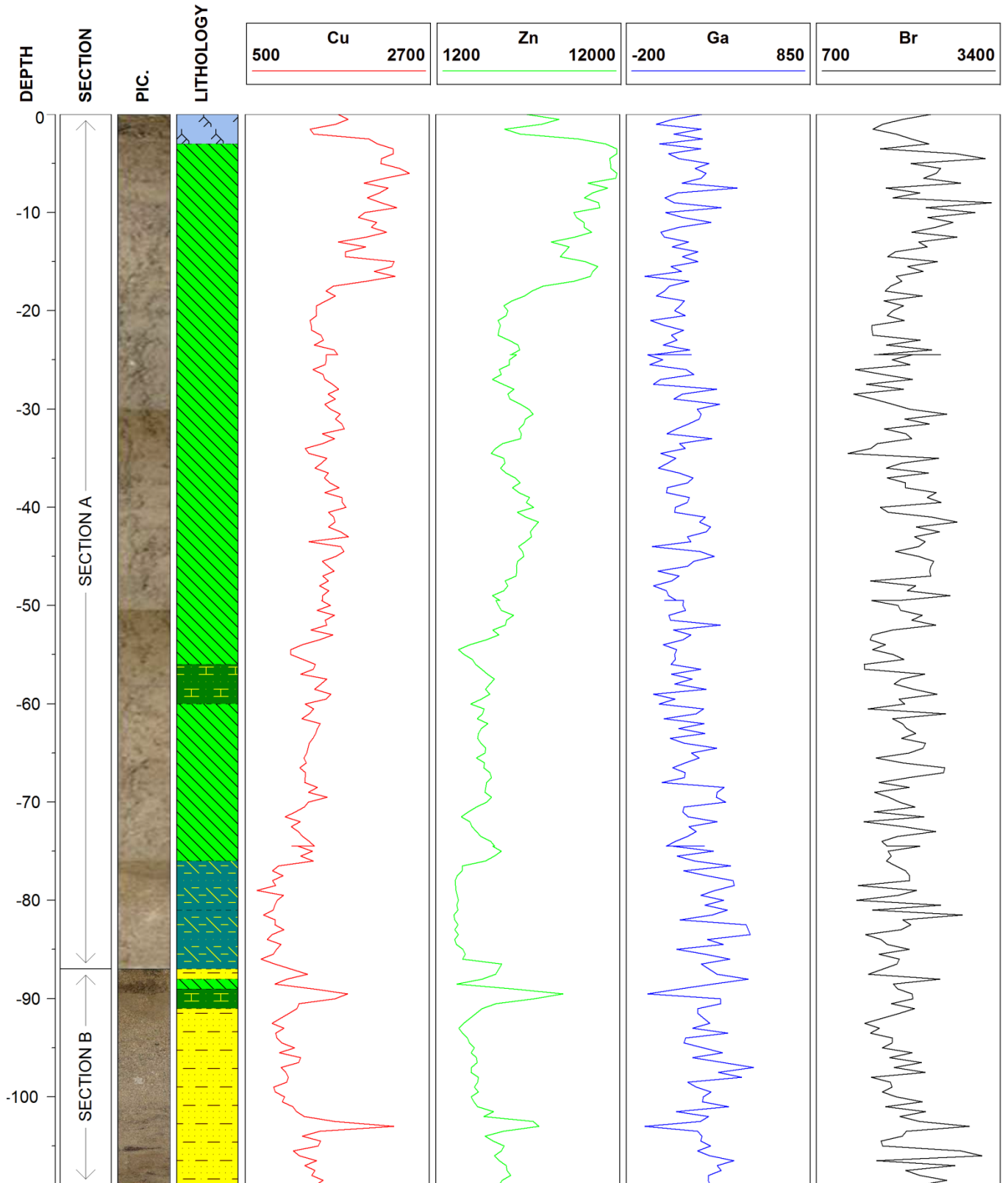
Carotte C10a

Analyses Chimiques Core-Scanner



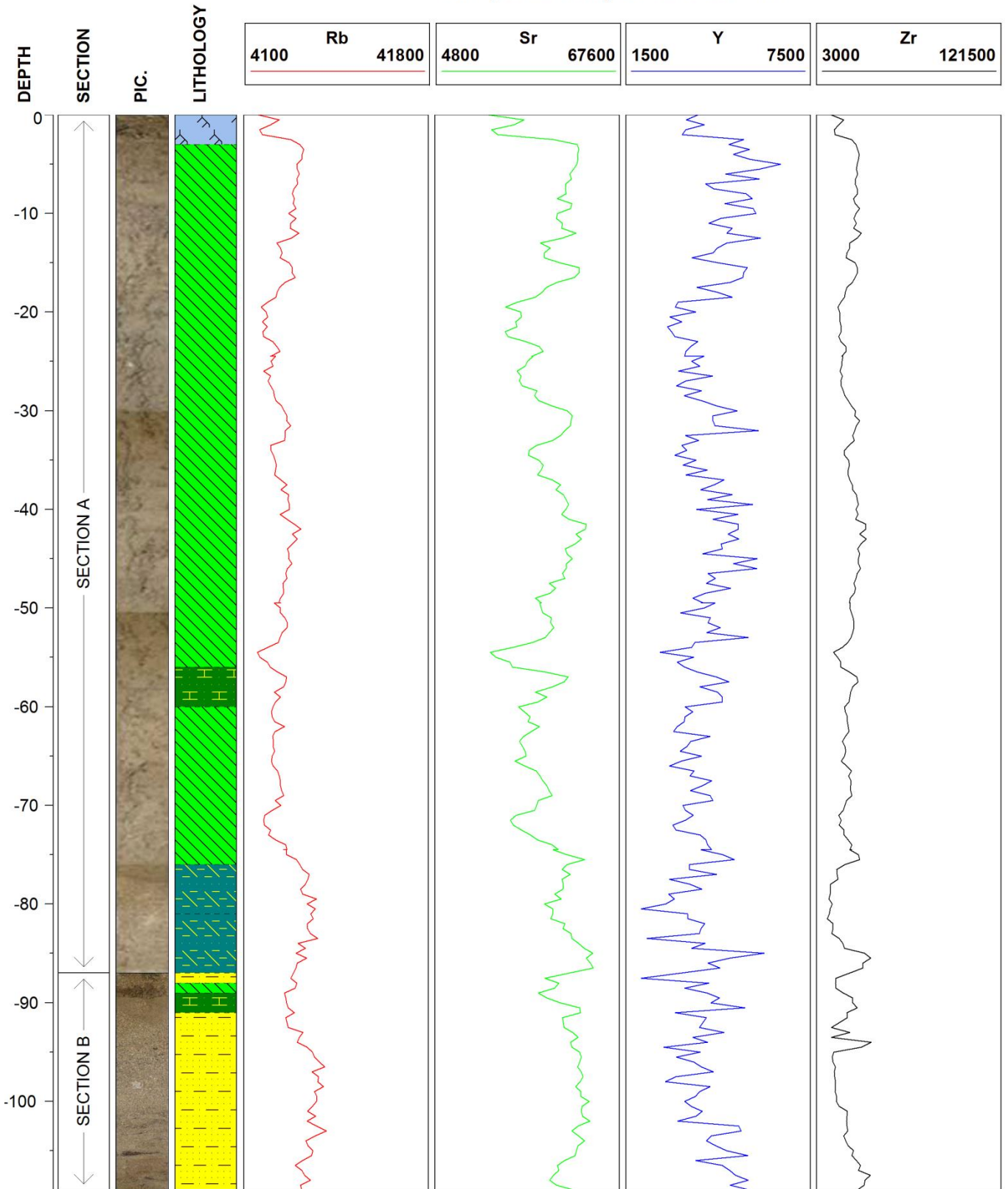
Carotte C10a

Analyses Chimiques Core-Scanner



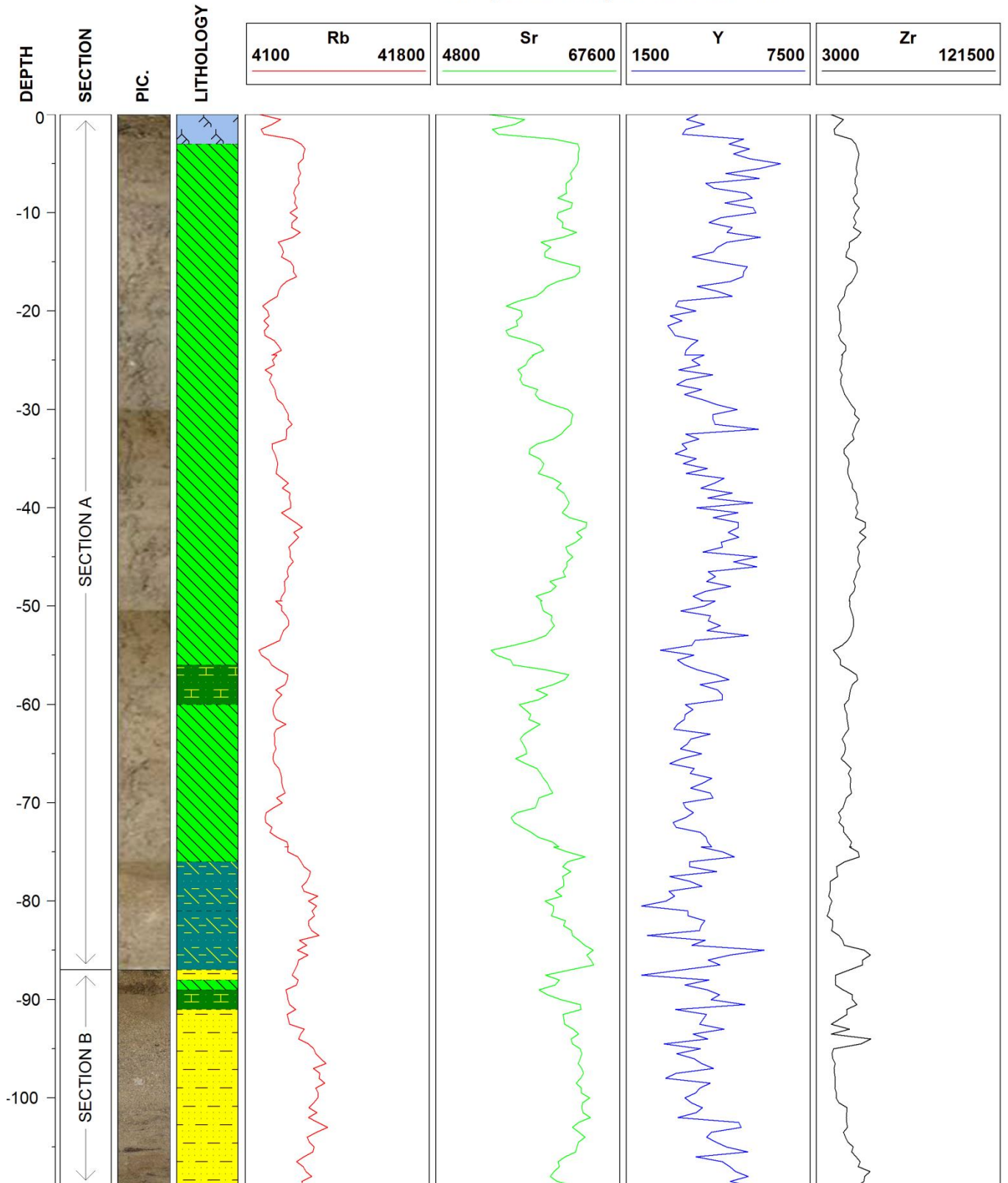
Carotte C10a

Analyses Chimiques Core-Scanner



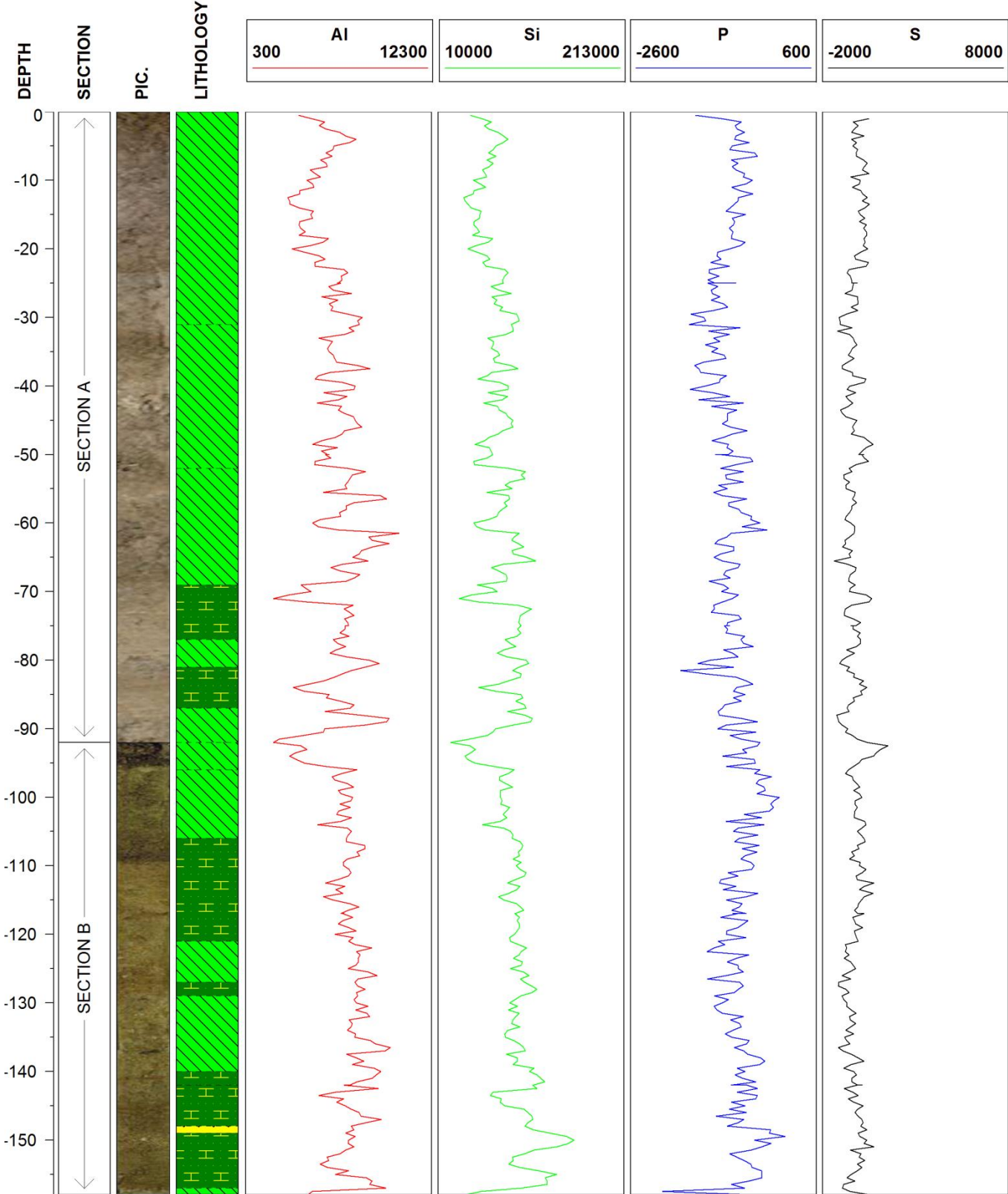
Carotte C10a

Analyses Chimiques Core-Scanner



Carotte C10b

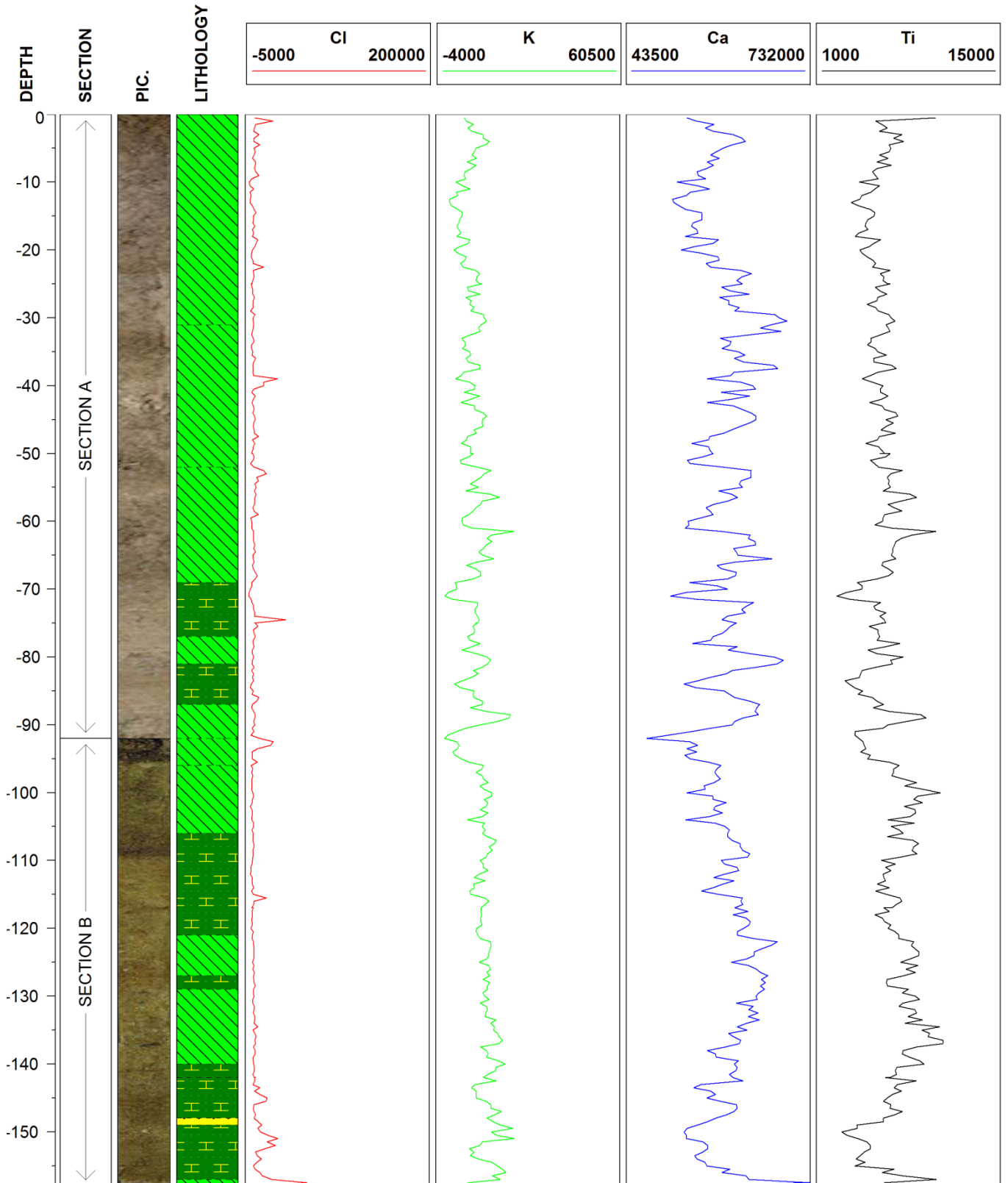
Analyses Chimiques Core-Scanner





Carotte C10b

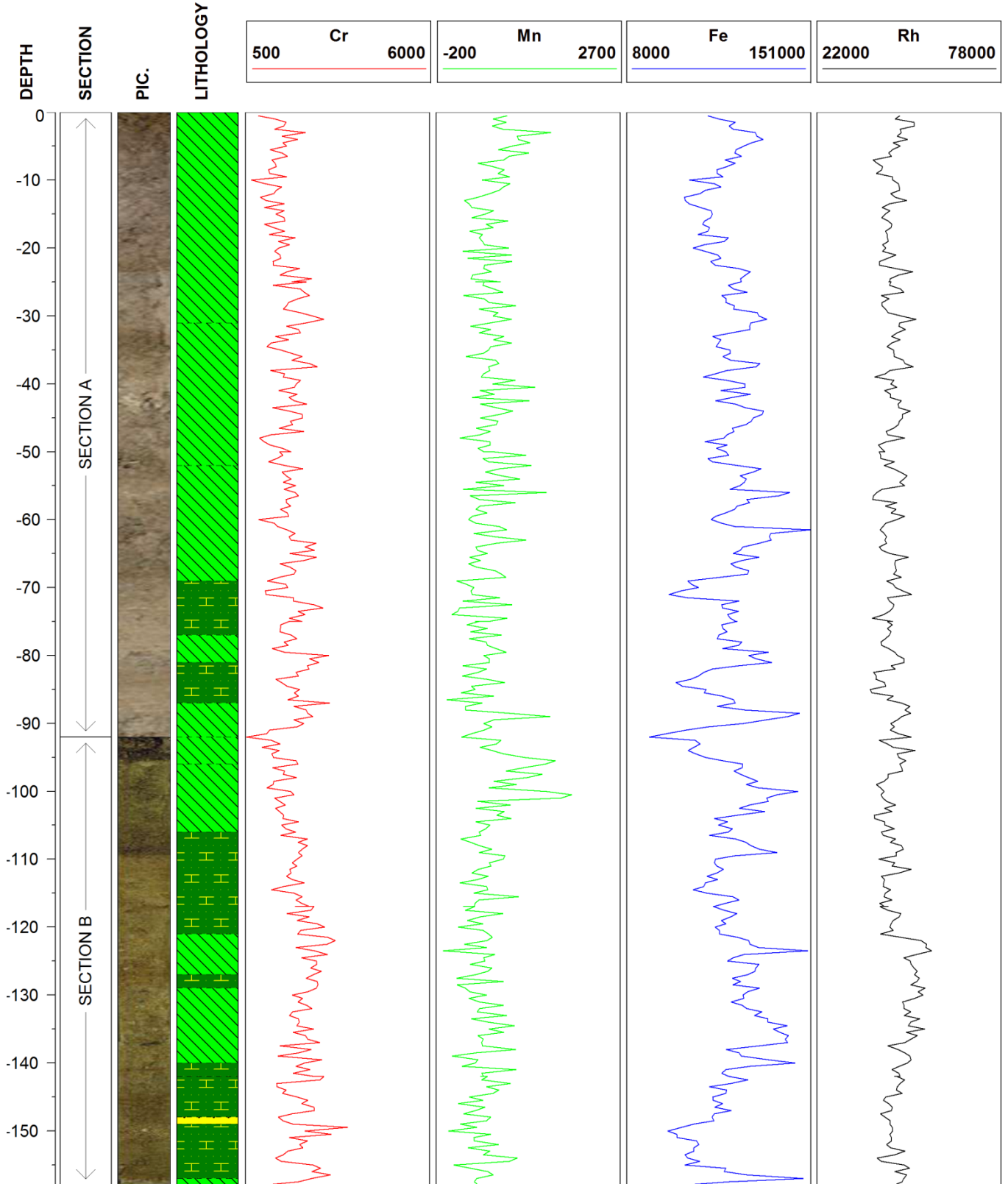
