

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

ENREGISTREMENTS SÉDIMENTAIRES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES  
RÉCENTS ET DE L'INFLUENCE DES BARRAGES DANS LA RÉGION DE SEPT-  
ÎLES, GOLFE DU SAINT-LAURENT

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI  
COMME EXIGENCE PARTIELLE DU  
PROGRAMME DE MAÎTRISE EN OCÉANOGRAPHIE

PAR  
URSULE BOYER-VILLEMAIRE

MAI 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI  
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

# Remerciements

Je tiens à remercier mes directeurs de maîtrise, les Drs. Guillaume St-Onge et Pascal Bernatchez, sans qui la réussite de ma maîtrise et la rédaction de ce mémoire auraient été impossibles. Je leur suis très reconnaissante de la confiance qu'ils m'ont témoignée, de leur disponibilité jusqu'au bout et d'avoir favorisé la réussite de ma démarche. Ce projet a été très formateur tant au plan scientifique que personnel et n'aurait pas abouti sans leur collaboration et ouverture à transmettre leur savoir à toutes les étapes du projet. Je remercie également Patrick Lajeunesse qui, sans être officiellement impliqué dans le projet, a gracieusement accepté de collaborer à mon projet et à l'article qui est en issu. Je dois un merci spécial à Jacques Labrie, autrefois à l'INRS-ETE et maintenant faisant partie de l'équipe de l'ISMER et du GEOTOP, qui a bien su compléter mes intuitions informatiques et stimuler mon intérêt dans ce domaine.

Je remercie Francesco Barletta, Agathe Lisé-Pronovost, Hervé Guyard, Michel Lajoie, Hubert Gagné, Geneviève Cauchon-Voyer et Gabrielle Labbé, mes collègues au laboratoire et en mission, qui ont stimulé les échanges et m'ont aidé à conserver une vision d'ensemble de la géologie marine. Merci pour votre empathie scientifique !

Merci aussi à plusieurs professeurs, professionnels et techniciens de l'UQAR qui, chacun à leur manière, m'ont donné un coup de main précieux tant au laboratoire que dans l'analyse des résultats : Alain Caron, Claude Belzile, Sylvain Leblanc, Bruno Cayouette, Michel Rousseau, Patrick Poulain, Gwenaëlle Chaillou, Urs Neumeier, Simon Senneville, Yvon Jolivet et Steeve Dugas. Au laboratoire, les stagiaires Véronique Gagnon, Pierre Simard, Marie-Pier St-Onge et Mélanie Gagné m'ont chacun apporté une aide précieuse.

Je suis aussi très reconnaissante envers tous les collaborateurs des laboratoires externes, pour leur disponibilité et leur accueil : au GEOTOP, Jean-François Hélic, Bassam Ghaleb, Christelle Not et Jennifer McKay; à l'INRS-ETE, Jean-François Crémier et Pierre Francis.

Je remercie les autres membres du jury, Thomas Buffin-Bélanger, le président, et Jacques Locat, le correcteur externe, d'avoir accepté de lire et corriger ce mémoire avec attention. Merci pour vos commentaires constructifs, qui ont enrichi mon expérience.

Enfin, je dois une fière chandelle à mes parents, qui furent mes premiers professeurs, et à tous les autres qui ont suivi, merci d'avoir semé les graines qui ont germées jusqu'ici. Une pensée spéciale pour mes proches et mes amis, dont le soutien à long terme est une source d'inspiration et de motivation sans cesse renouvelée.

# Résumé

Au cours des derniers siècles, les changements climatiques et d'utilisation du territoire ont modifié le régime sédimentaire des zones côtières. Une approche « *multi-proxy* » a été réalisée sur 5 carottes boîtes récoltées dans la région de Sept-Îles, nord-ouest du golfe du Saint-Laurent, afin de mieux comprendre les impacts des changements climatiques récents et de la construction des barrages sur la sédimentation dans la zone proximale au large de la côte. Des relevés multi-faisceaux et de sous-surface ont permis de sélectionner avec soin les sites d'échantillonnage. La chronologie des carottes a été réalisée à l'aide des mesures de  $^{210}\text{Pb}$  et confirme que les sédiments sont récents (derniers 370 ans). La quantification des variations lithologiques dans les carottes a été réalisée à l'aide de 1) traceurs stratigraphiques et granulométriques, 2) la micro-fluorescence X à haute résolution, 3) traceurs physiques et magnétiques et 4) traceurs géochimiques ( $\text{C}_{\text{tot}}$ ,  $\text{N}_{\text{tot}}$ ,  $\text{C}_{\text{org}}$ ,  $\text{C}_{\text{inorg}}$ ,  $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{tot}}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ). L'analyse de deux des cinq carottes a été poussée. Ainsi, l'identification d'événements historiques dans les sédiments, comme une crue majeure des rivières Moisie et Sainte-Marguerite en 1966, soutient la validité des chronologies. De plus, des mesures de la taille des grains ont contribué à l'identification d'une crue d'importance historique en AD  $1844 \pm 4$ , alors qu'une diminution drastique des variations de haute fréquence dans la taille des grains et le  $d_{50}$  s'est produit autour de AD  $\sim 1900$ , soulignant l'impact de la construction du barrage SMI sur la rivière Sainte-Marguerite au début des années AD  $\sim 1900$ . D'autres variations sédimentologiques à haute fréquence ont été étudiées à l'aide des analyses en ondelettes et comparées avec des séries climatiques historiques. Des patrons et périodes similaires à la NAO (2-6, 6-8, 8-12, 12-16, 18-22, 30-35, 40, 60-80 ans) ont été observés et suggèrent une relation entre le régime sédimentaire du golfe du Saint-Laurent et les oscillations climatiques.

*Mots-clés : Utilisation du territoire, changements climatiques, sédimentologie côtière, golfe du Saint-Laurent, barrage, analyse spectrale, oscillation nord-atlantique (NAO), traceurs géochimiques et sédimentologiques*

# Table des matières

Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Liste des figures .....	v
Liste des tableaux .....	vi
Liste des annexes.....	vi
<b>1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enregistrements sédimentaires de l'activité humaine .....	2
1.2 Sédimentologie et série temporelle .....	5
1.3 Reconstituer le contexte sédimentologique naturel par l'analyse spectrale .....	7
1.4 Le cas de l'impact des barrages sur le régime sédimentaire .....	11
1.5 Objectifs.....	13
<b>2 Article préparé pour <i>Marine Geology</i>.....</b>	<b>15</b>
2.1 Abstract.....	16
2.2 Introduction.....	17
2.3 Study area and physical setting.....	19
2.3.1 General setting.....	19
2.3.2 Oceanographic and climatic setting.....	20
2.3.3 Settlement and dam history .....	22
2.4 Methods.....	23
2.4.1 Coring.....	23
2.4.2 Continuous measurements .....	24
2.4.3 Grain size.....	25
2.4.4 Dating and chronology.....	26
2.4.5 Historical data .....	26
2.4.6 Principal component analysis on XRF data .....	27
2.4.7 Wavelet analysis .....	28
2.5 Results.....	29
2.5.1 Core 56BC .....	29
2.5.2 Core 63BC .....	31
2.5.3 Chronology.....	32
2.5.4 Grain size, historical water flows and precipitations .....	32
2.5.5 Principal component analysis (PCA).....	34
2.5.6 Wavelet analysis .....	35
2.5.6.1 56BC.....	35
2.5.6.2 63BC.....	36

2.5.7	Historical records (NAO and precipitations).....	38
2.6	Discussion.....	39
2.6.1	Consequences of dam construction on proximal offshore sedimentary records.....	39
2.6.2	Possible influence of the NAO and other natural cycles on the sedimentation in the Sept-Îles area.....	41
2.7	Conclusions .....	45
2.8	References .....	46
2.9	Acknowledgements .....	46
3	Discussion .....	47
3.1	Conséquences de la construction d'un barrage dans les sédiments au large proximal.....	47
3.2	Influence possible de la NAO et d'autres cycles naturels sur la sédimentation de la région de Sept-Îles .....	48
3.3	Limites de la méthode.....	51
4	Conclusions .....	53
5	Références.....	55

## Liste des figures

Figure 1 :	Différents types d'ondelettes.....	8
Figure 2 :	Location of the Sept-Îles area (Gulf of St. Lawrence), and sampling of cores 56BC and 63BC. Also illustrated are the localities mentioned in the text. Solid black arrows represent the primary and secondary littoral drift directions.....	20
Figure 3 :	Sub-bottom chirp profiles for the cores A) 56BC and B) 63BC.....	24
Figure 4 :	Daily precipitations in Sept-Îles and Natashquan meteorological stations (Environment Canada, 2007).....	27
Figure 5 :	Physical, geochemical and sedimentological properties of cores A) 56BC and B) 63BC. From left to right: CAT-Scan image and derived CT number, magnetic susceptibility (k), density, d50, Fe content (relative counts) and a*, b*, L*. Also illustrated are the <sup>210</sup> Pb activity and derived sedimentation rate for cores C) 56BC and D) 63BC. ....	30
Figure 6 :	Comparison of river flows and grain size. Temporal series of A) historical water flows (Q, 3-yr smooth) of Moisie (black) and Sainte-Marguerite Rivers (gray), and B) normalized d50 for cores 56BC (empty triangles) and 63BC (black dots). Note the peak in the d50 dated around 1844 ± 4 yrs, the flattening of the d50 curve around 1900 for core 56BC, and the two peaks in the d50 dated in 1962 and 1972 in core 56BC. See also figure 7. ....	33
Figure 7 :	Precipitations in Sept-Îles (monthly maximum, black line), Moisie River flow (monthly maximum, blue line) and grain size (normalized d50) of cores 56BC (black dots) and 63BC (empty triangles) from 1944 to 2006 (see also Figure 5). Note the two peaks in the d50, dated in 1962 and 1972 in core 56BC, the Moisie gully-flow event of November 3 <sup>rd</sup> , 1966 seen in precipitations and June 2 <sup>nd</sup> , 1966 flow event. The second	

maximum precipitation event was September 4 <sup>th</sup> , 1972, as the second maximum flow event was June, 2 <sup>nd</sup> , 1976. See also figure 6.....	34
Figure 8 : Principal component analysis (PCA) of the XRF data for cores A) 56BC and B) 63BC. Smaller gray numbers are depth (mm). The closer to zero in a PC axis, the more correlated is the variable with this principal component.....	35
Figure 9 : Wavelet analysis of cores A) 56BC, B) 63BC, C) winter NAO index (from Cook <i>et al.</i> , 2002) and D) Monthly total precipitations in Natashquan (Québec). I. is the normalized signal used for the wavelet (grey line is the signal, black line is a 7-point smooth and red line is a 15 point smooth), II. is the power spectrum, III is the interpretation of coherence (colour) vs incoherence (no colour), positive (red) and negative (blue) phases. The interpretation of the winter NAO is after the interpretation of Appenzeller <i>et al</i> (1998). The white corners are outside the 95% confidence level cone of influence. The black circles illustrate the 95% confidence level on the power spectra. ....	37

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux indices climatiques globaux, leur nom français et anglais et références clés sur l'analyse des cycles .....	10
Tableau 2 : Coordinates of cores 56BC and 63BC.....	24
Tableau 3 : Mean, sorting, and sand, silt, clay content of cores 56BC and 63BC .....	31
Tableau 4 : Loadings of the most important elements and eigenvalues of the principal component 1 and 2 for cores 56BC and 63BC.....	35
Tableau 5 : Significant and stable periods identified by the wavelet analysis (Morlet) of the PC1 of cores 56BC and 63BC, the winter NAO (Cook <i>et. al</i> , 2002) and the monthly precipitations in Natashquan (Québec) .....	38

## Liste des annexes

Annexe 1 : Localisation et échantillonnages supplémentaires .....	I
Annexe 2 : Relevés de sous-surface.....	IV
Annexe 3 : Feuille de suivi des carottes 56BC, 58BC, 62BC, 63BC et 64BC.....	VI
Annexe 4 : Feuille de description pour les carottes 56BC, 58BC, 62BC, 63BC et 64BC.....	XIII
Annexe 5 : Méthodes supplémentaires.....	XIX
Annexe 6 : Résultats supplémentaires.....	XXIII

# 1 Introduction

Distinguer la part relative des processus naturels et des impacts de l'utilisation du territoire responsables de la modification de l'environnement est une des plus grandes difficultés de la science des changements climatiques (IPCC, 2007). Dans le cas de la construction des barrages, des impacts sur le cycle du carbone et les flux sédimentologiques ont été indéniablement mesurés (Bates *et al.*, 2008, Meybeck et Vörösmarty, 2005). Par contre, distinguer les influences régionales d'origine hydro-climatique des impacts ayant suivi la construction d'un barrage est problématique : dans le bassin de rétention, l'absence d'enregistrements sédimentaires antérieurs à la mise en eau limite la reconstitution d'un contexte sédimentaire pré-industriel sur lequel la pression anthropique est appliquée. Une issue réside toutefois dans l'analyse des séries sédimentaires récoltées à l'exutoire du bassin-versant où les effets de l'apparition du barrage pourraient être observés. Dans certains milieux récemment perturbés par les activités humaines et l'occupation du territoire, le contexte pré-industriel fut surtout sous l'influence du climat. La Côte-Nord du golfe du Saint-Laurent, où la colonisation eut lieu au 19<sup>e</sup> siècle (Frenette, 1996), en est un exemple. Dans cette région, les barrages ont joué un rôle angulaire dans le développement économique et dans les changements d'utilisation du sol (Frenette, 1996); il n'y a qu'à penser à l'immense complexe hydroélectrique de la péninsule Manicouagan. Du point de vue de l'influence de ces ouvrages sur la sédimentologie au large proximal, la comparaison d'une série sédimentaire sans influence du barrage (témoin) avec une série sous l'influence du barrage permettrait de distinguer un régime sous influence de la construction des barrages de celui du contexte régional de variations naturelles.



## 1.1 Enregistrements sédimentaires de l'activité humaine

Les impacts des grands changements historiques reliés à l'organisation des activités humaines, telles la sédentarisation et l'industrialisation, ont été maintes fois reconnus dans des séries sédimentaires. À l'échelle de l'Holocène, les effets directs de l'avènement de l'agriculture ont été distingués dans différents environnements sédimentaires, notamment des systèmes lacustres (e.g., Cupper et Duncan, 2006, Gómez *et al.*, 2007, Guyard *et al.*, 2007, Vannièr *et al.*, 2008, Weng *et al.*, 2006), fluviaux (e.g. Faust *et al.*, 2004, Kalicki *et al.*, 2008, Kidder *et al.*, 2008, Thorndycraft et Benito, 2006, Zielhofer *et al.*, 2008), deltaïques ou estuariens (e.g., Bourrin *et al.*, 2007, Leorri *et al.*, 2006, Stefani et Vincenzi, 2005), des systèmes côtiers variés (e.g., Ishiga *et al.*, 2000, Lesueur *et al.*, 1996, Smittenberg *et al.*, 2005) et des mers (e.g., Austin *et al.*, 2007, Neumann *et al.*, 2007). La combinaison d'enregistrements sédimentaires avec des séries temporelles d'autres origines (approche multi-domaines - *multi-proxy*) est aussi fréquente (e.g., Kalis *et al.*, 2003: dépôts lacustres laminés, fluviaux, sols, spéléothèmes, tourbe et sédiments côtiers, Mann *et al.*, 2008 : dépôts lacustres et de pente).

Par contre, le facteur temps est très variable d'une étude à l'autre. La possibilité de dater avec précision des changements dans une série sédimentaire est une fonction de plusieurs caractéristiques inhérentes à la série temporelle, qui sont elles-mêmes en interactions : 1) le taux de sédimentation combiné à la méthode de datation et 2) le type d'analyse combiné à la résolution du sous-échantillonnage.