Analyses Chimiques Core-Scanner





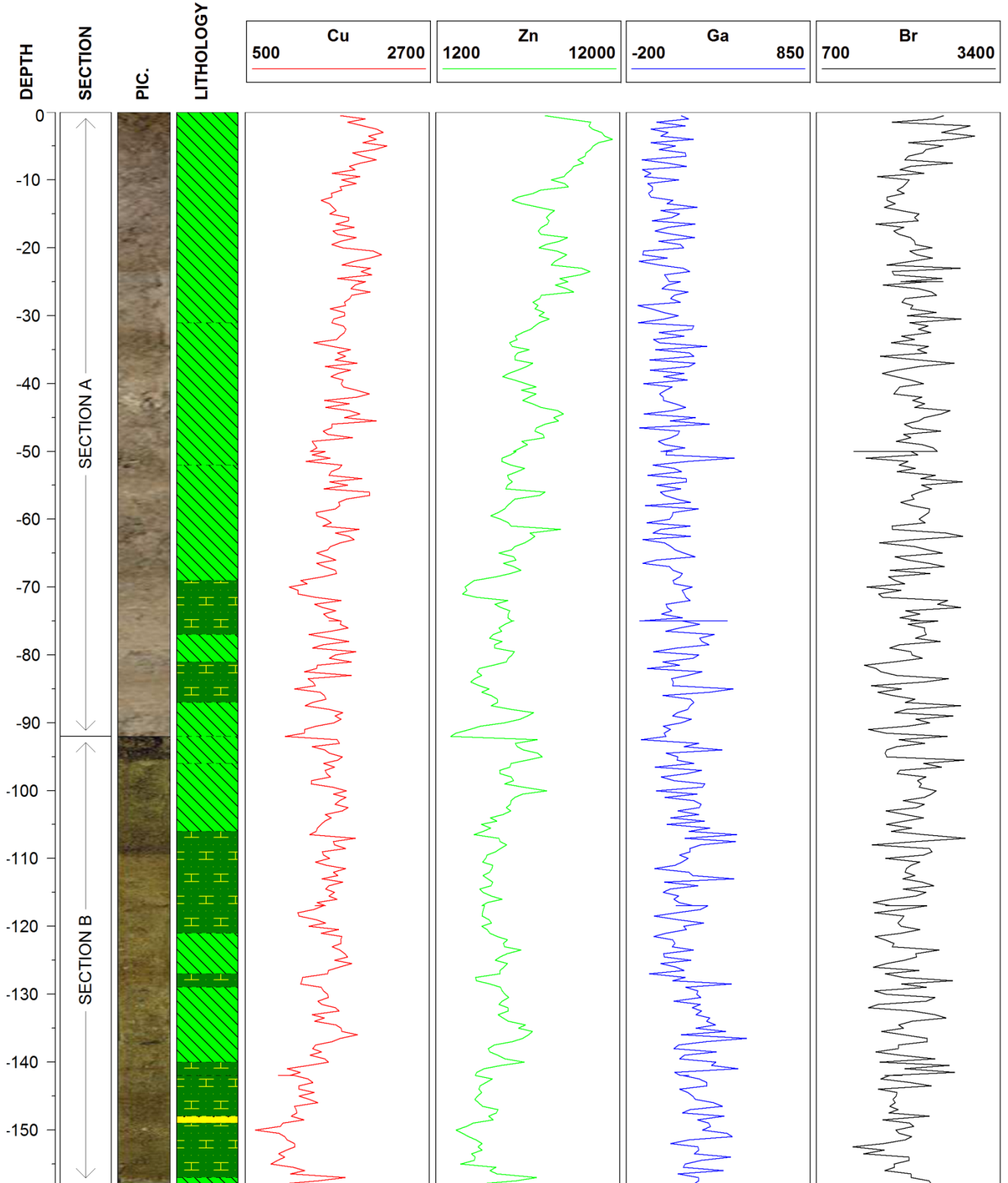
Carotte C10b

Analyses Chimiques Core-Scanner



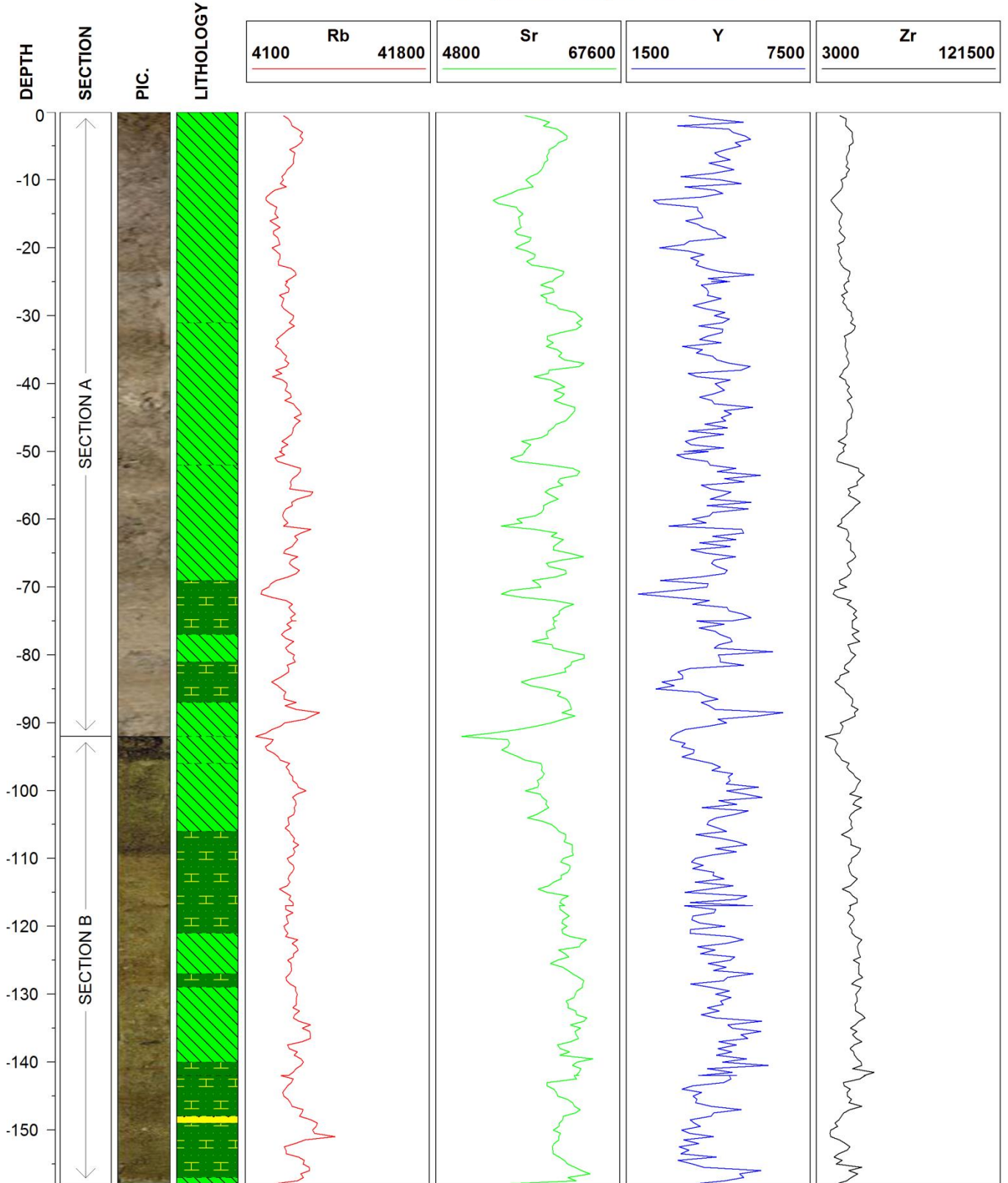
Carotte C10b

Analyses Chimiques Core-Scanner



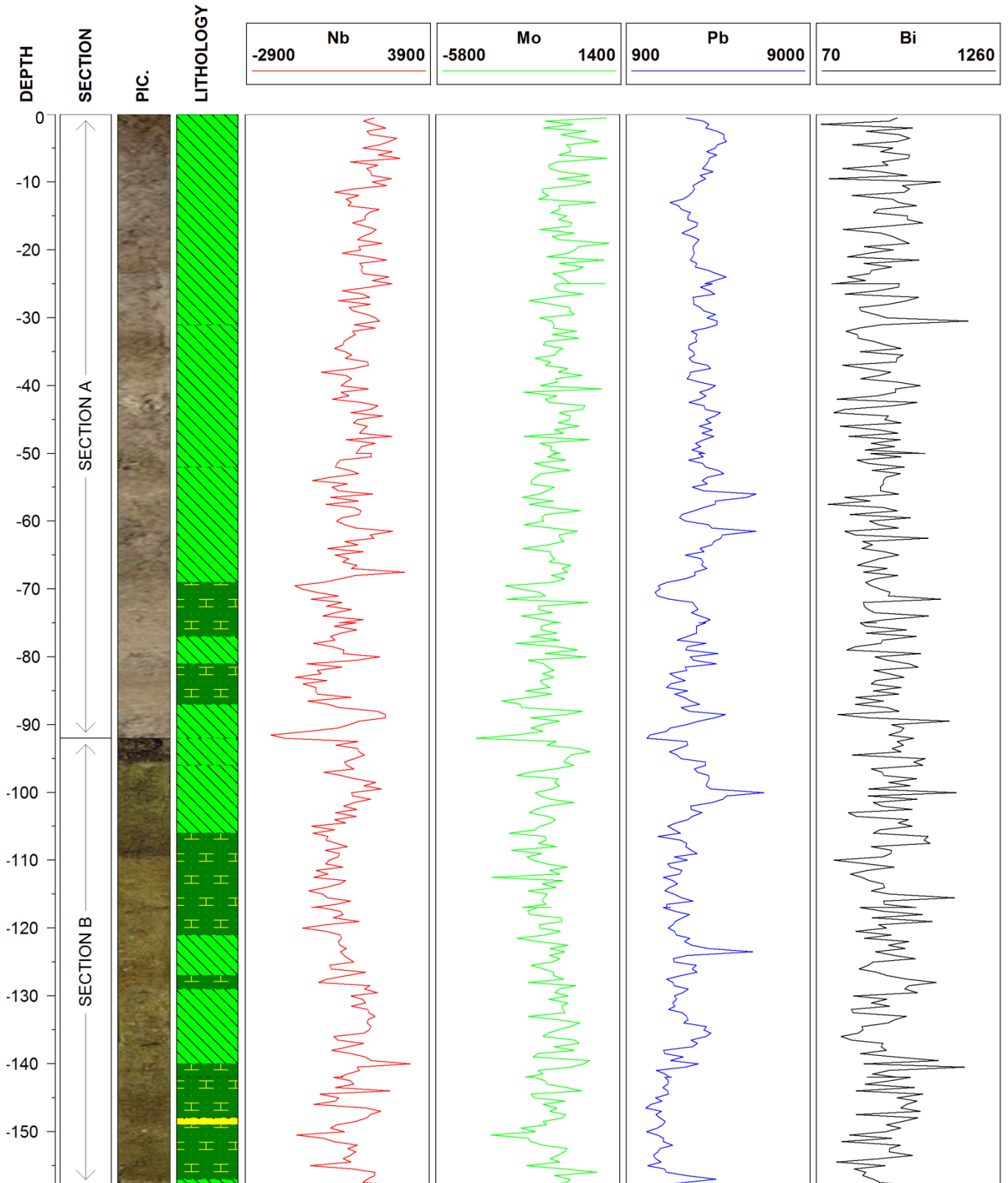
Carotte C10b

Analyses Chimiques Core-Scanner



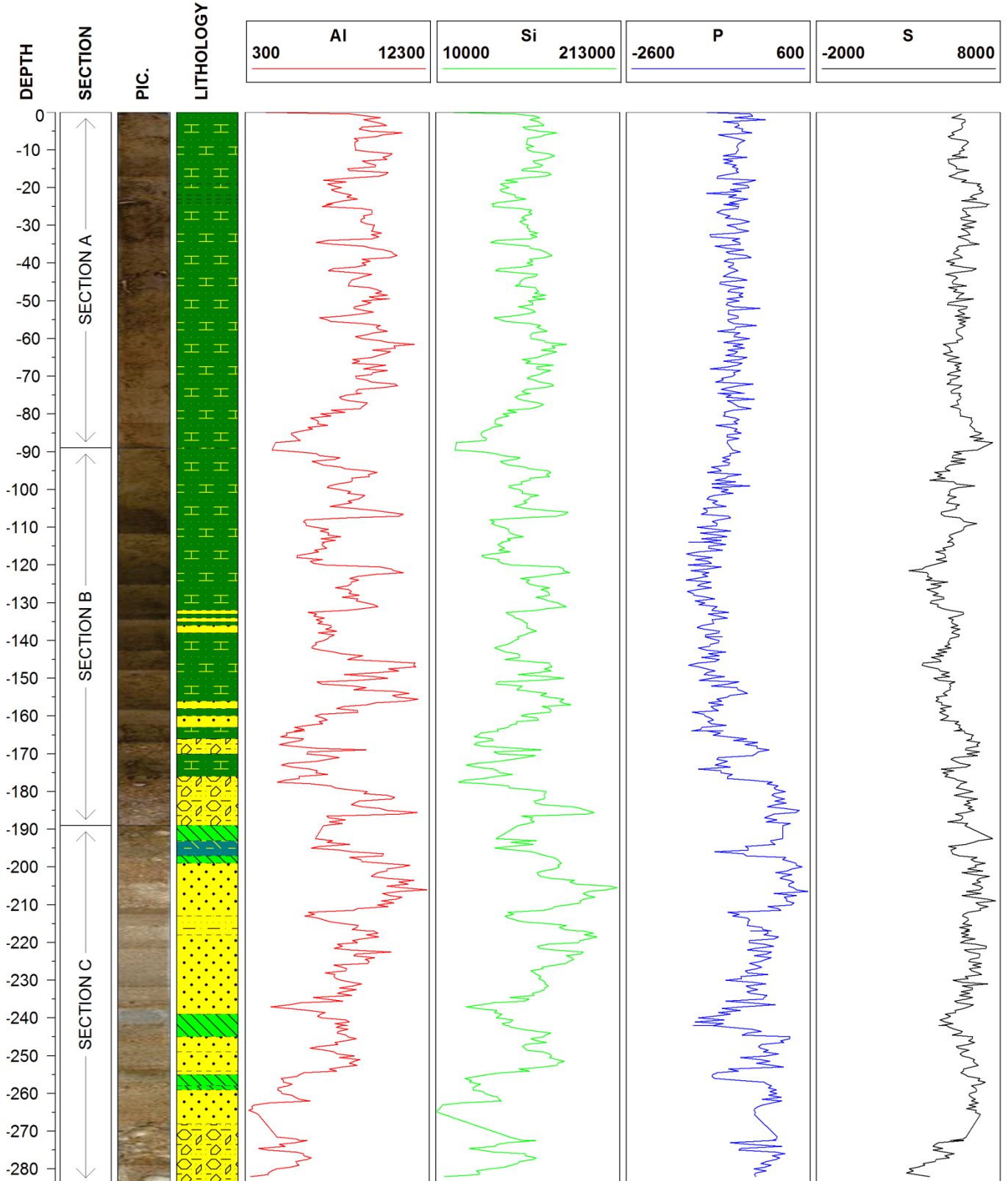
Carotte C10b

Analyses Chimiques Core-Scanner



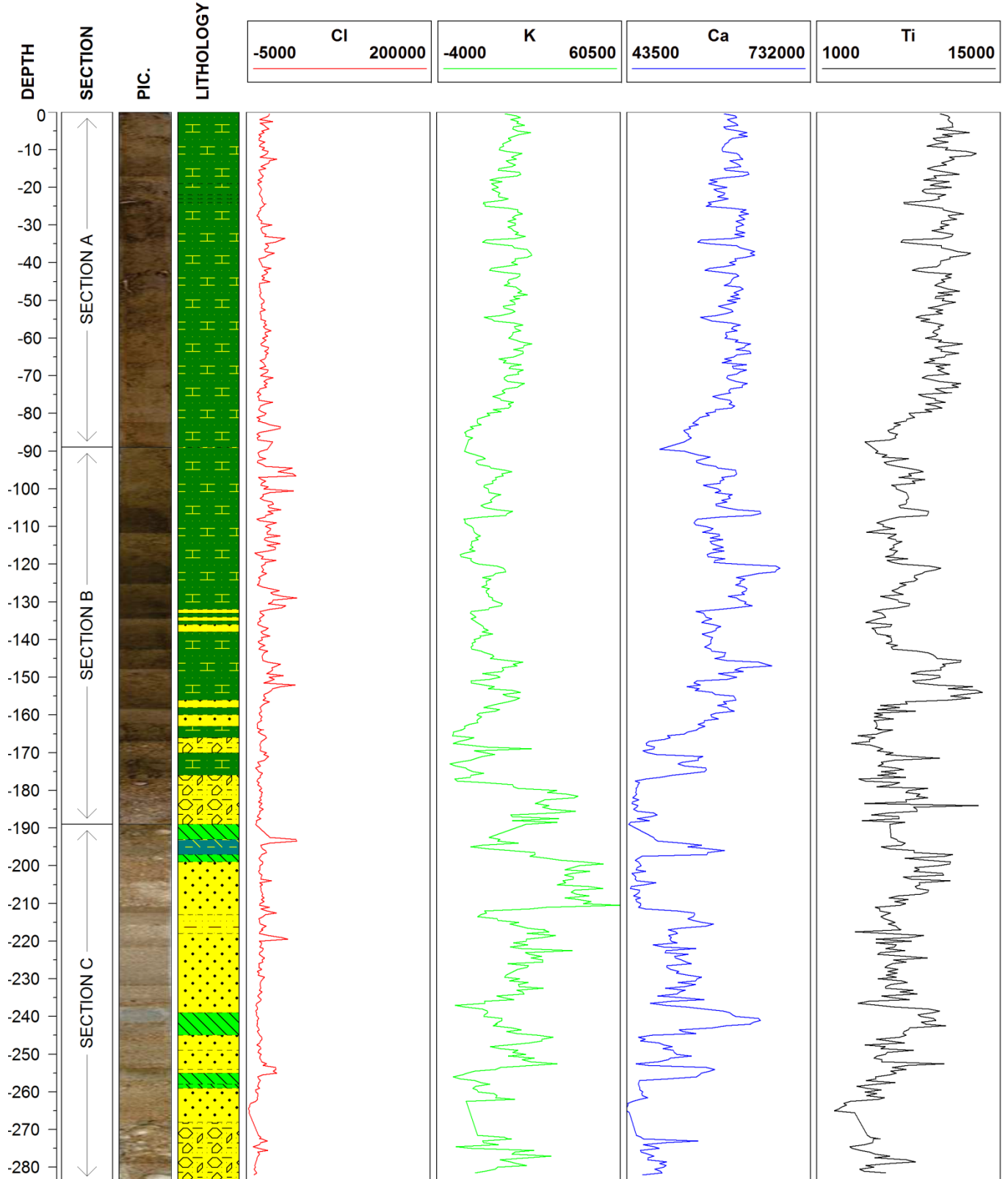
Carotte C10c

Analyses Chimiques Core-Scanner



Carotte C10c

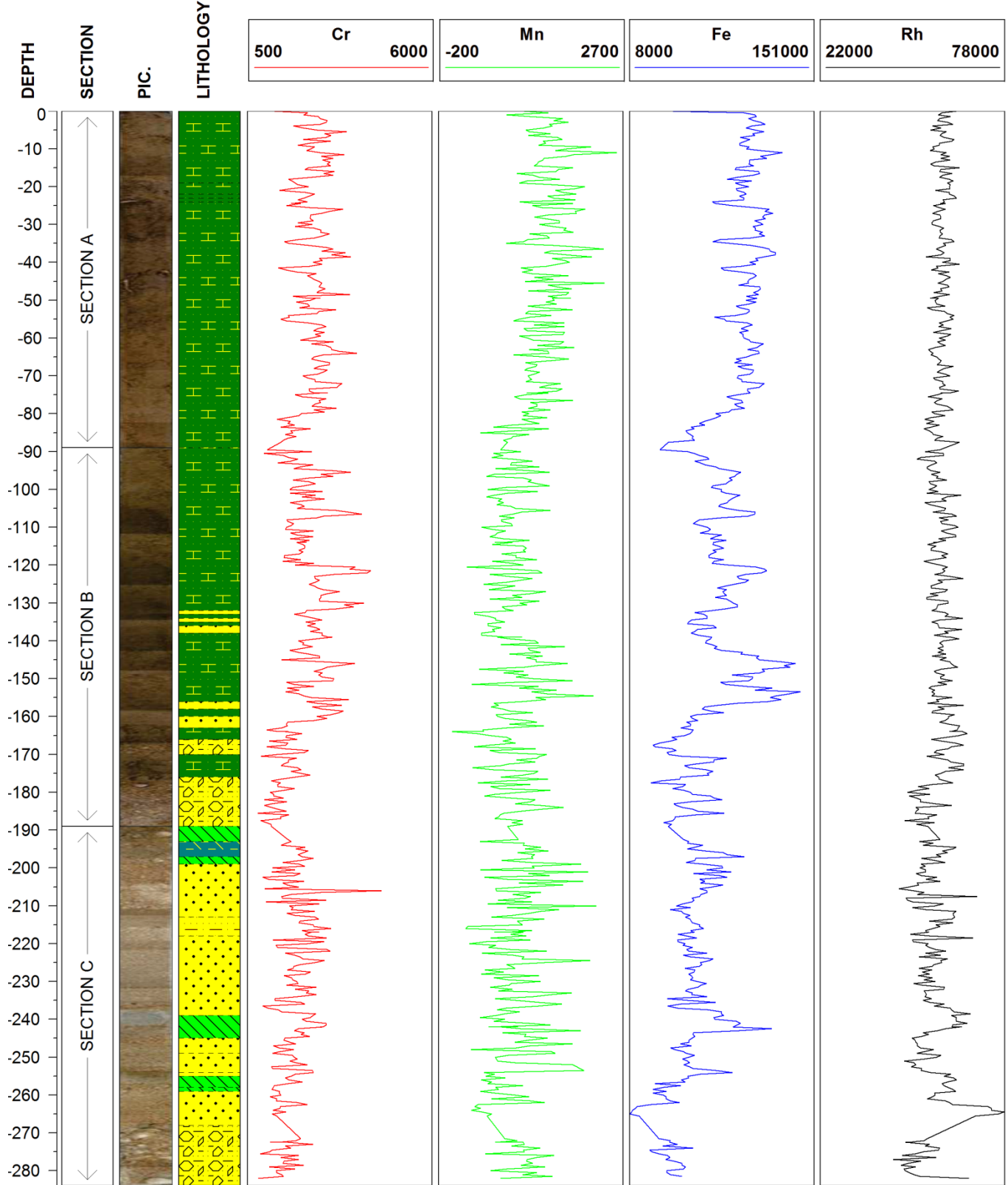