Classiquement, l'échelle temporelle de travail est compatible avec l'échelle de datation du  $^{14}\text{C}$  : l'étude des longues séquences sédimentaires (mètres, dizaines de mètres, voire centaines de mètres comme dans le cadre du programme international *Integrated*

*Ocean Drilling Program - IODP*) à faibles taux de sédimentation (mm à cm/millénaire) permet d'atteindre des étendues temporelles de plusieurs millénaires, voire des centaines de milliers d'années (échelle séculaire à millénaire ou multi-millénaire). Ces échelles ont l'avantage d'une grande étendue temporelle, par contre, la rareté du matériel à dater à l'aide du  $^{14}\text{C}$  diminue la précision du modèle d'âge et est souvent un facteur limitant dans la datation d'événements, à moins d'utiliser des sources de données externes ou historiques. À ce jour, l'application du paléomagnétisme aux séries sédimentaires résout une partie de cette limitation car elle permet d'obtenir des modèles d'âge jusqu'à l'échelle séculaire (e.g., Aïssaoui *et al.*, 1993, Channell *et al.*, 2008, St-Onge *et al.*, 2003, Stoner et St-Onge, 2007, Tauxe, 1993, Walden *et al.*, 1999). Ce protocole de datation semble même compatible avec l'objectif de distinguer les influences anthropiques du climat à l'échelle de l'Holocène, comme l'a illustré l'étude de Faust *et al.* (2004). La méthode utilisant les *u-channels* (sous-échantillonnage dans des tubes de plastique de  $4\text{ cm}^2$  d'aire transversale) est toutefois limitée par la résolution du magnétomètre cryogénique, dont le pas d'échantillonnage est de 1 cm et la surface d'intégration est de  $4\text{ cm}^2$  (Weeks *et al.*, 1993). L'échelle de datation est à deux ordres de grandeur de l'échelle inter-annuelle, et en conséquence peu utilisée pour l'étude des derniers siècles et des impacts de l'avènement de l'industrialisation. Néanmoins, d'autres techniques de datation radiogénique, dont la demi-vie des isotopes analysés est décennale, ont émergé dans les derniers 20-30 ans (Oldfield et Appleby, 1984, Robbins et Edgington, 1975, Robbins *et al.*, 1978, Smith et Walton, 1980) et permettent de construire un modèle d'âge de résolution décennale à inter-annuelle. Des modèles d'âge basés sur l'utilisation du  $^{210}\text{Pb}$  (22.3 ans) et du  $^{137}\text{Cs}$  (30.23 ans) (e.g., Barbeau *et al.*, 1981, Carpenter *et al.*, 1981, Jenanne, 1992, Loucheuaru, 1997, Zhang, 2000) ont en effet permis de révéler des changements sédimentaires majeurs dans les environnements côtiers

et marins, entraînés par les activités humaines industrialisées à l'échelle inter-annuelle (e.g., Chagué-Goff *et al.*, 2000, Cundy *et al.*, 2003, Huguet *et al.*, 2007).

Du côté des types d'analyses et de leur résolution, des séries sédimentaires à l'échelle de l'Holocène ont maintes fois permis de détecter l'établissement des premières civilisations en le distinguant du contexte climatique, avec divers types d'analyses. Les études palynologiques (e.g. Dull, 2004, Neumann *et al.*, 2007, Stebich *et al.*, 2005) et de taille des grains (Kalicki *et al.*, 2008) y sont particulièrement sensibles. Toutefois, ce sont des méthodes destructives et limitées par leur dépendance au sous-échantillonnage manuel des carottes sédimentaires, à des intervalle de l'ordre de 0.5 cm au maximum dans les études les plus précises (e.g. Guyard *et al.*, 2007). L'étude des propriétés physiques des sédiments détaillées a récemment contribué à l'avancement de la paléoclimatologie (e.g., St-Onge *et al.*, 2007), et a permis de détecter l'établissement des civilisations avec des paramètres sédimentologiques tels que les propriétés magnétiques (Stockhausen et Zolitschka, 1999), la conductivité (Austin *et al.*, 2007) et la densité des sédiments (Vamière *et al.*, 2008).

Par ailleurs, de nouvelles percées techniques utilisant les propriétés physiques à ultra-haute résolution, telle la fluorescence-X (*X-ray fluorescence*, X-RF) qui a une résolution jusqu'à 100  $\mu\text{m}$  (e.g., Croudace *et al.*, 2006, Thomson *et al.*, 2006), ont nettement amélioré la précision des analyses sédimentaires. Certaines études ont ainsi permis de dater avec exactitude des événements récents, comme des contaminations chimiques (Durant *et al.*, 2004), ou de documenter les variations climatiques des derniers siècles (Johnson-Pyrtle *et al.*, 2000, Kalugin *et al.*, 2007).

Les méthodes de datation et la précision des analyses à la fine pointe de la technologie en sédimentologie procurent donc le potentiel de travailler à des échelles de temps

décennales à annuelles, voire saisonnières. Toutefois, la distinction de l'influence des activités anthropiques de celle des processus naturels pose un problème : sur une série à haute résolution (plusieurs milliers de points), comment reconnaître un événement anthropique d'un événement naturel ? Adopter l'approche statistique des séries temporelles permettrait de schématiser le problème et de donner des pistes pour y répondre.

## 1.2 Sédimentologie et série temporelle

Une série sédimentaire peut être considérée comme un signal influencé par des événements anthropiques et naturels. Du point de vue statistique, le protocole traditionnel pour mesurer les impacts de l'activité humaine sur le régime sédimentaire consiste soit 1) en la comparaison de tendances antérieures et postérieures à un changement donné (type avant/après) (e.g., Vannière *et al.*, 2008), soit 2) à l'identification de couches déposées rapidement (type événement ponctuel) par validation temporelle avec des sources de données externes (e.g., Anderson *et al.*, 2007). Dans un événement avant/après, le taux de sédimentation est considéré constant, alors que dans un événement ponctuel, il y a un changement de taux de sédimentation.

En analyse temporelle, un signal peut être décomposé en plusieurs facteurs : des changements brusques ponctuels ou continus, une tendance, des cyclicités et des résidus (Tabachnick et Fidell, 2007). Pour en arriver à trouver les variables explicatives d'un système, il faut travailler avec les résidus, ce qui implique de stabiliser le signal en retirant chacune de ces composantes une à une. Pour avoir un signal stable, il faut d'abord avoir un taux de sédimentation relativement stable. Les changements brusques ponctuels (type événement ponctuel) doivent être retirés en soustrayant les profondeurs concernées.

Ensuite, les changements progressifs suite à l'application d'un traitement (type avant/après) doivent être retirés par la soustraction des tendances de chacune des périodes. Dans l'étude des séries sédimentaires à l'échelle millénaire ou séculaire, les « tendances » sont généralement associées aux grands cycles climatiques d'un ordre supérieur (e.g., Van der Zwan, 2002, Viau *et al.*, 2002), comme les cycles de Milankovitch (Wunsch, 2004) et de Bond (Bond *et al.*, 2001), qui sont en fait des oscillations mais dont l'effet est approximativement linéaire à l'échelle de ce travail de maîtrise, soit quelques siècles. Ensuite, dépendamment de la constance du taux de sédimentation, on peut soit diviser le signal en plusieurs portions et travailler sur chacune de ces portions de manière séparée (comparaison de périodes historiques), ou retirer la tendance générale. L'étape suivante est l'analyse des cyclicités (c.f., Kumar et Fouloula-Georgiou, 1997, Torrence et Compo, 1998), en émergence en sédimentologie (e.g., Grinsted *et al.*, 2004, Guyodo *et al.*, 2000, Lamoureux *et al.*, 2006). À ce jour, aucune étude des résidus d'une série sédimentaire ne semble avoir été publiée, probablement dû à la complexité des signaux non-linéaires.

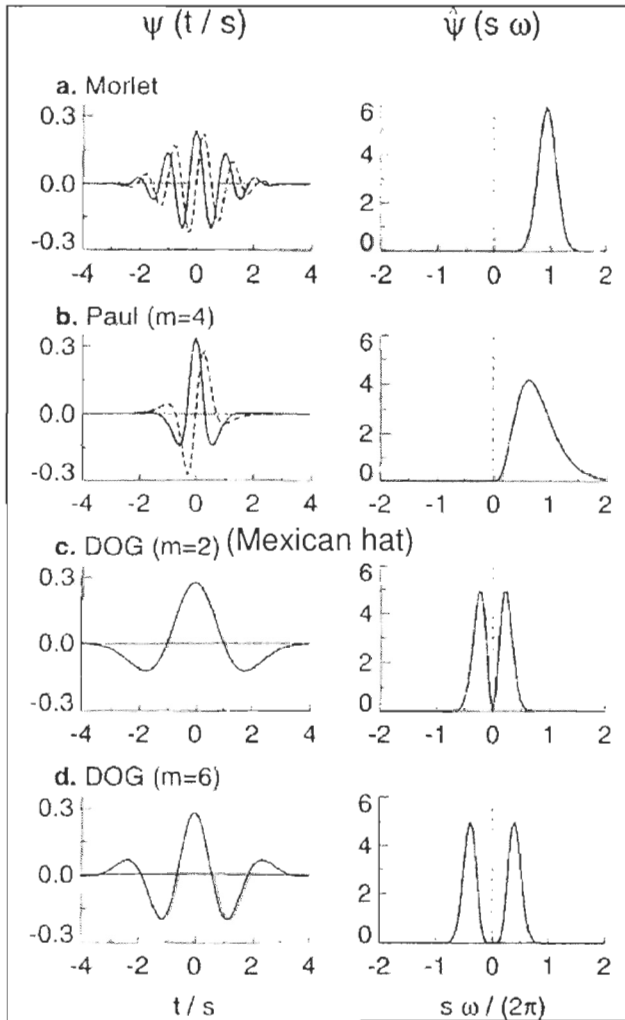
Ainsi, la construction des barrages peut être assimilée à un événement de type avant/après, puisqu'elle ne constitue pas un événement récurrent, et l'approche temporelle devrait permettre de l'identifier. Par contre, le contexte régional naturel du régime sédimentaire doit être établi au préalable. Suivant le modèle des séries temporelles, une fois la construction du modèle d'âge réalisée, il faudrait identifier des tendances naturelles. Toutefois, cette étape peut interférer avec l'identification de la construction des barrages puisque ces événements sont basés sur le même modèle (avant/après - changement de tendance). L'analyse de plusieurs carottes peut permettre de se libérer de cette contrainte, si les tendances sont synchrones. Toutefois, l'analyse spectrale offre un bon potentiel de distinction, puisque la construction d'un barrage n'est pas un événement récurrent.

### 1.3 Reconstituer le contexte sédimentologique naturel par l'analyse spectrale

Le contexte sédimentologique naturel peut être caractérisé à l'aide de l'analyse spectrale, par l'identification des cycles présents dans le signal et de leur variabilité dans le temps (patrons d'oscillation), suivi de leur comparaison aux cycles climatiques globaux. En paléoclimatologie à l'échelle de l'Holocène, l'activité cyclique a d'abord été étudiée en appliquant des « transformées de Fourier rapides à fenêtre glissante » (*sliding FFT*) (c.g., Berger et von Rad, 2002). Il s'agit d'un type d'analyse spectrale en une dimension basée sur la transformation d'un signal dans le domaine des fréquences, c'est-à-dire la décomposition d'un signal complexe en une somme de fonctions sinus et cosinus (c.f., Kumar et Foufoula-Georgiou, 1997, Torrence et Compo, 1998). La quantification statistique de la similarité entre le signal à l'étude dans le domaine des fréquences et un signal cyclique simple choisi définit la puissance spectrale à une « grandeur » (*scale*) d'ondelette donnée (c.f. figure 1).

Cette opération est répétée pour une gamme de fréquences du signal cyclique simple, permettant de construire un profil de puissance spectrale, nommé périodogramme. Ainsi, les pics de puissance spectrale dans le périodogramme déterminent les fréquences qui sont stables tout au long du signal. Des logiciels gratuits et souvent utilisés en paléoclimatologie comme *Analyseries* ont ainsi émergé (Paillard *et al.*, 1996). Cependant, les processus géophysiques sont généralement non-linéaires : dans certains cas, une fréquence spécifique ne peut être déterminée, car la source de l'activité cyclique oscille dans le temps autour d'une gamme de fréquences. En d'autres mots, les cycles eux-mêmes varient de manière aléatoire dans le temps et la limite des analyses en FFT est de trouver une fréquence moyenne d'oscillation. Cependant, l'analyse en ondelettes (*wavelet*) a été développée pour permettre de caractériser cette deuxième dimension de variation temporelle et a gagné en

popularité dans les sciences géophysiques au cours de la dernière décennie (c.f., Kumar et Foufoula-Georgiou, 1997, Torrence et Compo, 1998). Une ondelette se définit simplement comme une fonction mathématique cyclique en deux dimensions. Des exemples connus sont la Gaussienne, Morlet, Bartlett, Mexican Hat. Sous forme graphique, ils représentent un patron spécifique (figure 1).



À gauche, se trouve l'ondelette normalisée  $\psi$ , qui est une fonction du rapport du temps  $t$  sur l'échelle de l'ondelette  $s$  (*scale*), et dont le graphique montre l'amplitude de l'ondelette (axe y, unités d'énergie) en fonction de la phase (axe x,  $t/s$ ) et qui comprend une partie réelle (ligne pleine) et une partie imaginaire (ligne pointillée); à droite, se trouve la correspondance de l'ondelette  $\psi$  dans le domaine des fréquences ( $\hat{\psi}$ ) (aussi appelée transformée de Fourier discrète), où la puissance spectrale (axe y, unités d'énergie) est exprimée en fonction du produit de l'échelle  $s$  et de la fréquence angulaire  $\omega$  ( $x, s^* \omega / 2\pi$ ). Pour des fins graphiques, l'échelle de l'ondelette choisie pour la représentation est de  $s = 10\delta t$ , soit 10 fois l'intervalle de temps entre deux mesures dans la série. Les différents types d'ondelettes présentées sont la Morlet, la Paul, où  $m$  est un ordre de magnitude à laquelle la fonction initiale est portée, et les DOG (dérivées d'une Gaussienne ou *Derivatives Of a Gaussian*), dans lesquelles  $m$  est un ordre de dérivation.

Figure 1 : Différents types d'ondelettes.

Tiré de Torrence et Compo, 1998.

Du point de vue mathématique, ils comportent une partie réelle et une partie imaginaire, par exemple la Morlet complexe (éq. 1) :

$$\psi(x) = \left(\pi f_b\right)^{-0.5} * e^{\left(2i\pi f_c x\right)} * e^{\left(-x^2 / f_b\right)} \quad (\text{éq. 1})$$

où  $\psi(x)$  est la fonction ondelette,  $x$  le paramètre temporel à l'étude,  $f_b$  est un paramètre de longueur d'onde,  $f_c$  est la fréquence centre de l'ondelette (Torrence et Compo, 1998).

Le principe de faire glisser la fenêtre sur le signal est le même, cependant, la puissance spectrale est calculée en tout point du signal et non sur la somme du signal, ce qui donne lieu à des résultats à trois variables, représentés sous forme d'image : la puissance spectrale ( $z$ ) est fonction de la position dans le temps sur le signal original ( $x$ ) et de la fréquence de la fonction cyclique simple ( $y$ , taille de l'ondelette).

L'analyse en ondelette permet donc de quantifier la présence d'activité cyclique dans une série sédimentaire. Toutefois, pour caractériser le régime sédimentaire naturel, il faut établir l'origine de ces cycles : sont-ils régionaux ou globaux ? Dans les études régionales de séries temporelles naturelles utilisant les ondelettes, la distinction des variations cycliques locales est réalisée par comparaison avec l'activité cyclique des indices climatiques les plus connus (tableau 1), qui sont les suivants : ENSO, PNA, NAO, NAM, AO et AMO.

Ce type de comparaison est répandu en science et est utilisé avec des données hydro-météorologiques historiques (e.g., Assani *et al.*, 2008, Coulibaly, 2006, Drago et Boxall, 2002), des séries dendrochronologiques (e.g., Gray *et al.*, 2004, Klvana *et al.*, 2004) et des séries sédimentaires (e.g., Debret *et al.*, 2007, Lamoureux *et al.*, 2006). Dans les séries sédimentaires, l'étendue temporelle et le traceur choisi sont déterminants pour l'analyse des cycles. Pour la comparaison des cyclicités inter-annuelles locales avec les indices climatiques globaux sus-mentionnés, les séries sédimentaires lacustres semblent plus



Tableau 1 : Principaux indices climatiques globaux, leur nom français et anglais et références clés sur l'analyse des cycles

<b>Indice climatique – nom français</b> <i>nom anglais</i>	<b>Références</b>
<b>ENSO</b> – Oscillation australe El Niño <i>El Niño Southern Oscillation</i>	(Amarasekera <i>et al.</i> , 1997, Diaz <i>et al.</i> , 2001, Kiem et Franks, 2001, Torrence et Webster, 1999)
<b>PNA</b> – Oscillation pacifique nord-américaine <i>Pacific North America</i>	(Minobe et Mantua, 1999)
<b>NAO</b> – Oscillation nord-atlantique <i>North Atlantic Oscillation</i>	(Appenzeller <i>et al.</i> , 1998, Hurrell, 1995b, Wallace, 2000)
<b>NAM</b> – Mode annulaire de l'hémisphère nord <i>Northern Hemisphere annular mode</i>	(Thompson et Wallace, 2000, 2001)
<b>AO</b> – Oscillation arctique <i>Arctic Oscillation</i>	(Thompson et Wallace, 1998)
<b>AMO</b> – Oscillation atlantique multi-décennale <i>Atlantic Multidecadal Oscillation</i>	(Enfield <i>et al.</i> , 2001)