Analyses Chimiques Core-Scanner





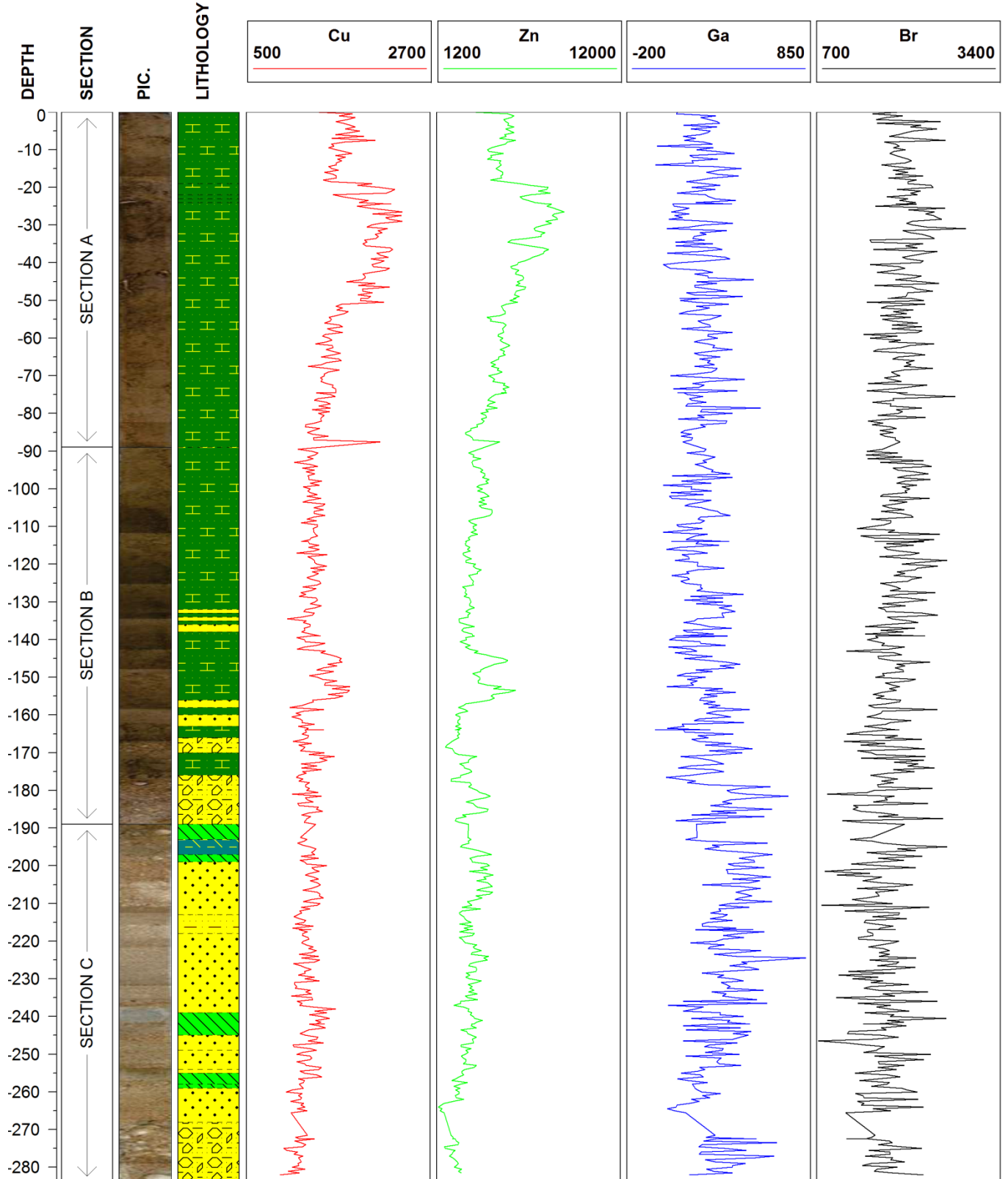
Carotte C10c

Analyses Chimiques Core-Scanner



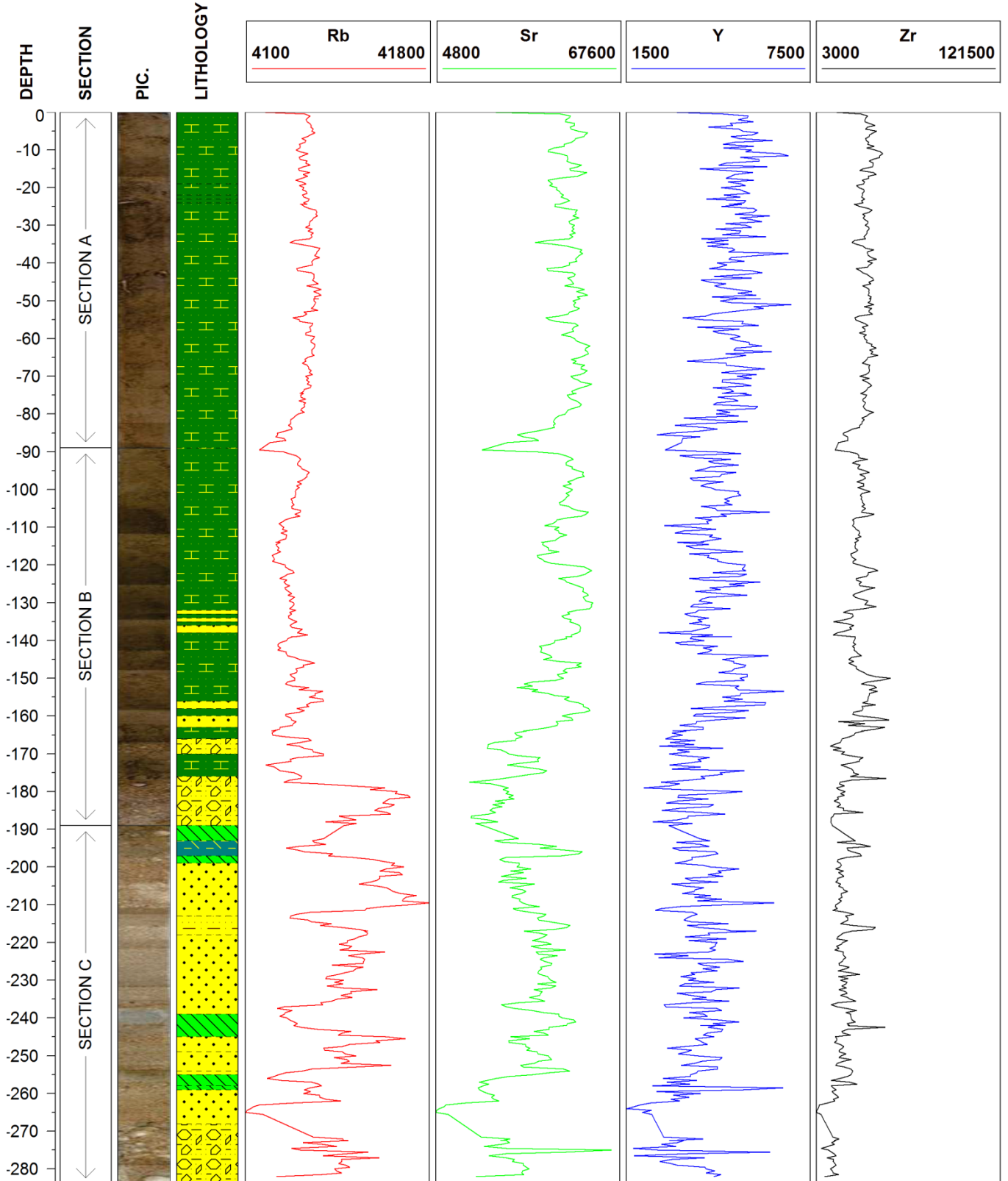
Carotte C10c

Analyses Chimiques Core-Scanner



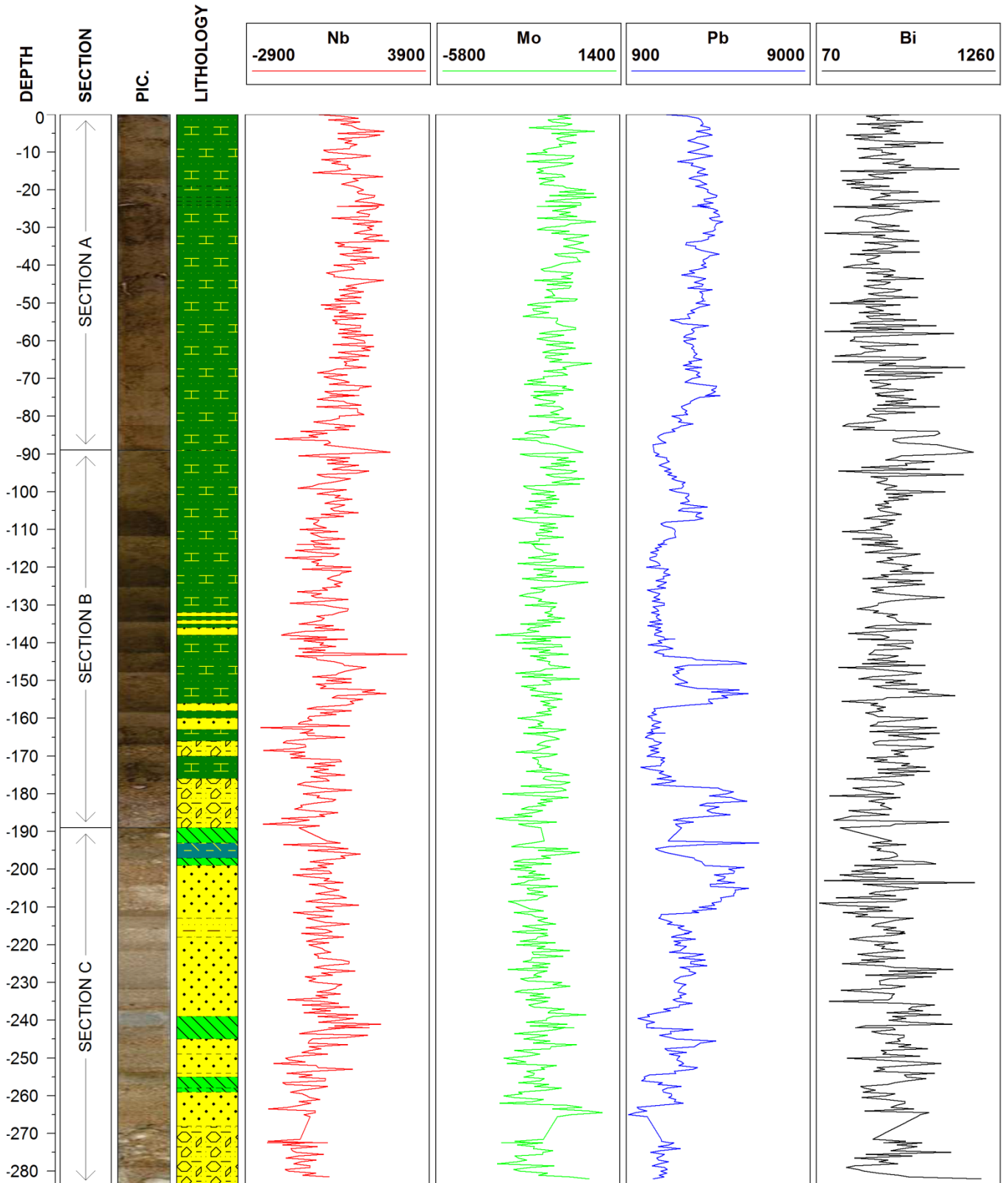
Carotte C10c

Analyses Chimiques Core-Scanner



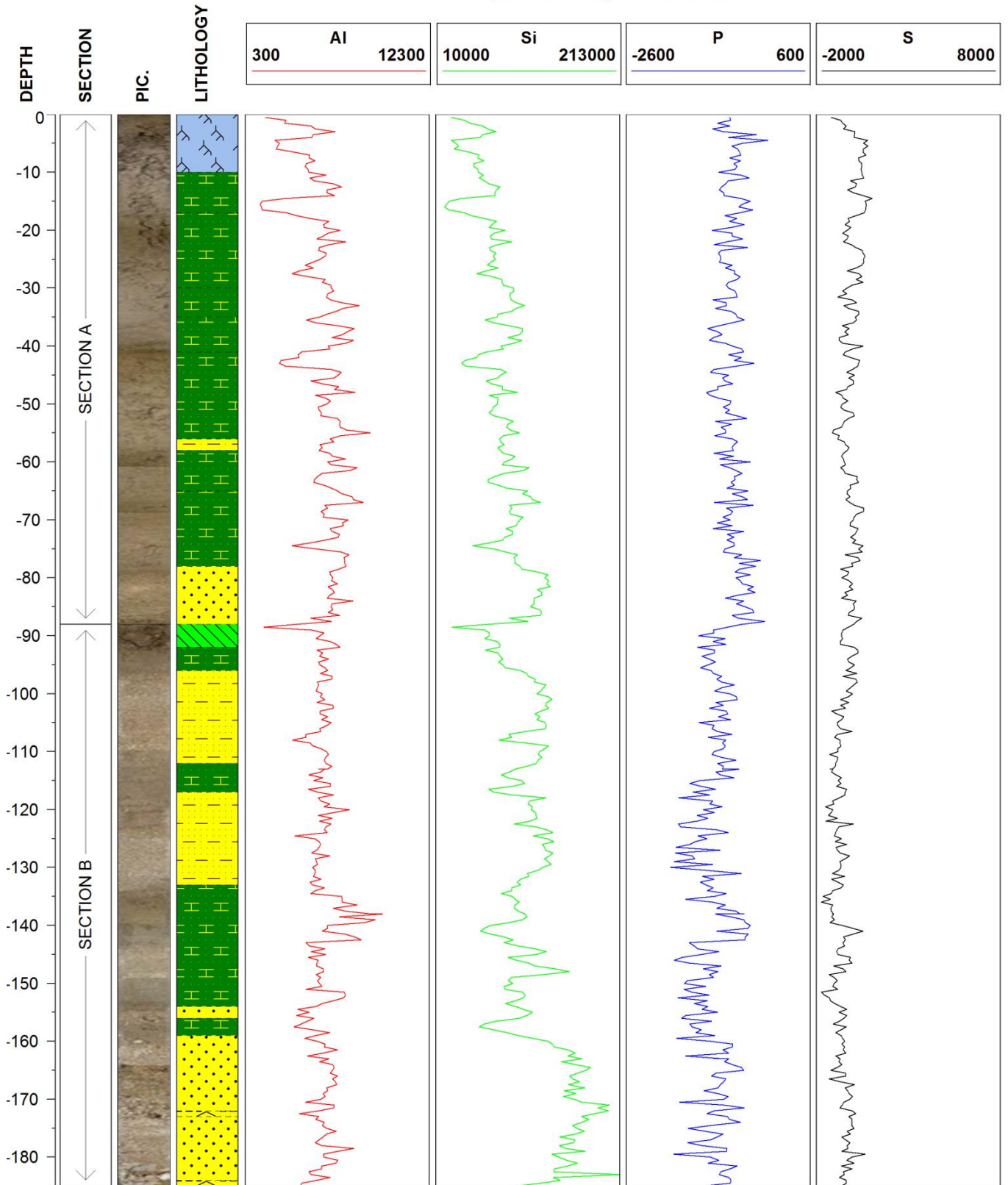
Carotte C10c

Analyses Chimiques Core-Scanner



Carotte C12a

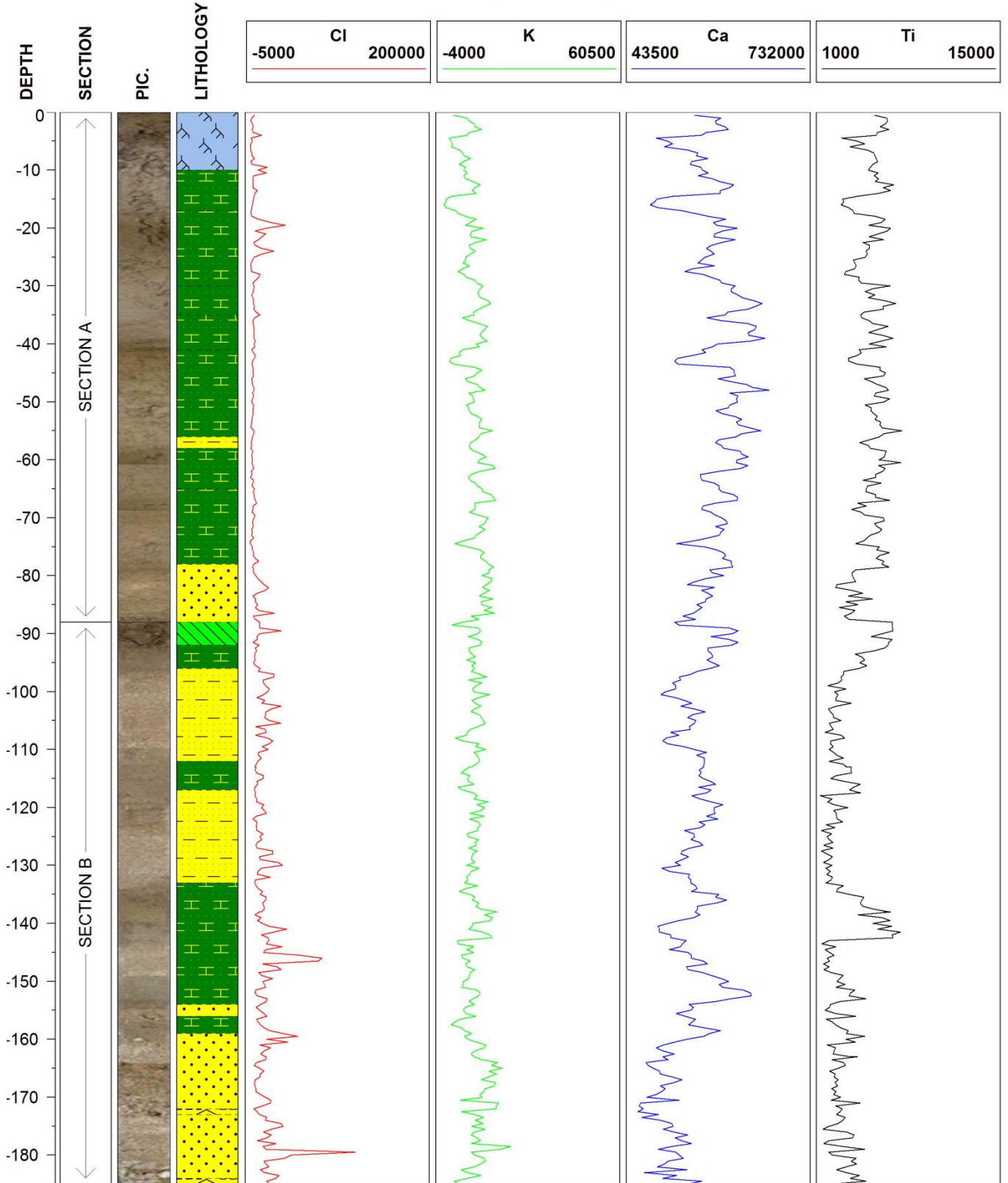
Analyses Chimiques Core-Scanner





Carotte C12a

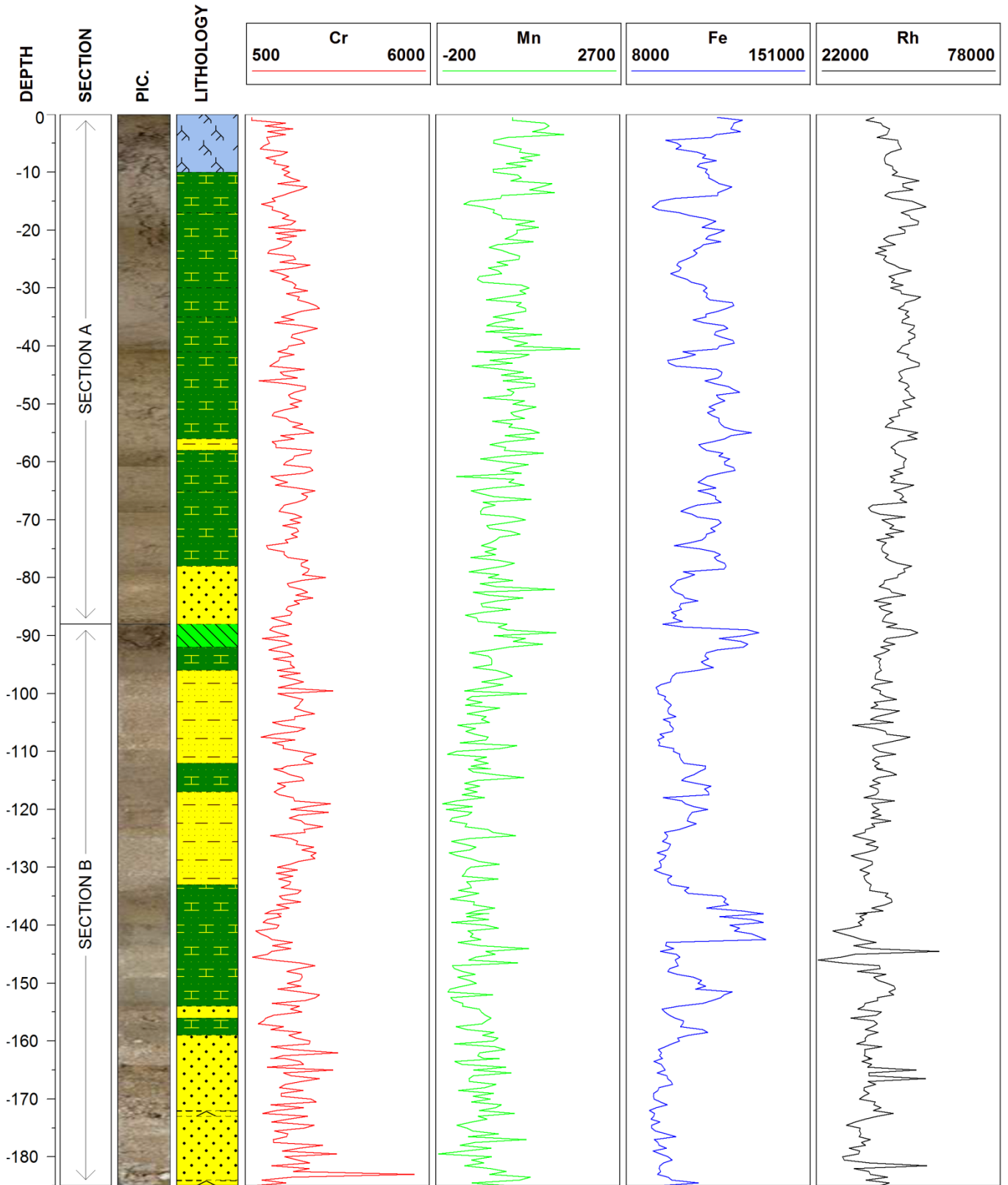
Analyses Chimiques Core-Scanner





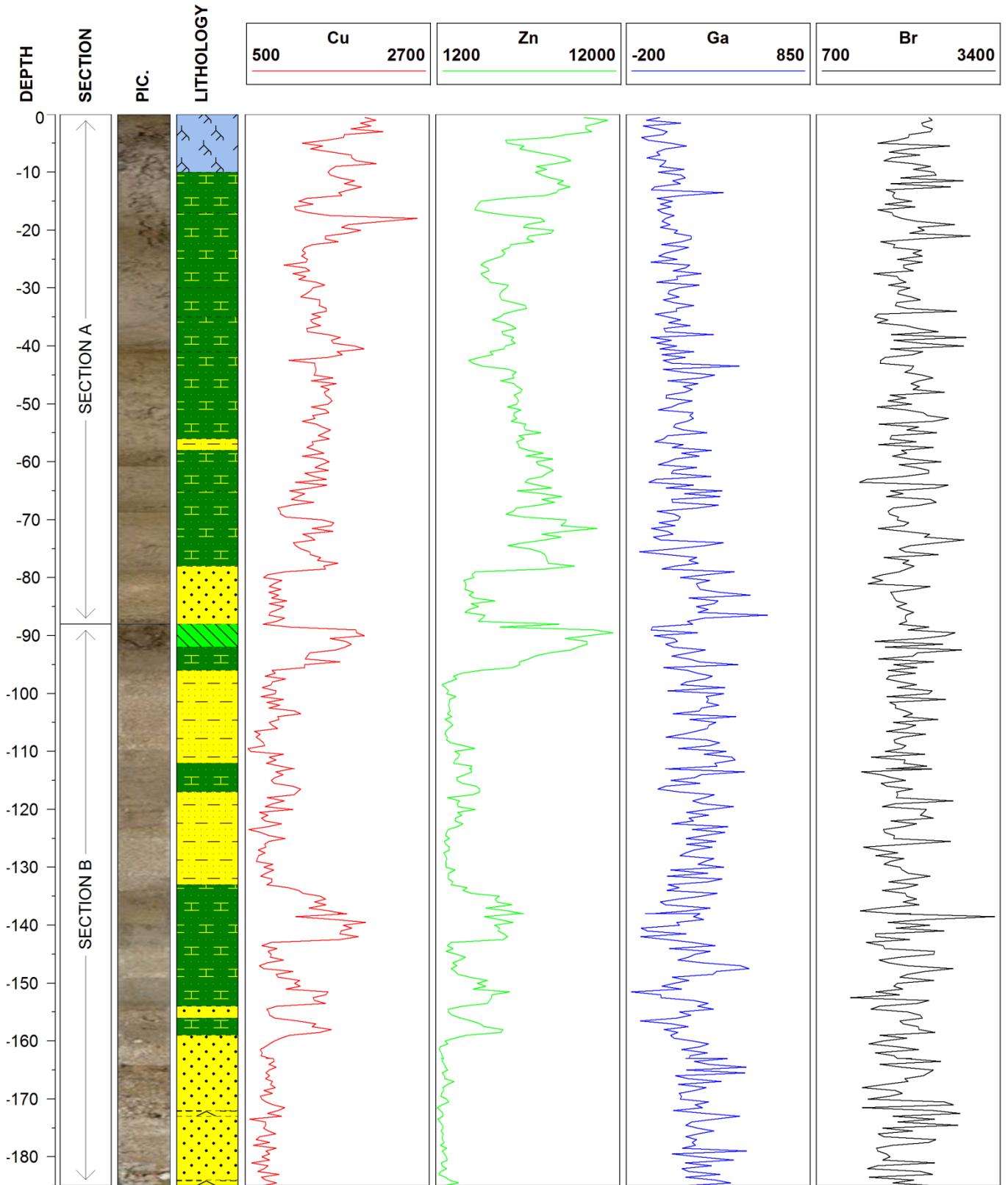
Carotte C12a

Analyses Chimiques Core-Scanner



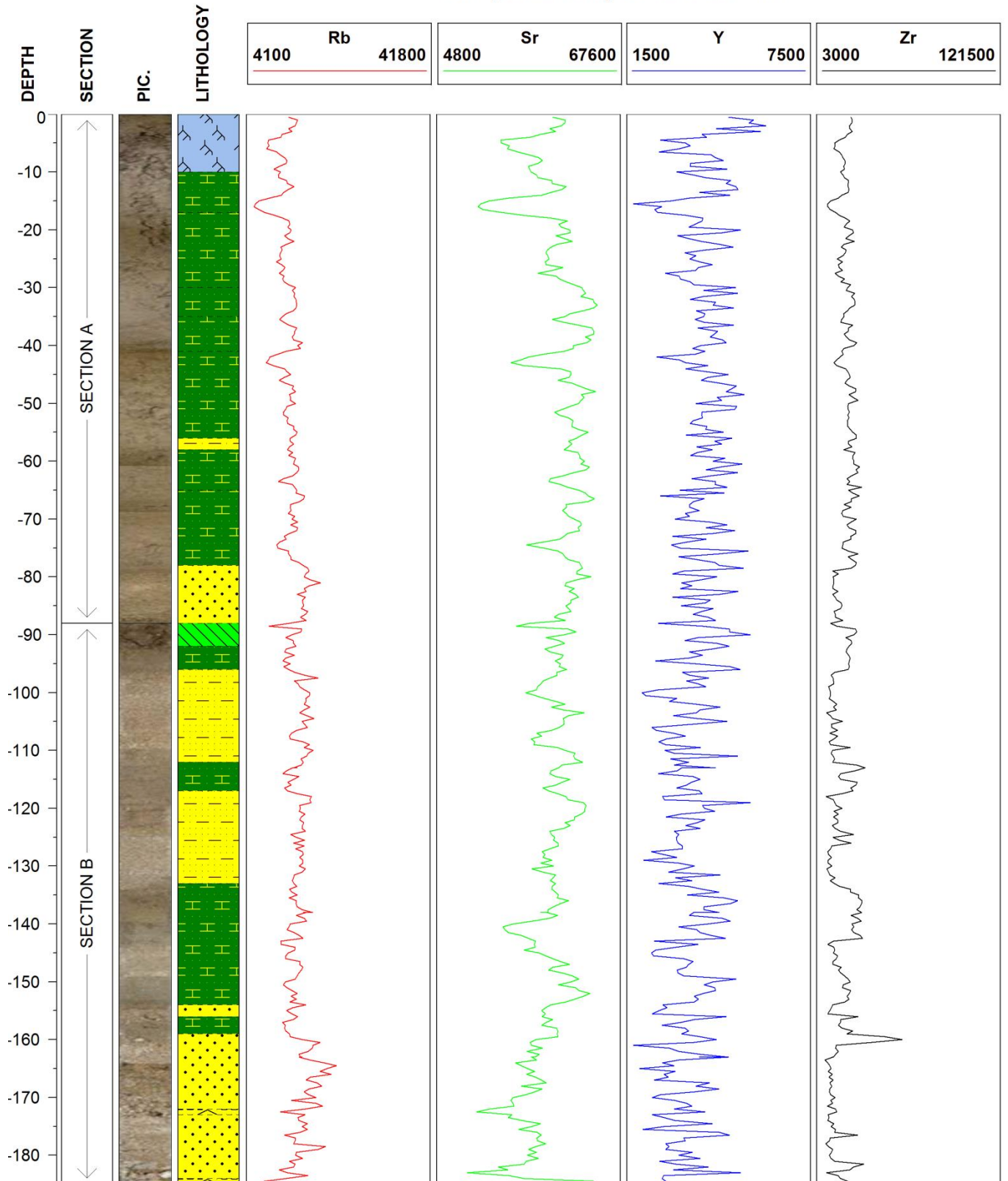
Carotte C12a

Analyses Chimiques Core-Scanner



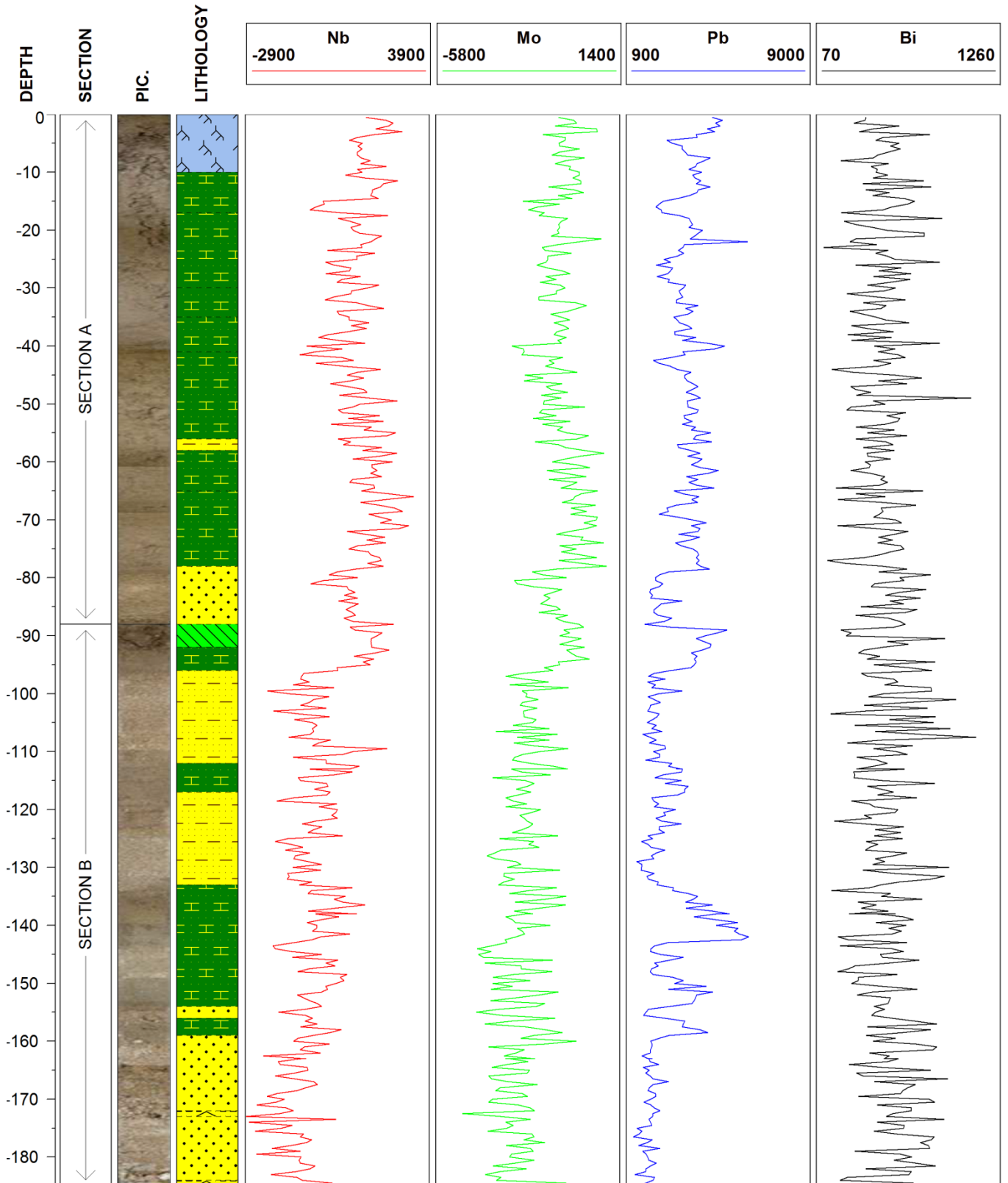
Carotte C12a

Analyses Chimiques Core-Scanner



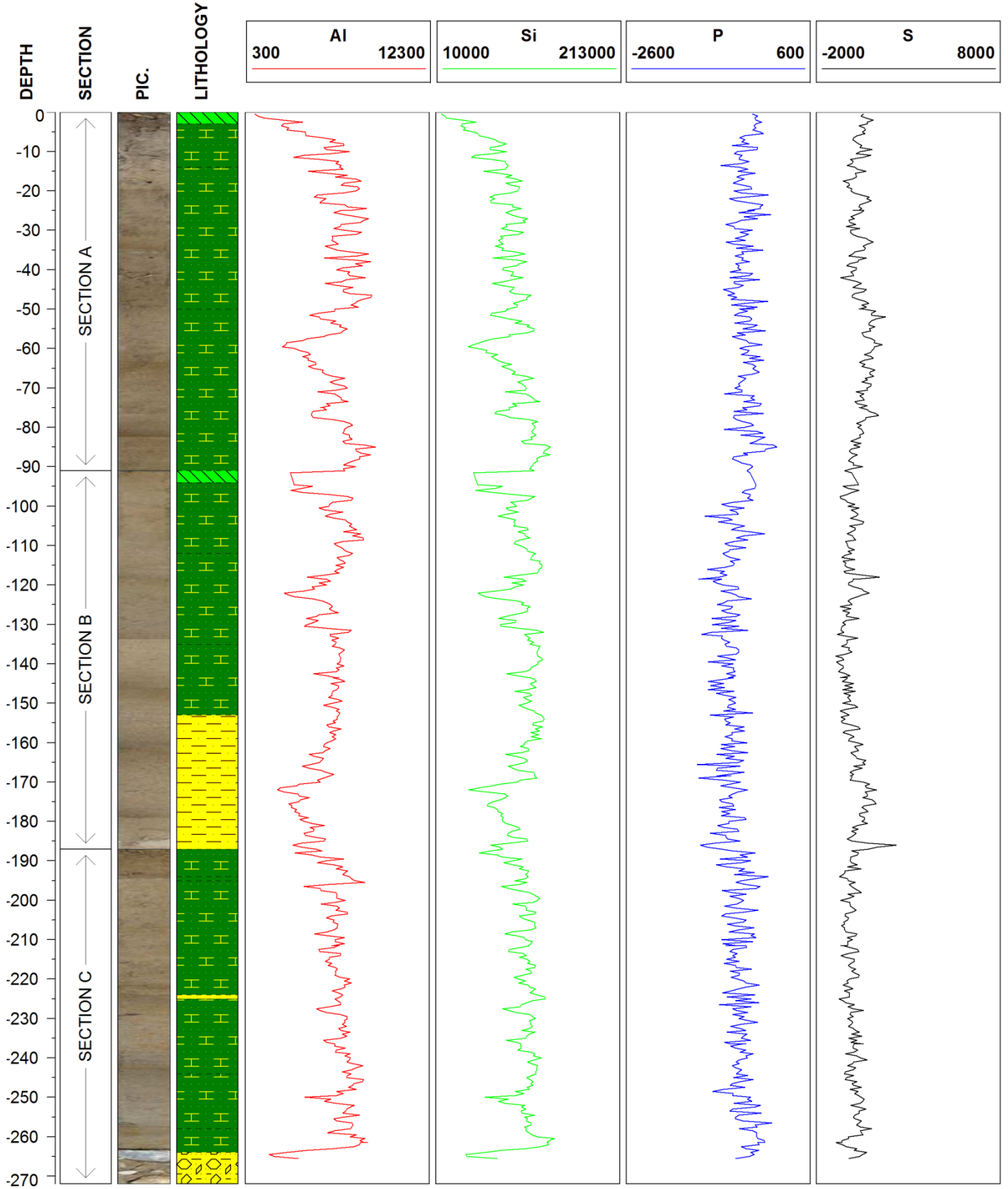
Carotte C12a

Analyses Chimiques Core-Scanner



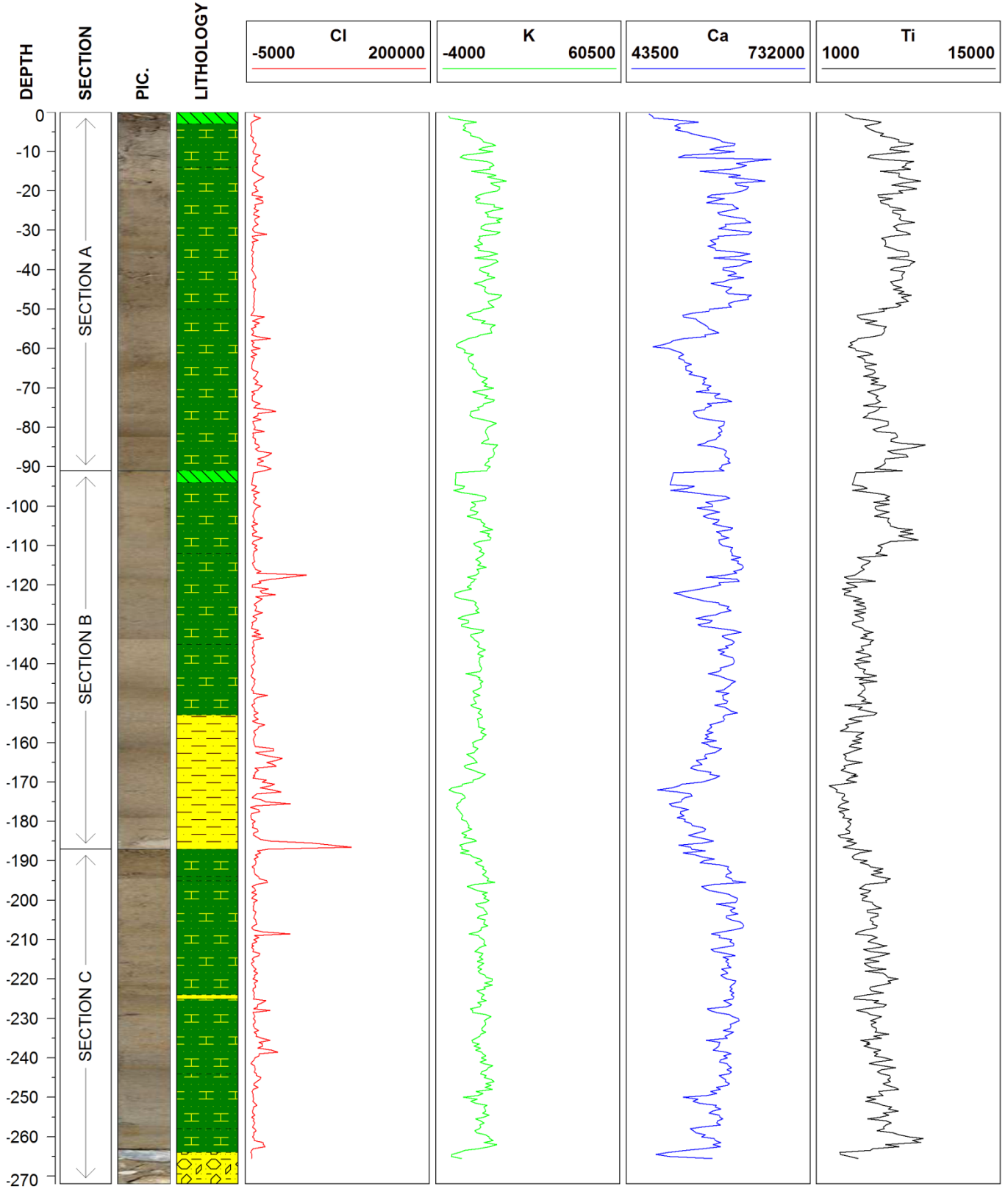
Carotte C12b

Analyses Chimiques Core-Scanner



Carotte C12b