courantes : en Europe la relation avec la NAO a été observée à maintes reprises (dans les Alpes : Chapron *et al.*, 2002, en Écosse : Cooper *et al.*, 2000, en Finlande : Holopainen *et al.*, Sous presse) et dans l'Arctique canadien, avec l'AMO (Lamoureux *et al.*, 2006). Il est à noter que pour toutes ces études, le traceur choisi concerne les propriétés des varves, souvent leur épaisseur, avec une résolution annuelle. Pour les sédiments estuariens et marins, les traceurs sont nettement plus variés, mais à des échelles séculaires à millénaires : les propriétés physiques telles que la susceptibilité magnétique et la densité, mais aussi des analyses géochimiques (c.g., Debret *et al.*, 2007, Konikov *et al.*, 2007, Patterson *et al.*, 2007, Skilbeck *et al.*, 2005). L'étude de Debret *et al.* (2007) est à souligner pour la diversité de ses indicateurs (la susceptibilité magnétique, la densité, le % de débris d'icebergs délestés, la granulométrie, la couleur des sédiments, le contenu pollinique et des analyses géochimiques et isotopiques) menant à l'évidence d'un cycle de 1500 dans l'Atlantique Nord à l'aide des ondelettes. Néanmoins, à la rencontre des échelles temporelles holocène

et récente, des transformées de Fourier ont récemment été utilisées sur des séries obtenues par la micro-fluorescence-X (XRF) et ont permis de détecter des cycles d'origine solaire au cours des derniers millénaires dans les sédiments de la mer Méditerranée (Gennari *et al.*, Sous presse). La paléoclimatologie est en voie de s'adapter à cette approche statistique avancée qui utilise des séries à haute résolution combinée à l'analyse en ondelettes, procurant donc une approche robuste pour étudier des séries sédimentaires à l'échelle décennale à inter-annuelle. Néanmoins, les analyses sédimentaires plus traditionnelles (granulométrie, susceptibilité magnétique, contenus en carbone et azote, imagerie tomographique, spectrophotométrie, etc.) ont toujours un rôle essentiel à jouer pour la caractérisation des unités sédimentaires et la comparaison des carottes.

En conséquence, la combinaison de l'analyse des cyclicités à l'aide des ondelettes avec des séries de XRF a un grand potentiel de documentation du régime sédimentaire naturel et de distinction des traces de certaines activités humaines sur le régime sédimentaire. La construction des barrages est-elle parmi les activités humaines qui pourront être discriminée du contexte naturel de fond dans par une série sédimentaire ?

#### 1.4 Le cas de l'impact des barrages sur le régime sédimentaire

Les impacts sédimentologiques du harnachement d'une rivière ont été reconnus à plusieurs reprises en partant du cycle du carbone dans les sédiments du réservoir (Bates *et al.*, 2008), en incluant des études des sédiments en suspension en aval de la structure (Meybeck et Vörösmarty, 2005), les propriétés physiques des sédiments transportés dans les estuaires et fjords (Schafer *et al.*, 1983, Smittenberg *et al.*, 2005) et les impacts morphodynamiques sur les deltas (Syvitski et Saito, 2007). Toutefois, peu d'études de l'impact des barrages dépassent l'échelle du bassin-versant, même si des études réalisées à

l'échelle globale stipulent que le captage de sédiments dans les réservoirs des barrages représentent une cause majeure de la réduction des flux sédimentologiques des continents vers les océans (Walling, 2006) et que des impacts sur la zone côtière ont été soulevés (Vörösmarty *et al.*, 2003).

Dans le cas de la mesure de l'impact des barrages par la sédimentologie, le problème majeur réside dans le site de carottage de la série sédimentaire. Il s'agit d'avoir une série relativement homogène, signifiant une déposition continue et non perturbée (critère d'homogénéité) et plus de trouver une combinaison étendue temporelle/méthode de datation permettant d'identifier des événements à l'échelle multi-séculaire et même inter-annuelle. Les séries de sédiments lacustres ou marins ont un potentiel certains pour répondre à ces critères et ainsi mesurer l'influence de l'implantation d'un barrage. Or, les sédiments du bassin de rétention doivent être éliminés en raison des perturbations liées à la mise en eau, alors que les sédiments marins sont généralement situés hors de la zone d'influence des barrages. Certains hydro-systèmes possèdent un bassin naturel en aval de l'ouvrage de rétention, dont les enregistrements peuvent documenter l'impact des barrages (c.g., Guyard *et al.*, 2007). Néanmoins, la zone de transition entre le bassin-versant et les conditions purement marines, la zone du large proximal, a un bon potentiel d'enregistrement à la fois des changements d'utilisation du sol et du contexte antérieur naturel et pourrait combler l'absence d'enregistrement d'un bassin fluvial en aval de l'ouvrage. Ce site de carottage a été peu exploré pour être mis en lien avec des événements continentaux et mérite d'être considéré plus attentivement.

Finalement, pour réaliser l'identification d'un nouveau forçage provenant du bassin-versant dans une série sédimentologique, dans le cas présent l'implantation d'un barrage, il faudrait au préalable s'assurer que les variations climatiques naturelles des décennies

antérieures à l'ajout du forçage ont été enregistrées dans ladite carotte (carotte sous influence directe du bassin-versant). Pour ce faire, il est essentiel de s'assurer que la carotte est représentative du contexte régional de variations naturelles du régime sédimentaire. Ceci peut être réalisé par l'utilisation de séries témoins (sans influence directe du bassin-versant) qui décriront ces variations naturelles avant et après la date d'initiation du forçage. Cette approche multi-carottes devrait permettre de distinguer les effets de l'activité humaine des variations naturelles.

### 1.5 Objectifs

À la lumière de ces considérations, il est indéniable que la combinaison de plusieurs séries sédimentaires à sédimentation homogène, non perturbées et datées avec précision, d'analyses à haute résolution et de l'analyse spectrale montre un bon potentiel pour documenter à la fois le régime sédimentaire naturel et les impacts de l'activité humaine. Toutefois, la description de l'influence des barrages dans la zone proximale au large n'a été que peu réalisée dans les études passées. La présente étude vise donc à distinguer la sédimentation naturelle récente des impacts des barrages construits sur la rivière Saint-Marguerite dans la région de Sept-Îles, golfe du Saint-Laurent à l'aide de plusieurs carottes sédimentaires datées. Il s'agira 1) d'identifier les meilleurs traceurs de la variabilité sédimentaire parmi les différentes variables mesurées, 2) d'en décrire les variations sur l'étendue permise par les modèles d'âge, ensuite 3) de réaliser l'analyse spectrale en ondelette et enfin 4) de comparer les résultats entre les carottes et avec les bases de données hydro-météorologiques historiques afin de distinguer les composantes naturelles et anthropiques d'un régime hydro-sédimentaire naturel (carottes témoins : archipel de

Sept-Îles, ouest du delta de la rivière Moisie) et modifié par l'implantation de barrages (carotte avec traitement : baie de Sainte-Marguerite).

Ce mémoire contient d'abord l'article scientifique qui sera soumis sous peu à la revue *Marine Geology*, concernant deux carottes en particulier, suivi d'une discussion générale et d'une conclusion. Dans les annexes 1 à 6, se trouvent la localisation de toutes les carottes récoltées dans le cadre de cette étude, les feuilles de suivi (*logbook*) et de description au laboratoire des cinq carottes sous-échantillonnées, des précisions méthodologiques et des résultats supplémentaires.