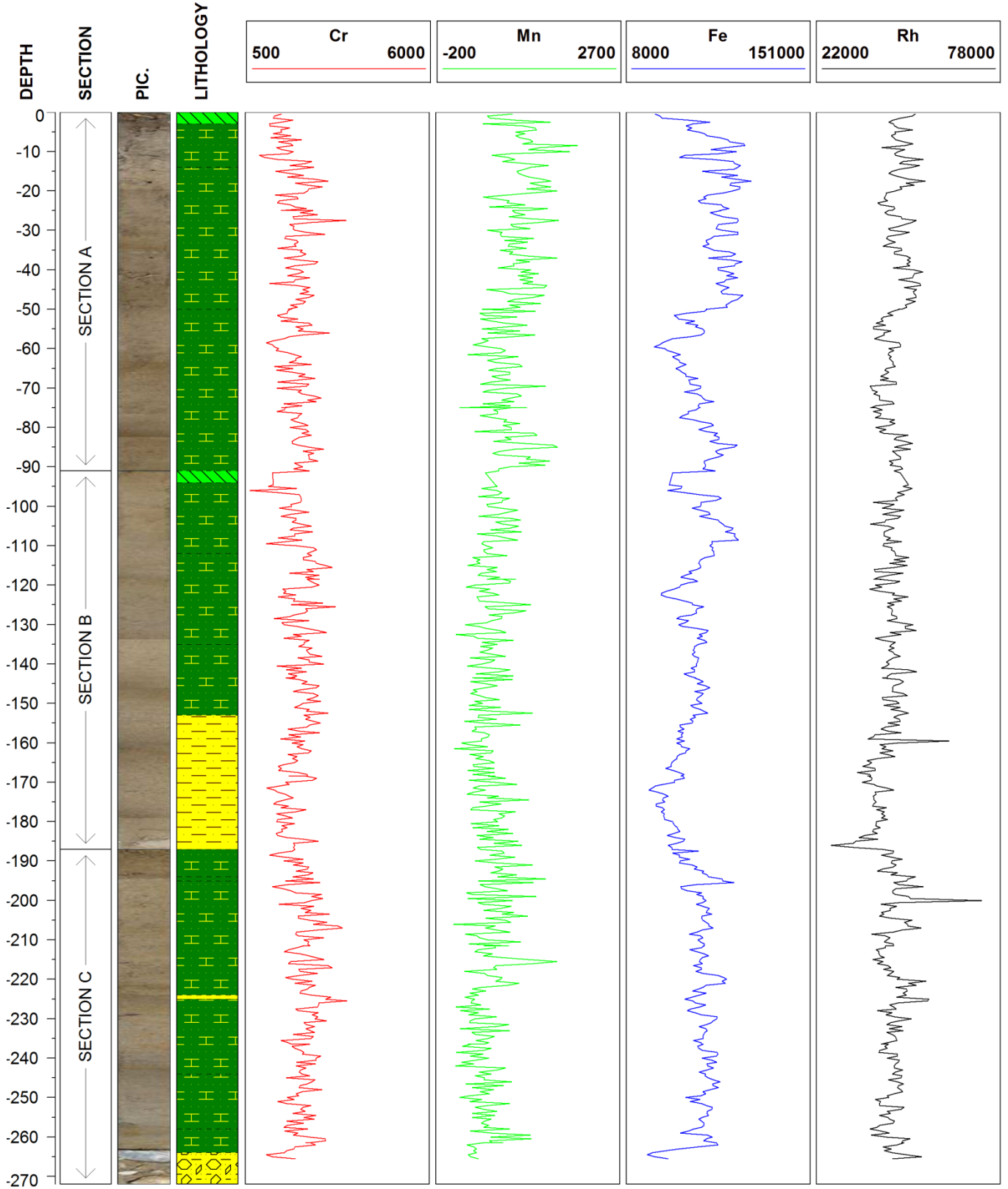
Analyses Chimiques Core-Scanner





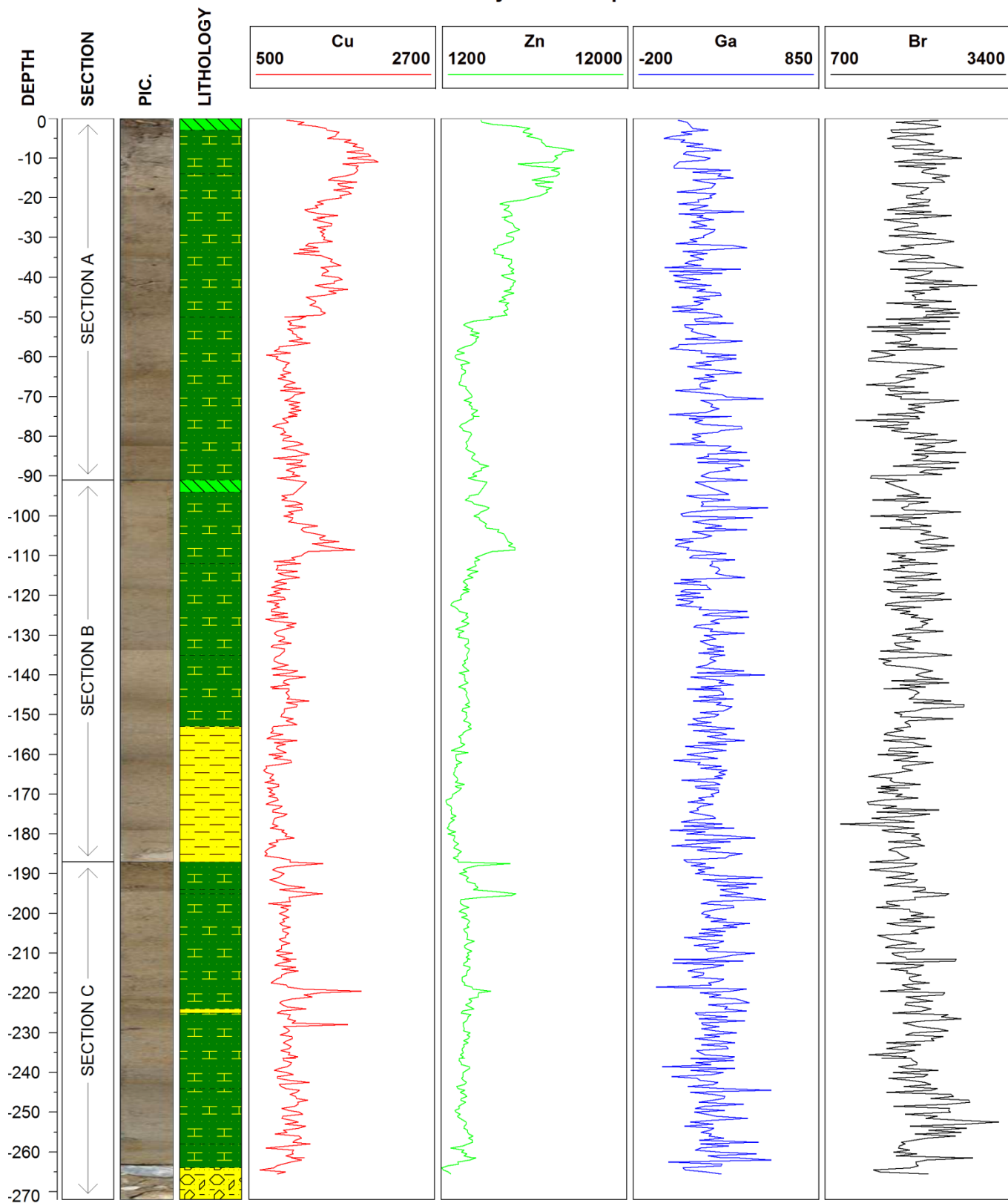
Carotte C12b

Analyses Chimiques Core-Scanner



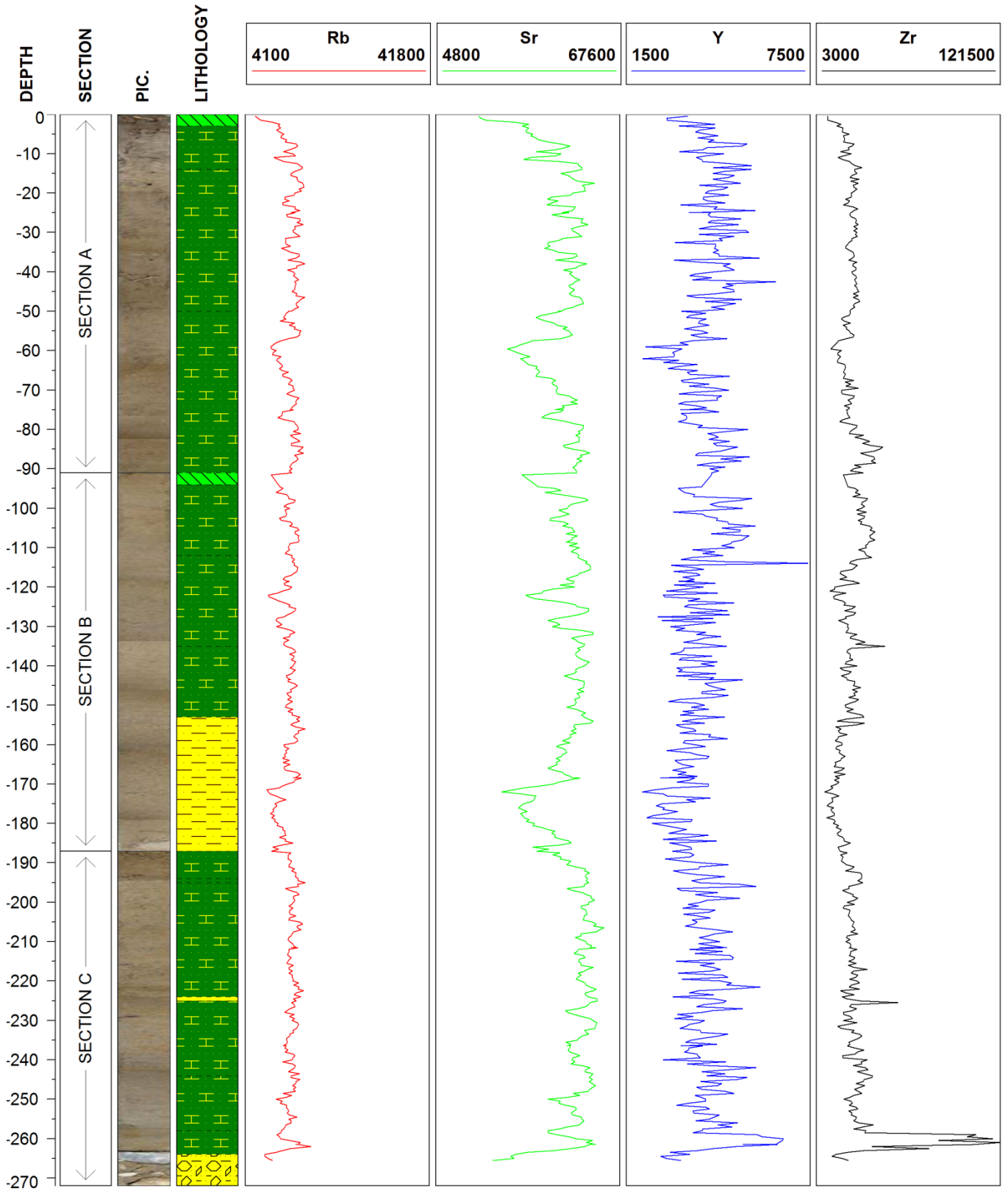
Carotte C12b

Analyses Chimiques Core-Scanner



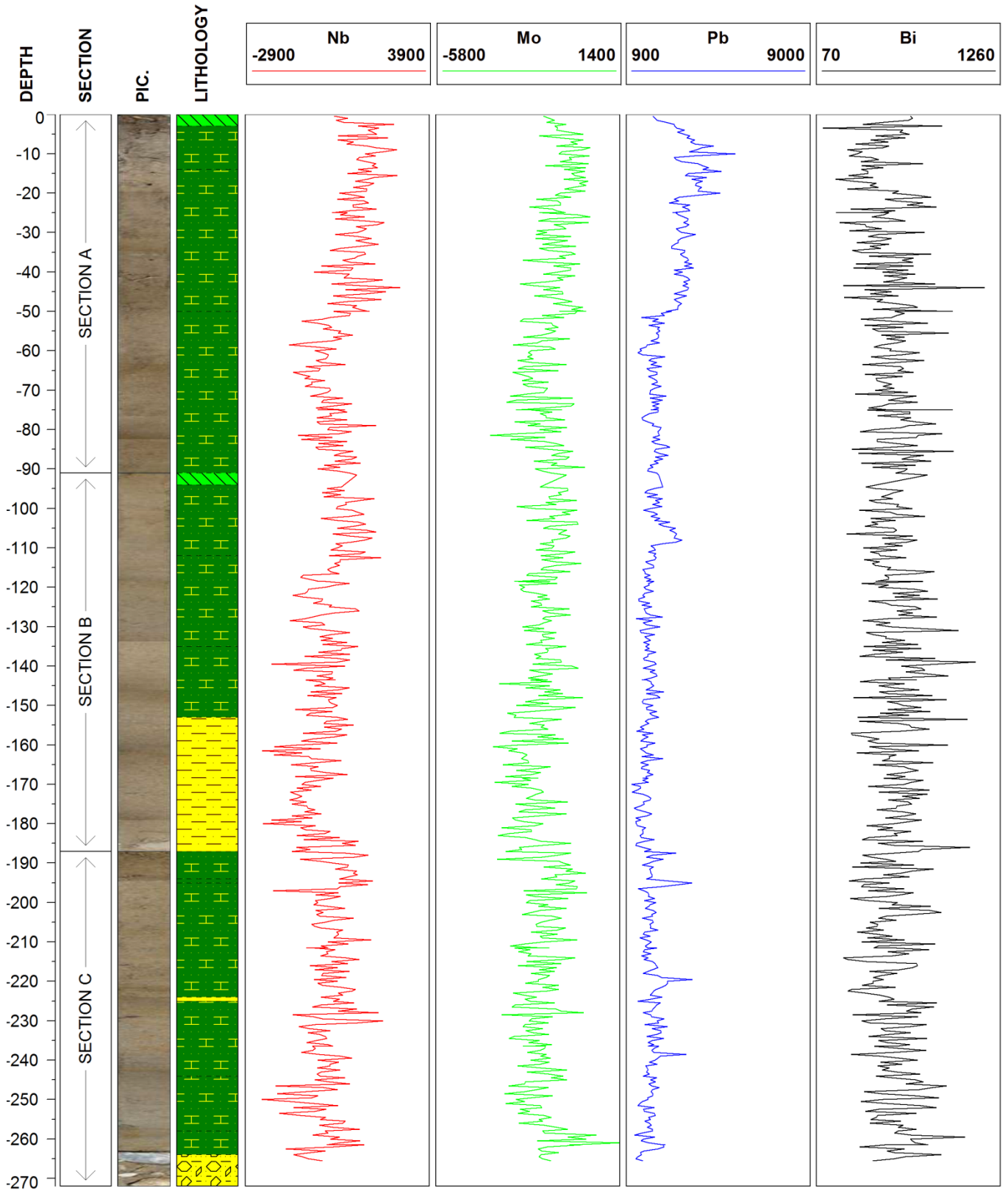
Carotte C12b

Analyses Chimiques Core-Scanner



Carotte C12b

Analyses Chimiques Core-Scanner

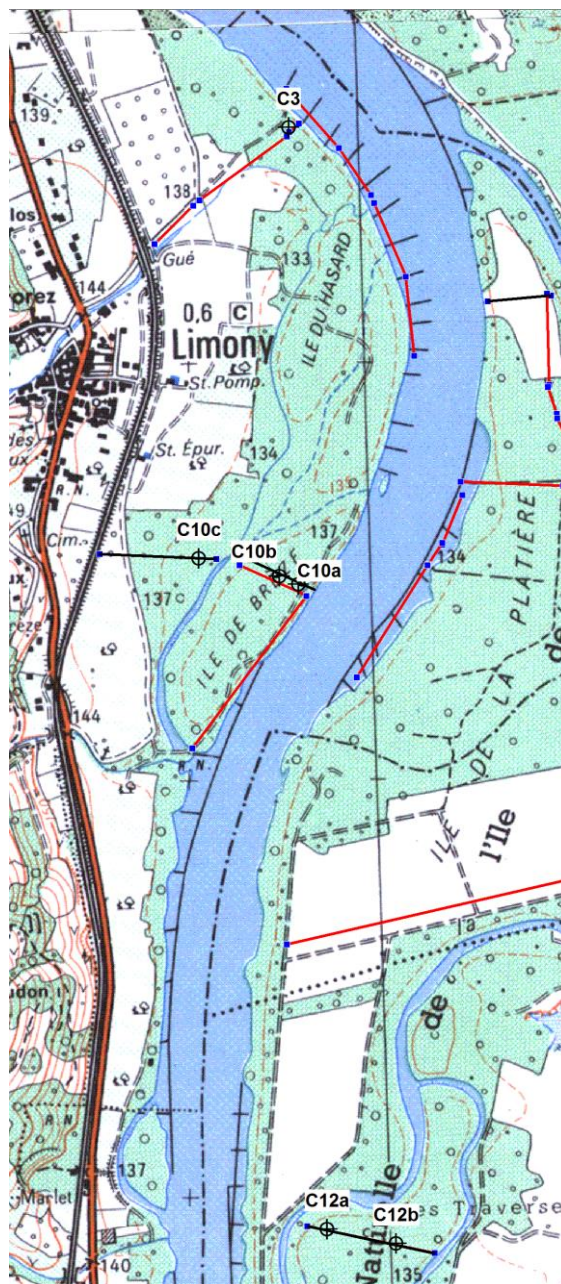


## Annexe 3 – Résultats des analyses chimiques quantitatives

Sont regroupés dans cette annexe les résultats des analyses chimiques quantitatives. Ils sont présentés en fonction de la longueur réelle des carottes.

Les éléments analysés sont : le zinc (Zn), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu) et le mercure (Hg). Les échantillons sont prélevés sur 0,5 cm, et le pas d'échantillonnage est en moyenne de 6 cm.

Les carottes sont présentées d'amont en aval, suivant la même logique que dans le présent rapport. Pour mémoire, la figure suivante rappelle leur emplacement respectif.

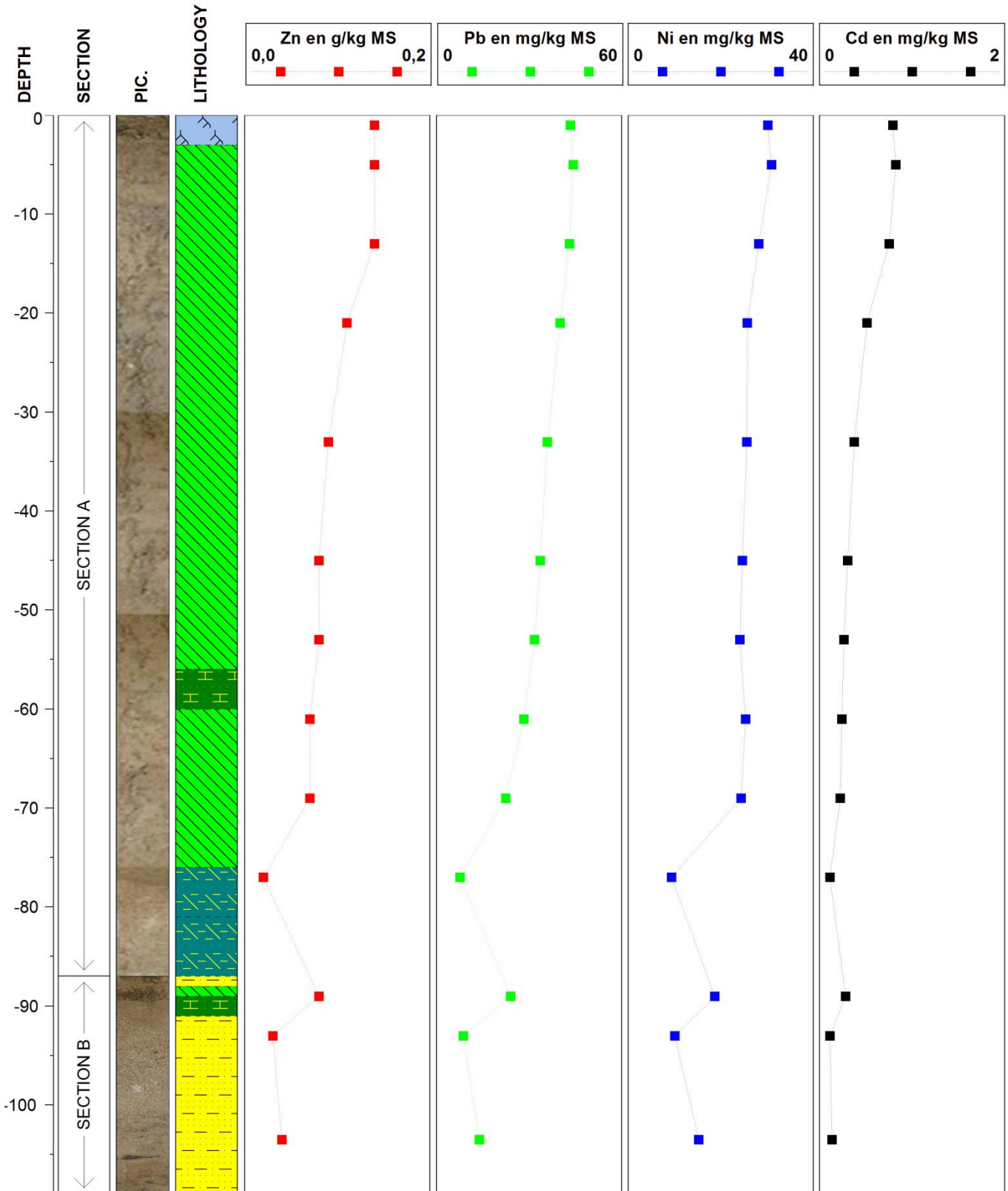


Localisation des prélèvements par carottage sur le RCC de Péage-de-Roussillon



Carotte C10a

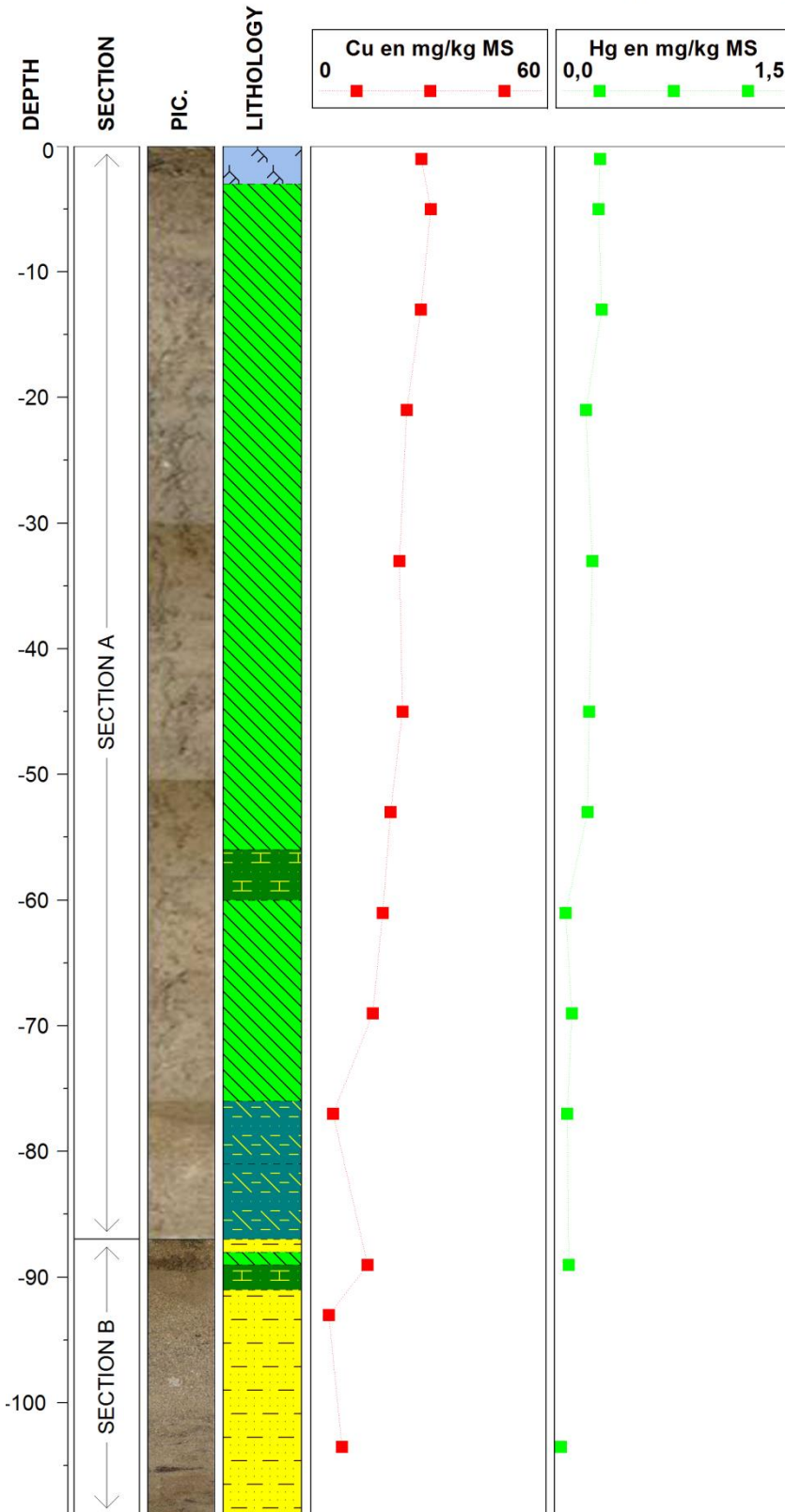
Analyses Chimiques Quantitatives





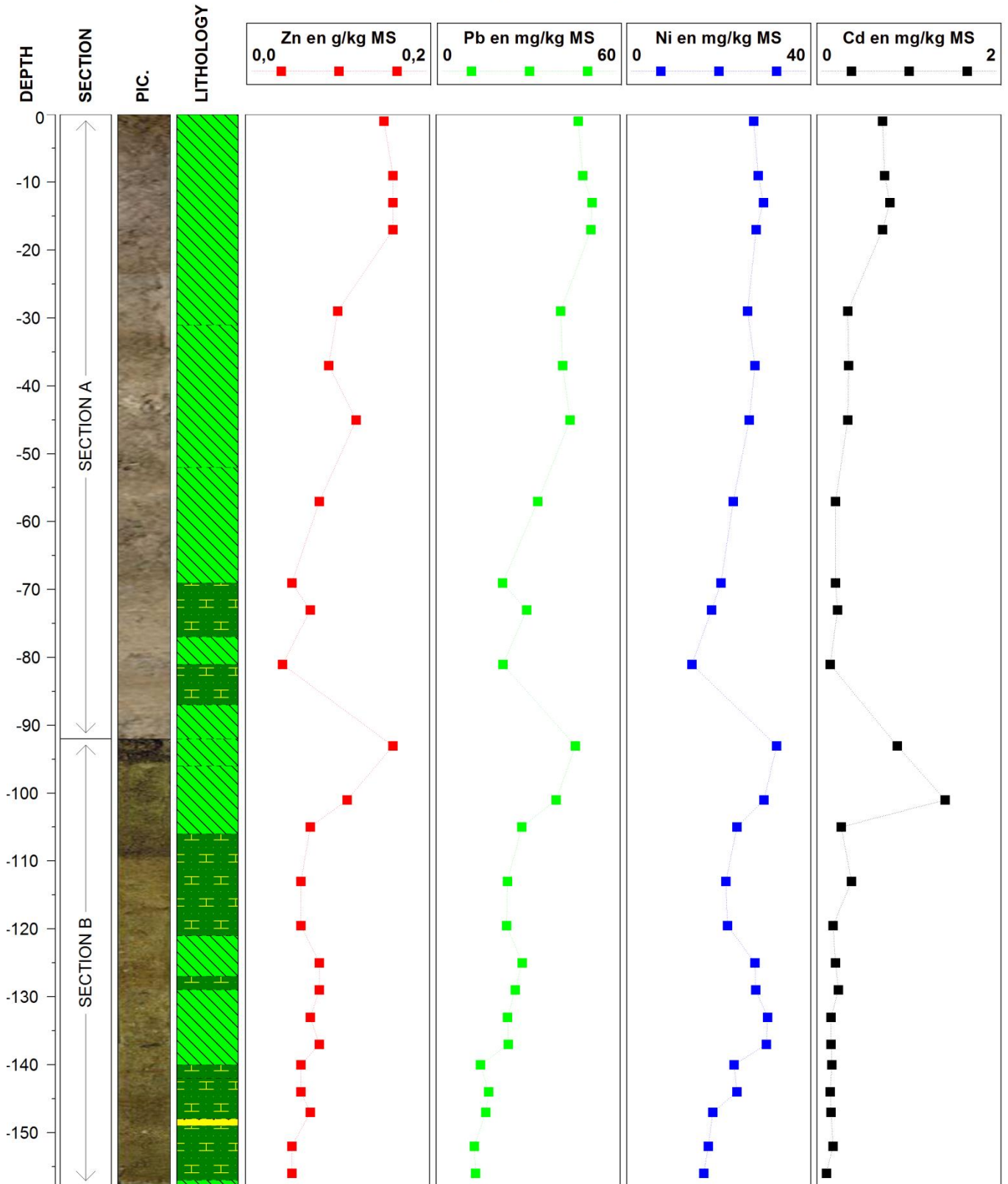
Carotte C10a

Analyses Chimiques Quantitatives



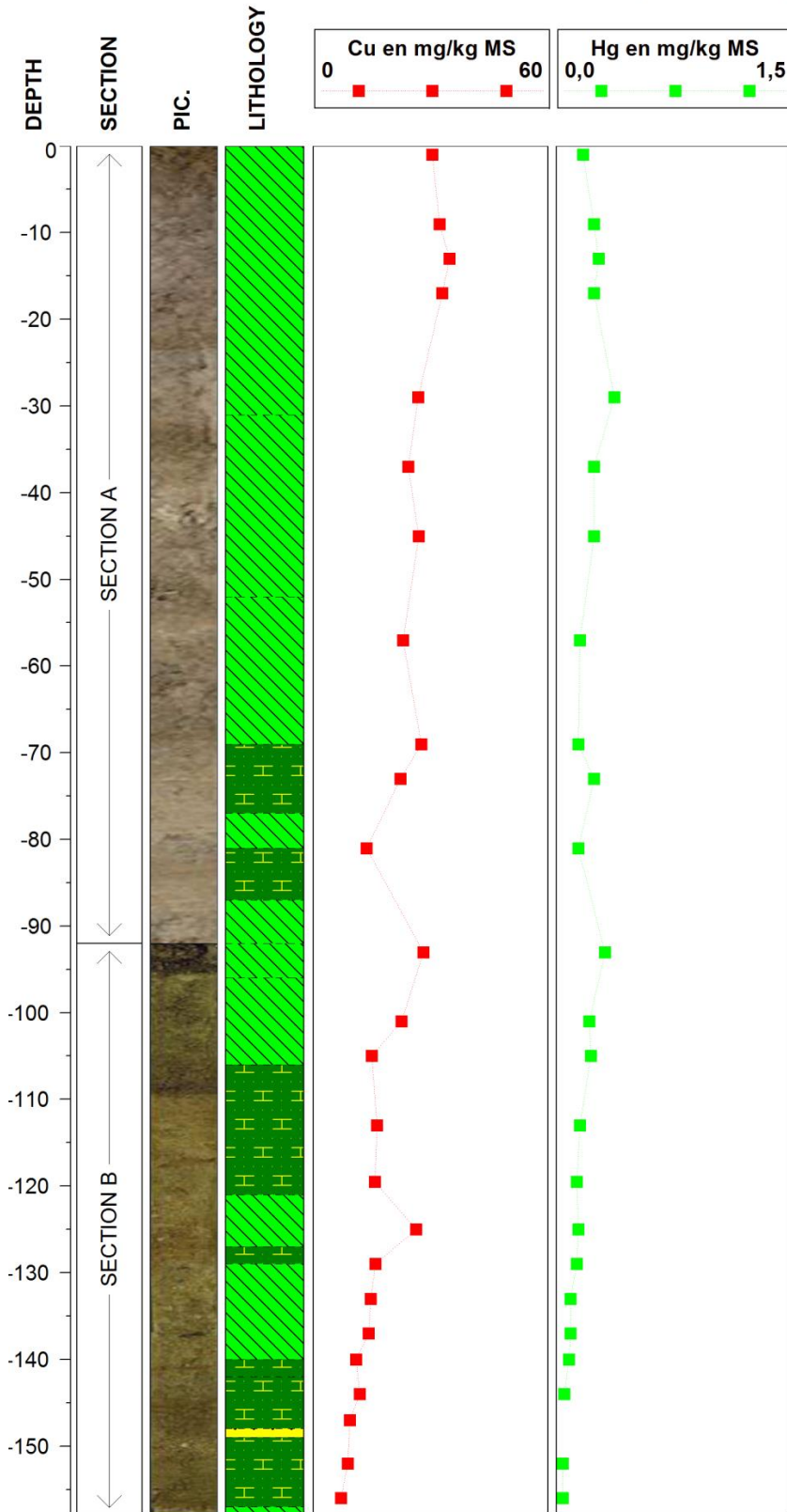
Carotte C10b

Analyses Chimiques Quantitatives



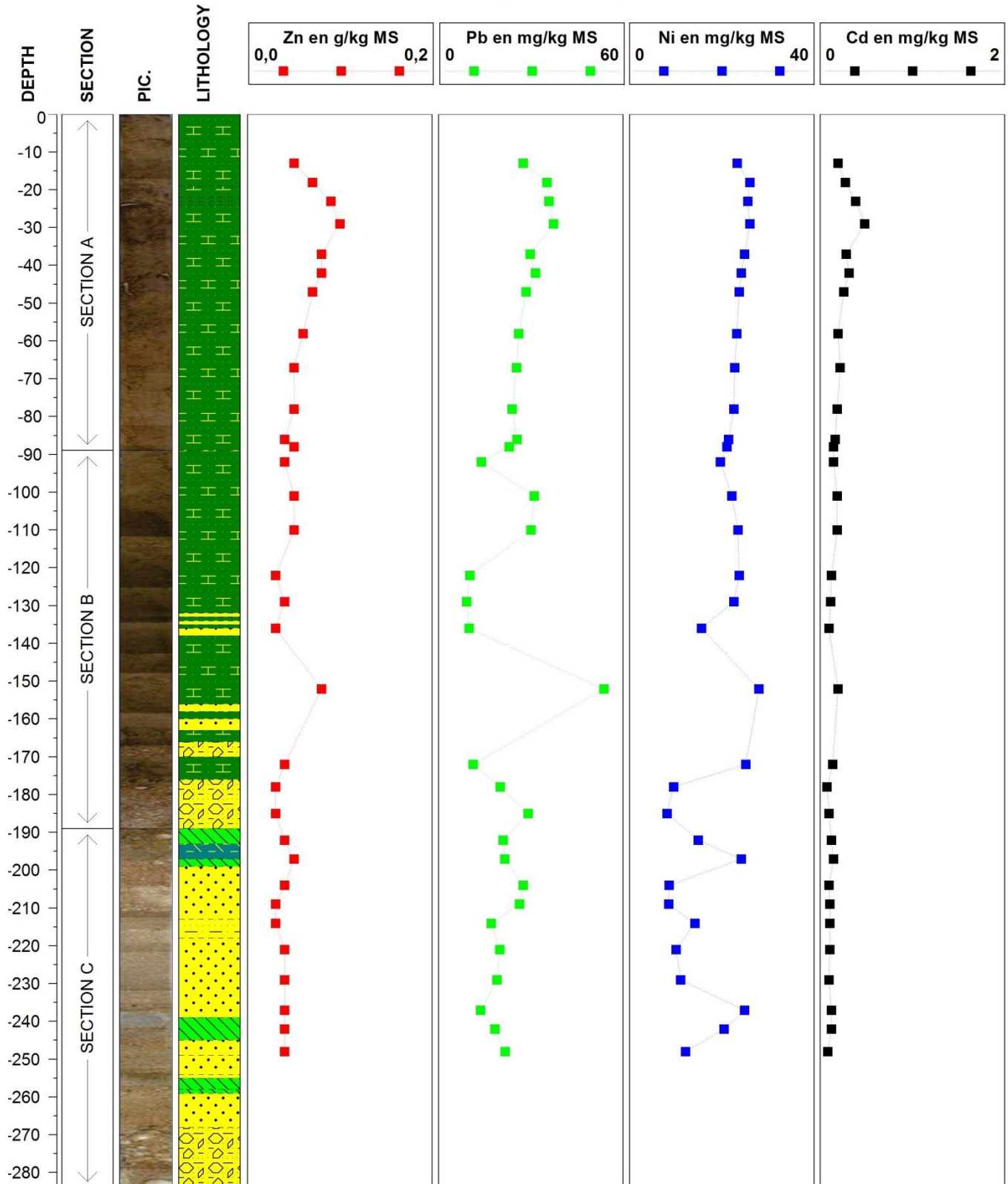
Carotte C10b

Analyses Chimiques Quantitatives



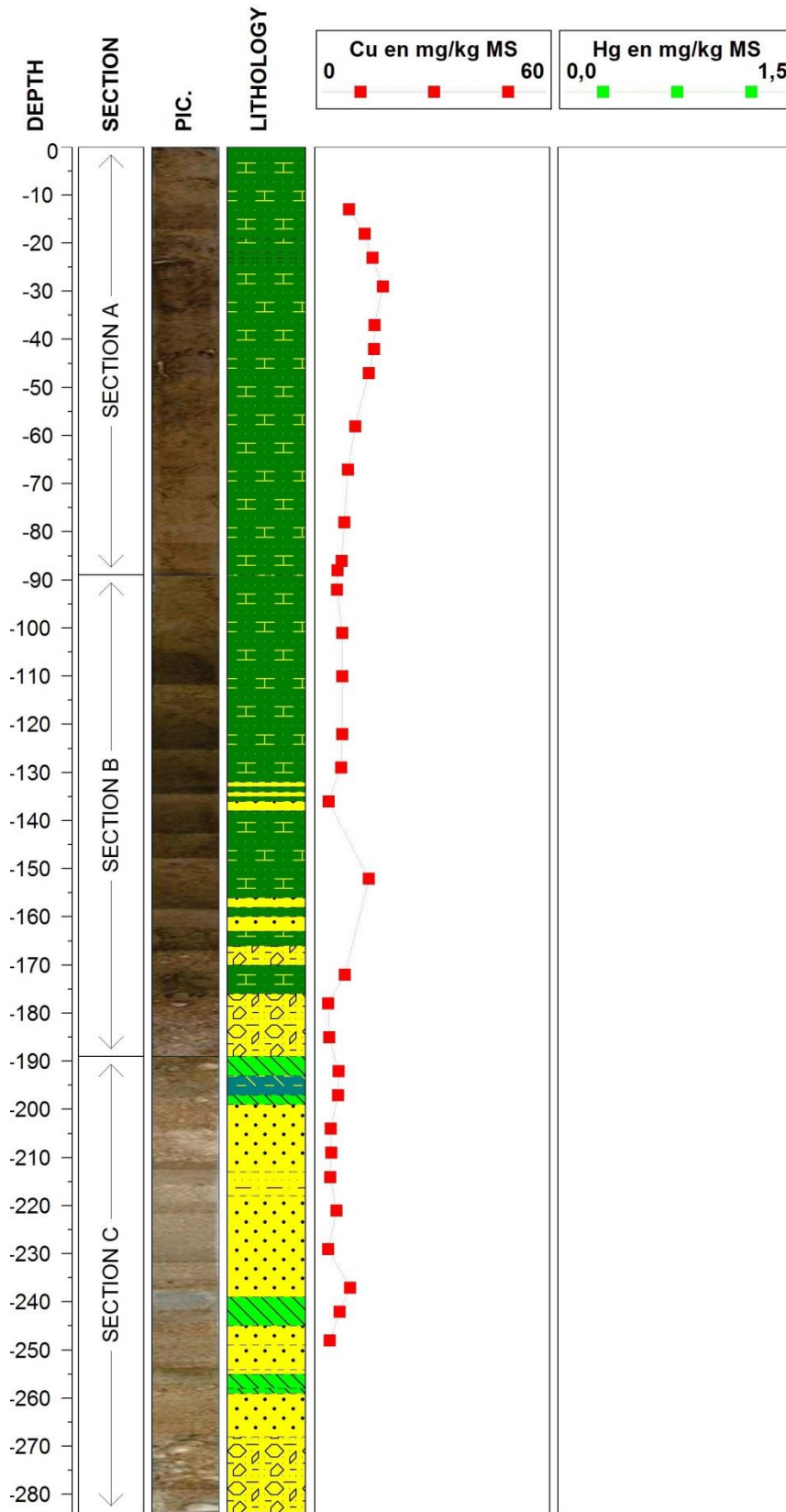
Carotte C10c

Analyses Chimiques Quantitatives



Carotte C10c

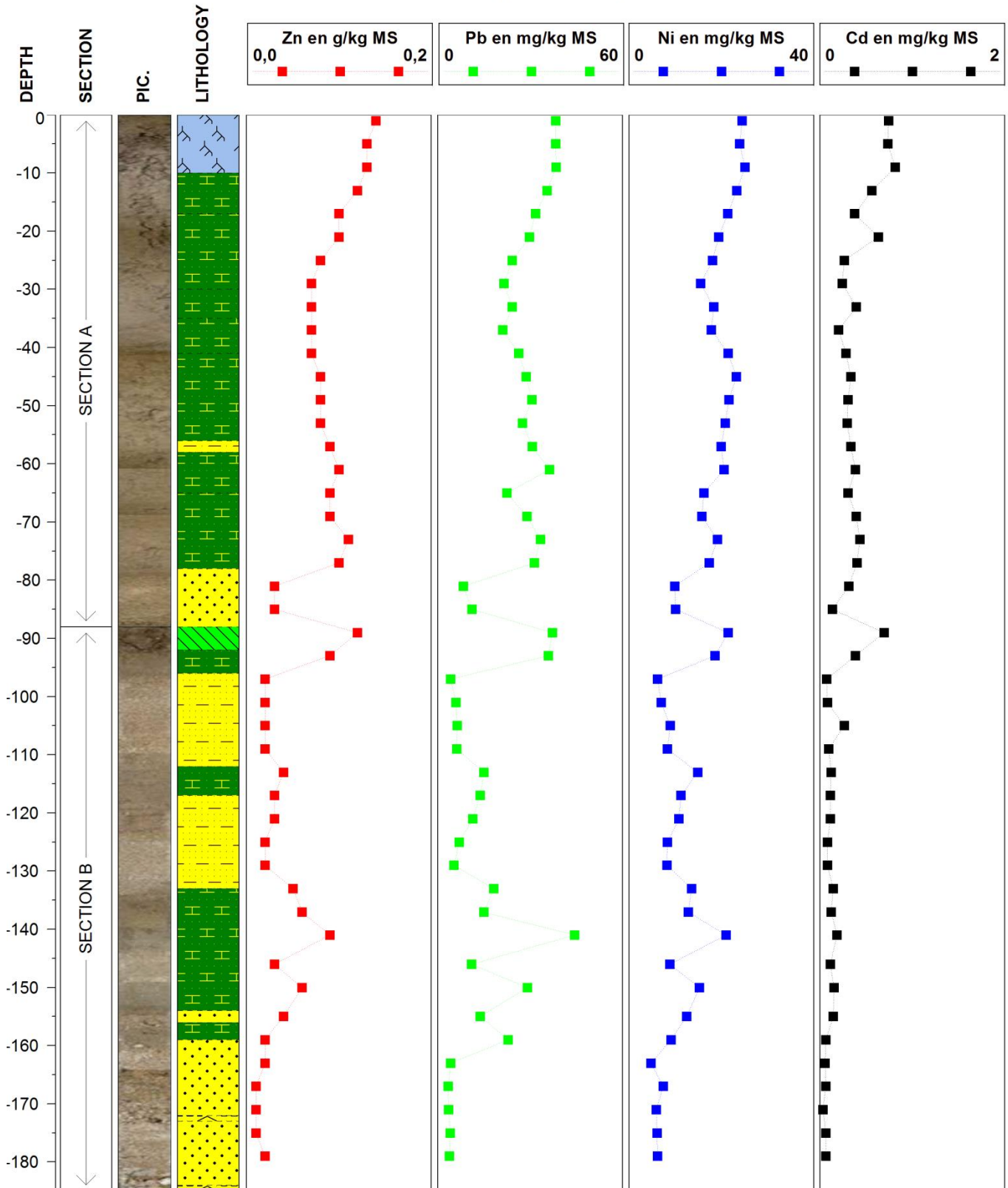
Analyses Chimiques Quantitatives