## 2 Article préparé pour *Marine Geology*

High-resolution multi-proxy sedimentological records of recent climate fluctuations and river damming in the Sept-Îles area (Gulf of St. Lawrence, Canada)

Ursule Boyer-Villemaine<sup>a</sup>, Guillaume St-Onge<sup>a</sup>, Pascal Bernatchez<sup>b</sup>, Patrick Lajeunesse<sup>c</sup>, Jacques Labrie<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER) & Centre de recherche en géochimie et géodynamique GEOTOP - Université du Québec à Rimouski, 310, Allée des Ursulines, C.P. 3300, Rimouski, Québec, Canada, G5L 3A1

<sup>b</sup>Chaire de recherche du Québec en géoscience côtière, Centre d'Études Nordiques & Département de Biologie, Chimie et Géographie - Université du Québec à Rimouski, 300, Allée des Ursulines, C.P. 3300, succ. A, Rimouski, Québec, Canada, G5L 3A1

<sup>c</sup>Centre d'études nordiques & Département de géographie - Université Laval, Québec, Québec, Canada, G1V 0A6

\*Corresponding author: Ursule Boyer-Villemaine, Département de Chimie, Biologie et Géographie - Université du Québec à Rimouski, 300, Allée des Ursulines, C.P. 3300, succ. A, Rimouski, Québec, Canada, G5L 3A1, Tel.: +1(418)723-1986 # 1364, Fax.: +1(418)724-1525

E-mail address : [ursule.boyer-villemaine@uqar.qc.ca](mailto:ursule.boyer-villemaine@uqar.qc.ca)

Manuscript submitted to *Marine Geology*, xx xxx xxxx

## 2.1 Abstract<sup>1</sup>

In the last few centuries, climatic and land-use changes have modified the sedimentary regime of coastal areas. A multiproxy approach was performed on two sediment box cores sampled in the NW Gulf of St. Lawrence in order to better understand the impacts of recent climatic or land-use changes in the proximal offshore zone. Multibeam and seismic surveys allowed for the careful selection of coring sites. The chronology of the cores was established by <sup>210</sup>Pb measurements and confirms that the sediments are recent (last 370 years). Quantification of the lithological variations in the cores was performed using 1) stratigraphic markers and grain size measurements, 2) high-resolution micro-fluorescence-X (XRF), and 3) physical and magnetic tracers. The identification of historical events, such as a major flood of the Moisie and Sainte-Marguerite rivers in 1966, supports the validity of the chronologies. In addition, grain size measurements allowed the identification of a major flood around AD 1844 ± 4 years, whereas a drastic decrease in high frequency grain size variations and in the median grain size (d50) occurred around AD ~1900, highlighting the impact of the SM1 dam construction on the Sainte-Marguerite River in the early 1900's. Other high frequency sedimentological variations have been investigated by wavelet analysis and compared with historical climatic time series. NAO-like periods (2-6, 6-8, 8-12, 12-16, 18-22, 30-35, 40 and 60-80 years) and patterns have been uncovered and suggest a relationship between the Gulf of St. Lawrence sedimentary regime and climatic oscillations.

*Keywords: Land-use change, climatic change, marine sedimentation, river damming impact, spectral analysis, North Atlantic Oscillation, Gulf of St. Lawrence*

---

<sup>1</sup> Pour les besoins du mémoire, la hiérarchisation de l'article est intégrée à celle du mémoire. Ce détail sera ajusté pour la soumission finale de l'article.

## 2.2 Introduction

Impacts of dam construction on the carbon cycle and sedimentary fluxes have been internationally recognized (Bates *et al.*, 2008) and the changes in flow regime and suspended material variations have been documented in many major fluvial systems (e.g., Meybeck et Vörösmarty, 2005). However, deciphering the impacts of recent hydro-climatic changes from those of dam construction on the sedimentary regime of coastal and open water environments appears to be problematic as the analysis of well-dated (e.g.,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$ ) sediments also reveals the influence of other human activities such as deforestation, intensive agriculture and industrial & urban development in the sedimentary regime of coastal and open water environments (e.g., Chagué-Goff *et al.*, 2000, Cundy *et al.*, 2003, Huguet *et al.*, 2007). Moreover, the absence of sedimentary records prior to the filling of dam reservoirs limits the reconstruction of the natural background (pre-industrial or climate-driven sedimentary regime) over which the local anthropogenic pressure (dam construction) can be applied.

In regional studies, an effective procedure to derive the natural climate variability of an area is to use wavelet analysis (2-D spectral analysis) (e.g., Kumar et Foufoula-Georgiou, 1997, Torrence et Compo, 1998)<sup>2</sup> in order to compare the most common climatic oscillation indexes (e.g., North Atlantic oscillation, NAO, Appenzeller *et al.*, 1998) with regional paleo-environmental records of tree rings (e.g., Gray *et al.*, 2004, Klvana *et al.*, 2004) and sediments (e.g., Debret *et al.*, 2007, Lamoureux *et al.*, 2006). At the inter-annual- to decadal-scale, comparing the wavelet analysis results of hydro-meteorological historical data (e.g., Assani *et al.*, 2008, Coulibaly, 2006, Drago et Boxall, 2002) with

---

<sup>2</sup> Pour les besoins du mémoire, la bibliographie de l'article est intégrée à celle du mémoire et donc en français, y compris les marqueurs de relation entre les auteurs. Ce détail sera ajusté pour la soumission finale de l'article.



climatic indexes allowed some significant progress in the understanding of regional climate forcing. Combining traditional sedimentological methods and recent very high-resolution methods, such as X-ray micro-fluorescence (e.g., ITRAX<sup>TM</sup> XRF core scanner) with its 100  $\mu\text{m}$  downcore resolution (Croudace *et al.*, 2006, Guyard *et al.*, 2007, Thomson *et al.*, 2006), with wavelet analysis can be a powerful tool for deciphering anthropogenic and natural influences (Kalicki *et al.*, 2008). Using such a combination of sedimentary records sampled in the coastal/proximal offshore catchment area of a dammed river and using an undisturbed sediment record as a witness should thus allow to accurately reconstruct a natural sedimentological background, as well as the dam-induced sedimentological variations at the inter-annual- to decadal-scale.

The St. Lawrence Estuary and Gulf have been influenced by important climatic and land-use changes in the last few centuries (e.g., Bernatchez *et al.*, 2008, St-Onge *et al.*, 2003), affecting the whole sedimentary balance: from highly increased or highly decreased coastal erosion processes (Bernatchez et Dubois, 2004, Bernatchez et Dubois, 2008, Gagné *et al.*, accepted), to enhanced hypoxic conditions (Thibodeau *et al.*, 2006), and to changes in the sedimentary regime following the construction of hydro-power dam (Hart et Long, 1990). In this paper, we report on the recent sedimentological variations in the Sept-Îles area, NW Gulf of St. Lawrence, through a combined use of very high-resolution sedimentological tracers and wavelet analysis in order to describe and discuss the natural variability of the sedimentary regime from AD 1636 to present in relationship with the hydro-climatic variations and the impact of dam construction along the Sainte-Marguerite River.

## 2.3 Study area and physical setting

### 2.3.1 General setting

The Sept-Îles area (50°00'N/66°15'W) is located in the NW Gulf of St. Lawrence, Eastern Canada (figure 2). The 45 km<sup>2</sup> bay of Sept-Îles opens on seven rocky islands of a few hundred meters in diameter (Loncarevic *et al.*, 1990). The coastal zone is characterized by an important Holocene deltaic complex built by the coalescence of Sainte-Marguerite and Moisie river deltas separated by the rocky Pointe Noire (Dredge, 1983). The coastline mainly consists of beach terraces and some rocky coasts around the islands. The dammed Sainte-Marguerite and natural Moisie river watersheds are 6191 km<sup>2</sup> and 1922.5 km<sup>2</sup>, respectively (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2003a, b). The Sainte-Marguerite River estuary is partially closed by a simple spit system (Lessard et Dubois, 1984) and the mean daily discharge was 133 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> between AD 1937 and AD 1987 (Water Surveys of Canada, 2006). The Moisie River estuary is a prograding delta with a double spit system (Dubois et Briard, 1980). The mean discharge was 412 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> between AD 1965 and AD 2006 (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2003a). Offshore, the water depths range between 5 and 213 m, gradually increasing to over 300 m towards the Laurentian Channel, a submerged U-shaped valley located in the middle of the St. Lawrence Estuary and Gulf system (Nota et Loring, 1964).

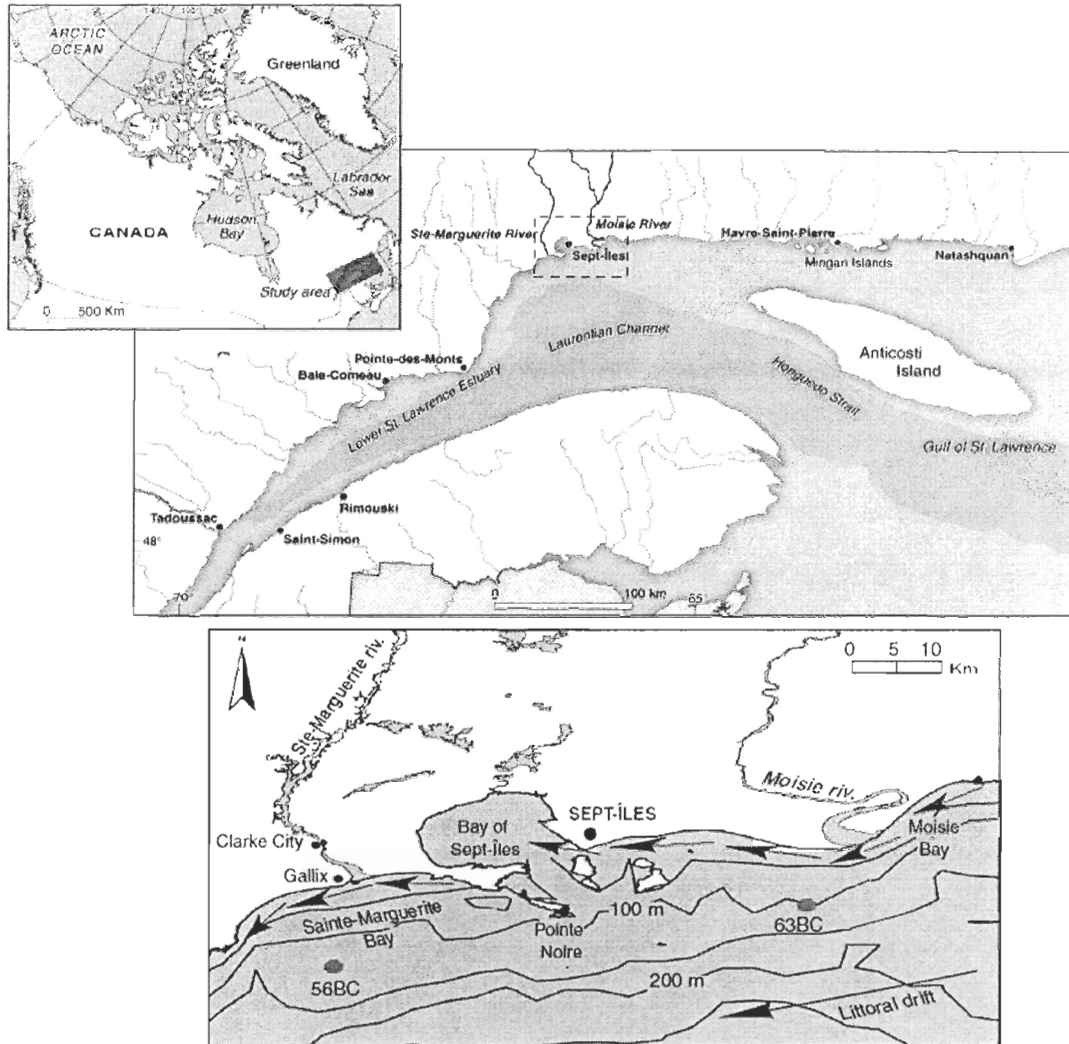


Figure 2 : Location of the Sept-Îles area (Gulf of St. Lawrence), and sampling of cores 56BC and 63BC. Also illustrated are the localities mentioned in the text. Solid black arrows represent the primary and secondary littoral drift directions.<sup>3</sup>

### 2.3.2 Oceanographic and climatic setting

The tides are mixed semi-diurnal with a mean range of 2.3 m (Canadian Hydrographic Service, 2007). Waters are influenced by the cold and salty Labrador current, which enters by the Belle-Isle Strait, and then flows south-westward parallel to the north shore towards the head of the Gulf. It also produces the main NE to SW littoral drift (Centre Saint-

<sup>3</sup> Pour les besoins du mémoire, la numérotation des figures est intégrée à celle du mémoire. Ce détail sera ajusté pour la soumission finale de l'article.

Laurent, 1996, Lessard et Dubois, 1984). In the opposite direction, the St. Lawrence River outlets in the St. Lawrence Estuary and delivers warmer and brackish waters into the Gulf. Many secondary drifts are found around the islands of the Sept-Îles archipelago, forming a complex hydro-dynamical system (Dubois et Briard, 1984). During wintertime, the ice shelf and ice-foot influence the coastal hydrodynamics (Bernatchez et Dubois, 2004, Moign, 1972), but waters are ice-free during summer.

#### Geological and sedimentological setting

The coast and the proximal offshore zone of the Sept-Îles area (ca. 10-15 km) sit on Precambrian and Cambrian igneous and metamorphic rocks of the Grenville province that have been intruded 540 Ma ago, forming the Sept-Îles intrusive suite (SIIS), a mafic layered intrusion made of anorthosite, gabbros, monzogabbros and other Fe-Ti oxide rocks (Guillou-Frottier *et al.*, 1995, Higgins, 2005, Higgins et van Breemen, 1998). Further offshore, the Canadian Shield meets with the monoclinial St. Lawrence platform made of Palaeozoic sedimentary rocks (Pinet *et al.*, 2008). The junction of the two geological terrains shows a post-Ordovician faulting system oriented SW-NE and has been submitted to differential erosion, forming a series of cuesta fronts (Lajeunesse *et al.*, 2007).

The surficial deposits pertain to the last glaciation, deglaciation and postglacial events, the area being a postglacial paleo-delta (Dredge, 1983). During the transgression of the Goldthwait Sea in the area from 11 to 10 ka BP (Dredge, 1983, Dubois, 1979, Præg *et al.*, 1992), the relative sea level reached 130 m (Dredge, 1983, Dubois, 1979). As the regression of the Goldthwait Sea occurred from 10 ka BP (Præg *et al.*, 1992) to 7 ka BP (Lessard et Dubois, 1984), terraces composed of medium to coarse sand and underlain by distal glaciomarine clays were constructed (Dredge, 1983, Dubois, 1979). Iron placers (black titano-magnetite sands) were identified all along the coast from the Sainte-Marguerite

bay to the Moisie delta (e.g., Dulieux, 1912, Habbae, 1992, Hein *et al.*, 1993, Laverdière, 1955). The actual coastline configuration of the Sept-Îles - Moisie area was inherited around 5 ka BP, but its original position was a few kilometres more offshore (Lessard et Dubois, 1984). Then, decreasing isostatic rebound and sedimentary budget initiated a phase of westward littoral transport, which still persists under the action of the littoral drift. Offshore, the sediment thickness ranges between 10 and 80 m (after Hein *et al.*, 1993). From the oldest to the youngest, five distinct stratigraphic units were previously recognized in the area from seismo-stratigraphy and coring: 1) till 2) glaciomarine ice-proximal sand and mud 3) glaciomarine ice-distal mud 4) paraglacial deltaic sand and mud 5) postglacial mud, sand and gravel lag (Hein *et al.*, 1993, Josenhans et Lehman, 1999, St-Onge *et al.*, Sous presse, Syvitski, 1993, Syvitski et Praeg, 1989). The sedimentation rate decreases exponentially seawards from 0.70 cm/yr near the head of the Laurentian Channel to 0.04 cm/yr in the Gulf (Smith et Schafer, 1999), whereas Lajeunesse *et al.* (2007) reported a recent average sedimentation rate of 0.14 cm/yr in the Sept-Îles archipelago. Today, sandy sediments eroded from the coastline along the Moisie River delta are transported offshore to deeper basins through channel and channel-levee systems (Lajeunesse *et al.*, 2007).

### 2.3.3 Settlement and dam history

Human settlement in Clarke City, Gallix and Sept-Îles emerged with the fishery and wood industry around 1850 (Frenette, 1996). The iron ore deposits industry brought a second wave of settlement in the 1950's and is still operating in the area. The three locations form the present city of Sept-Îles with a current population of 26,000 people (Ministère des affaires municipales et des régions du Québec, 2005). The wood, iron-ore

and maritime transport industries have been important in the economy of the region (Frenette, 1996), but also influenced the geochemical properties of the sediments in the bay of Sept-Îles (Belles-Iles *et al.*, 2003).

Three dams (SM1, SM2, SM3) were built along the Sainte-Marguerite River for hydroelectricity, SM1 and SM2 are owned by Gulf Power Cie. and SM3 is owned by Hydro-Québec (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2003b). The power production started in 1906 at SM1, in 1951 at SM2 and in 2001 at SM3. The environmental effects of the first two dams are not documented in detail, but the SM3 reservoir flooding was carefully monitored. A reduction of 76 % of the annual mean flow, down to  $36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , was measured after the flooding of SM3 in 1998 (Corfa *et al.*, 2001, Messier et Therrien, 2001, 2002). No dams were constructed along the Moisie River.

## 2.4 Methods

### 2.4.1 Coring

Cores COR0602-056BC and COR0602-063BC (hereinafter referred to as cores 56BC and 63BC) were collected on board the R/V Coriolis II in 2006. The coring sites were selected based on the available chirp profiles (EdgeTech X-Star 2.0, 4.5 to 6 kHz) recorded on board the R/V Coriolis II, following the criterions of 1) a neighbouring geomorphology as homogeneous and flat as possible and 2) an undisturbed fine grained sedimentation (figure 3). Core 56BC was sampled in front of the Sainte-Marguerite River estuary, whereas core 63BC was collected west of the Moisie River delta at a site influenced by the longshore drift (figure 2 and 3, table 2).