Carotte C12a

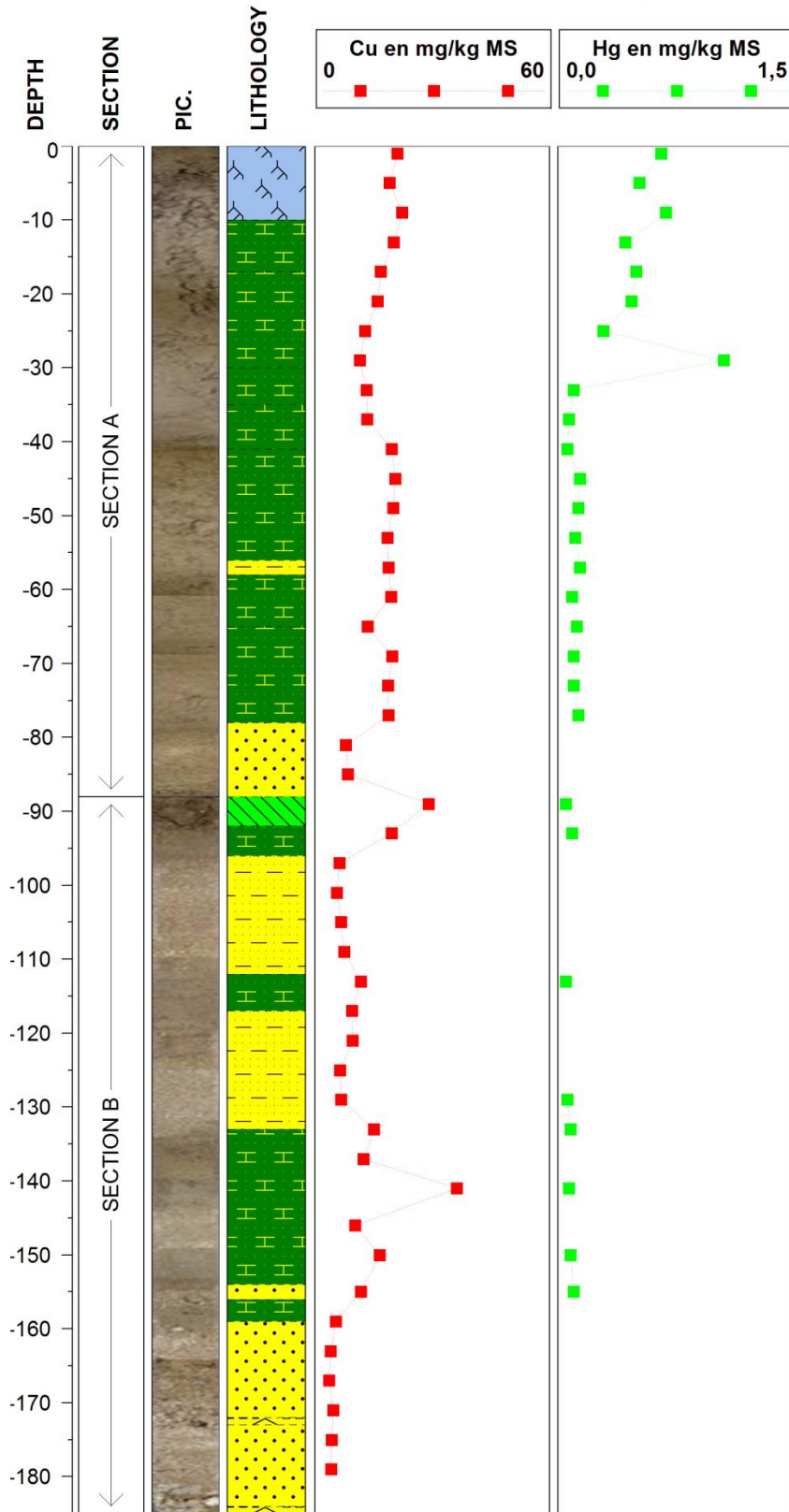
Analyses Chimiques Quantitatives





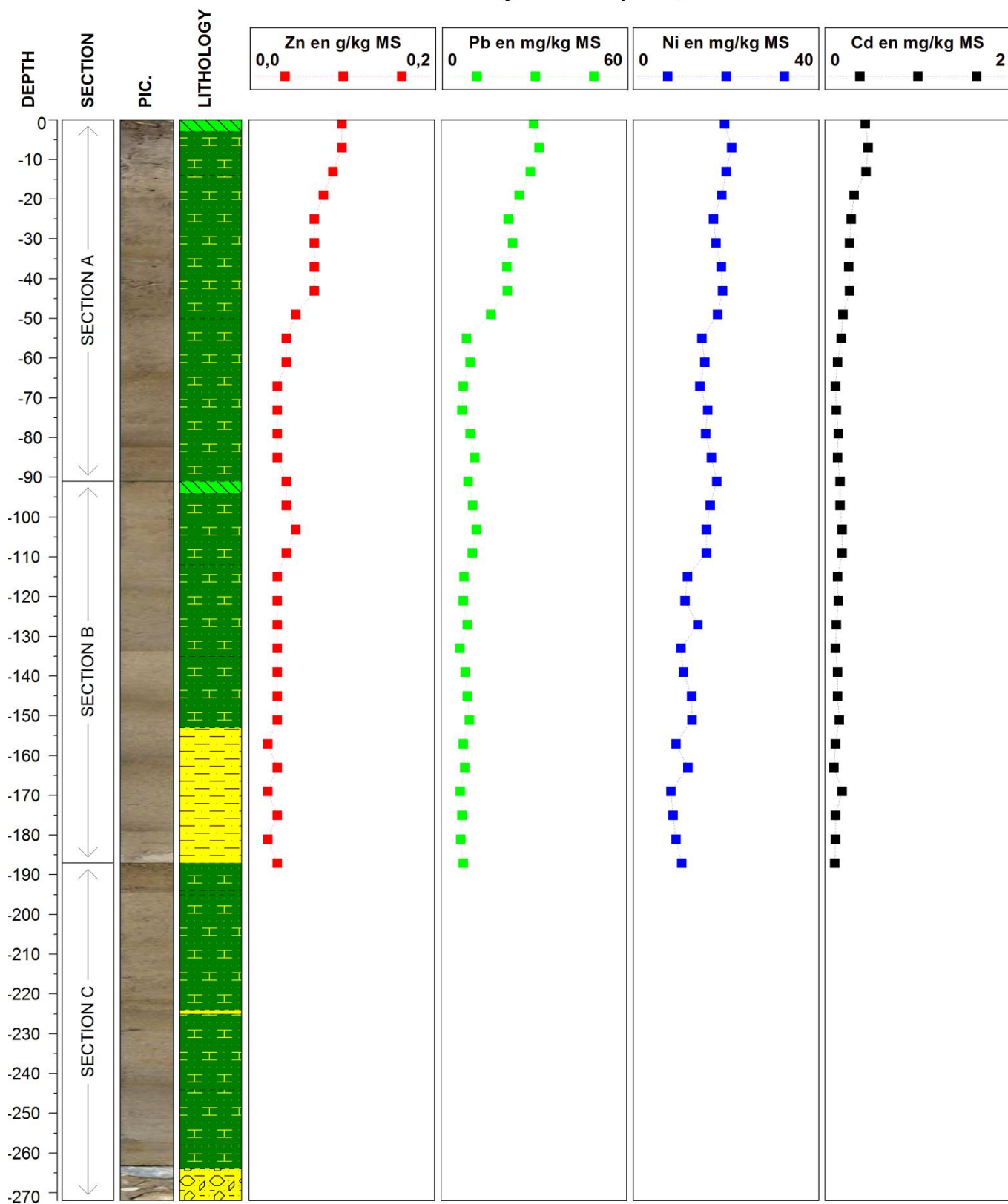
Carotte C12a

Analyses Chimiques Quantitatives



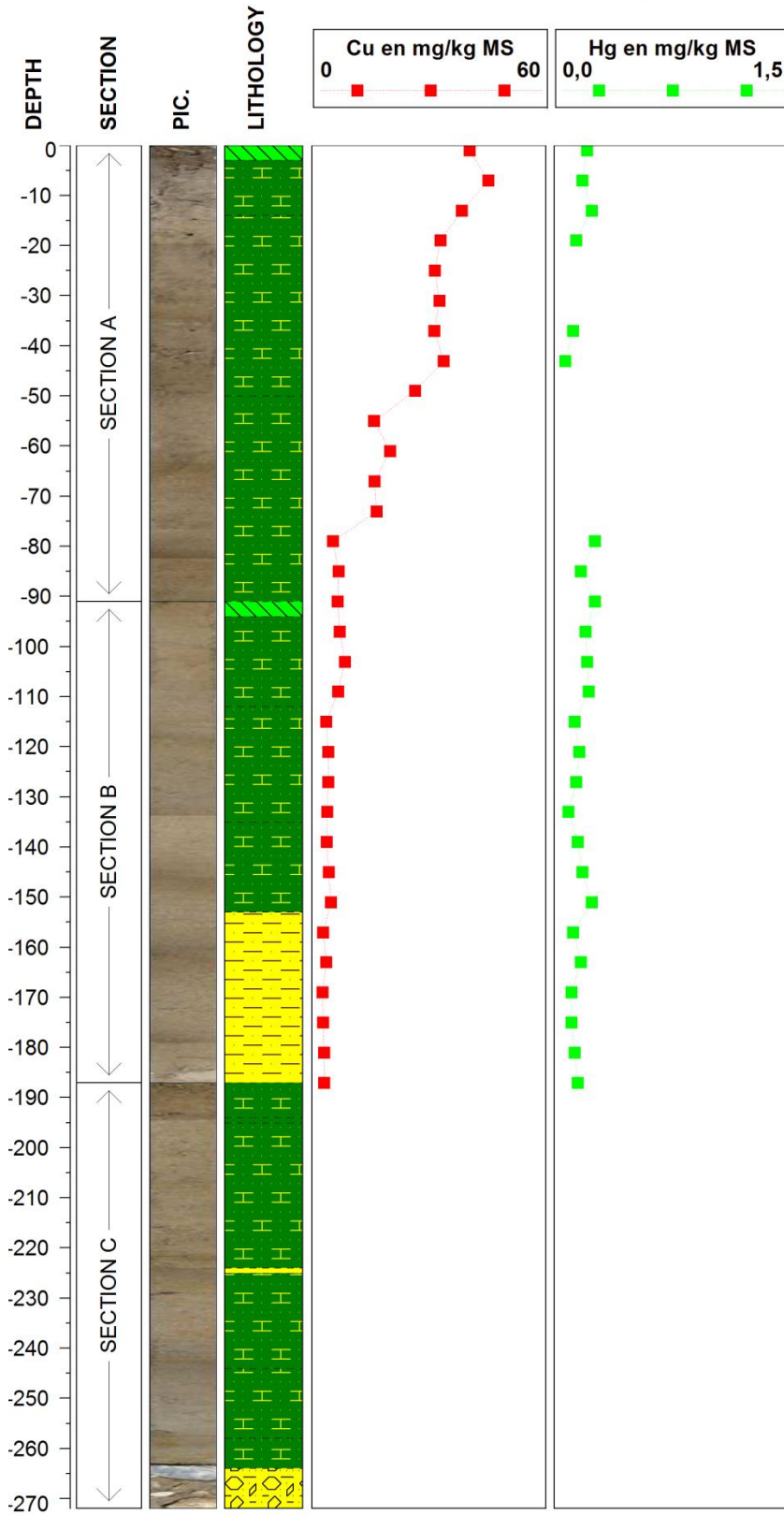
Carotte C12b

Analyses Chimiques Quantitatives

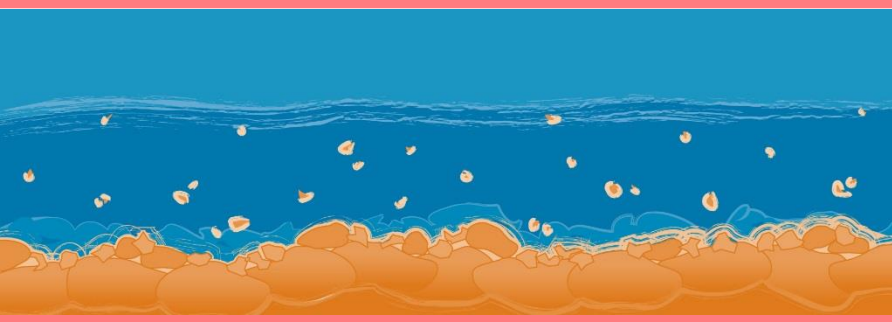


Carotte C12b

Analyses Chimiques Quantitatives







# Observatoire des Sédiments du Rhône



Provence-Alpes-Côte d'Azur



## Observatoire des Sédiments du Rhône

GRAIE – OHM Vallée du Rhône  
66 bd Niels Bohr – CS 52132  
69603 Villeurbanne Cedex  
[www.graie.org/osr/](http://www.graie.org/osr/)

Contact : [dad.roux@graie.org](mailto:dad.roux@graie.org)