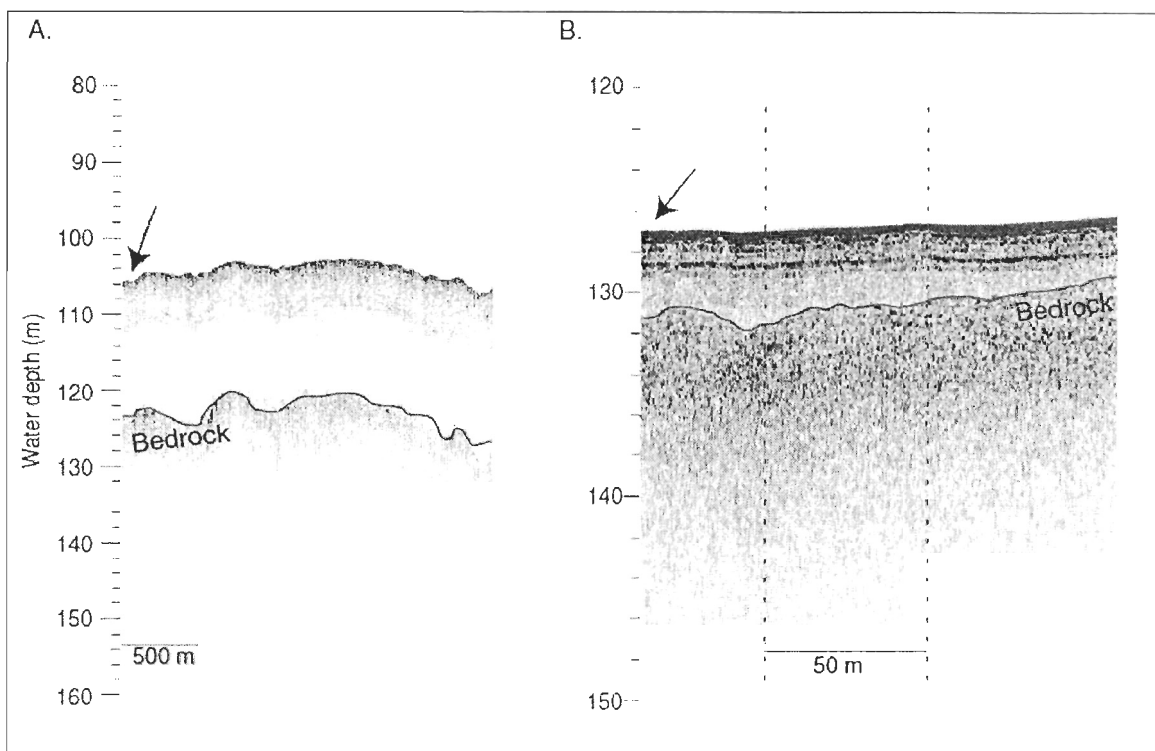


Figure 3 : Sub-bottom chirp profiles for the cores A) 56BC and B) 63BC.

Tableau 2 : Coordinates of cores 56BC and 63BC<sup>4</sup>

Core	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Depth (m)	Length (m)
COR0602-56BC	50.040	66.535	108	35.5
COR0602-63BC	50.416	66.268	133	37.0

#### 2.4.2 Continuous measurements

The wet bulk density was measured on board by gamma ray attenuation using a GEOTEK™ Multi Sensor Core Logger at 0.5 cm intervals (e.g., St-Onge *et al.*, 2007, Weber *et al.*, 1997). In the laboratory, the cores were scanned using a CAT-scan (Computerized axial tomography) at the INRS-ETE in Quebec City for the identification of sedimentary structures and for the extraction of the CT number profiles (e.g., Crémer *et al.*, 2002, De Montety *et al.*, 2003, St-Onge *et al.*, 2007). A CT number primarily reflects

<sup>4</sup> Pour les besoins du mémoire, les tableaux de l'article sont intégrés à ceux du mémoire et s'intitule donc « tableau » en français plutôt que « table ». Ce détail sera ajusté pour la soumission finale de l'article.

changes in density, but also changes in mineralogy, grain size and organic matter content (e.g., Boespflug *et al.*, 1994).

The cores were then split, described and photographed using a SmartCIS™ core scanner (e.g., St-Onge *et al.*, 2007). The diffuse spectral reflectance was measured using a hand-held X-rite DTP22 digital swatchbook spectrophotometer at 0.5 cm intervals. The reflectance data was converted in the L\*, a\*, b\* color space of the *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE). L\* values range from 0 (black) to 100 (white), a\* is a green to red scale (-60 to +60), whereas b\* is a blue to yellow scale (-60 to +60). In addition, the low-field volumetric magnetic susceptibility (k) was measured at 0.5 cm intervals using a Bartington point sensor mounted on the MSCL.

Micro-fluorescence-X (XRF) measurements were also carried out at the INRS-ETE using an ITRAX™ core scanner with a 100 µm downcore resolution and a one second counting time to determine the relative concentration of more than 23 elements (Al, Si, Ti, K, Rb, Ca, Cl, S, Mn, Fe, P, Zn, Br, Zr, Sr, Ga, Ta, As, Se, V, W, Y, Ar), together with the counting of the coherent (Coh) and incoherent (Inc) collisions (e.g., Croudace *et al.*, 2006, Guyard *et al.*, 2007, Rothwell *et al.*, 2006, St-Onge *et al.*, 2007, Thomson *et al.*, 2006). The ITRAX™ core scanner also provides a positive X-ray image at the same resolution.

### 2.4.3 Grain size

Grain size measurements (0.04 to 2000 µm) were performed at 0.5 cm intervals using a Beckman Coulter™ LS13320 laser sizer. Prior to their analysis, the sediments were diluted into a Calgon solution (sodium hexametaphosphate) and shaken at least 3 hours using a in-house rotator, then submitted to an ultrasound bath for ten minutes (Matthews, 1991) and finally sieved at 2 mm. The results of at least five runs were averaged. The



GRADISTAT software (Blott et Pye, 2001) was used to extract the parameters of the grain size distributions. The presented results were calculated using the geometrical method of the moments as suggested by Blott and Pye (2001).

#### 2.4.4 Dating and chronology

Sedimentation rates for both cores were derived using the  $^{210}\text{Pb}$  activity of dried and crushed sediments determined by alpha spectrometry of the daughter  $^{210}\text{Po}$  at the GEOTOP research centre (Zhang, 2000). The sedimentation rate (SR) is obtained through the slope of a linear regression between the  $\text{Ln } (^{210}\text{Pb}_{\text{excess}})$ , which was calculated by subtracting the supported  $^{210}\text{Pb}$  determined visually on the activity vs depth graph ( $r^2 > 0.98$  in both cores). The  $^{210}\text{Pb}$  dating method is of common use for dating series up to 400 years if the sediment is homogeneous (e.g., Liu *et al.*, 2007, Smittenberg *et al.*, 2005), despite exceeding the common rule of five times the isotopic half-life, which allows a  $\sim 100$  years range based on the 22.3 years  $^{210}\text{Pb}$  half-life. The age models were nonetheless restricted to the topmost homogeneous sedimentological unit of each core.

#### 2.4.5 Historical data

The AD 1914 to AD 2006 precipitation data were obtained from Environment Canada online climatological database (Environment Canada, 2007) for the Natashquan meteorological station (figure 2), located 360 km eastward of Sept-Îles (same latitude), also in a cold maritime climate. The scale of this study being at the inter-annual to decadal variability, the Sept-Îles meteorological data was insufficient due to discontinuous and short series (AD 1944 to AD 2002). However, the covariation is visually obvious between the Natashquan and Sept-Îles data (figure 4), and the regression coefficients increase with longer periods, with 0.51 for a 1-yr smooth and 0.53 for a 3-yr smooth. This indicates that

the Natashquan series is suitable for long-term comparison with the Sept-Îles meteorological conditions. The daily river flows of the Moisie River were downloaded from the Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) web site (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2003a), whereas those of the Sainte-Marguerite River were extracted from the HYDAT CD-Rom (Water Surveys of Canada, 2006). The Moisie River flows range from AD 1965 to AD 2002, whereas the Sainte-Marguerite River covers AD 1937 to AD 1987. The winter North Atlantic oscillation (NAO) index from Cook et al. (2002) was downloaded via the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) website, covering AD 1400 to AD 2001, but used from AD 1637 to AD 2001 according to the oldest sedimentological series.

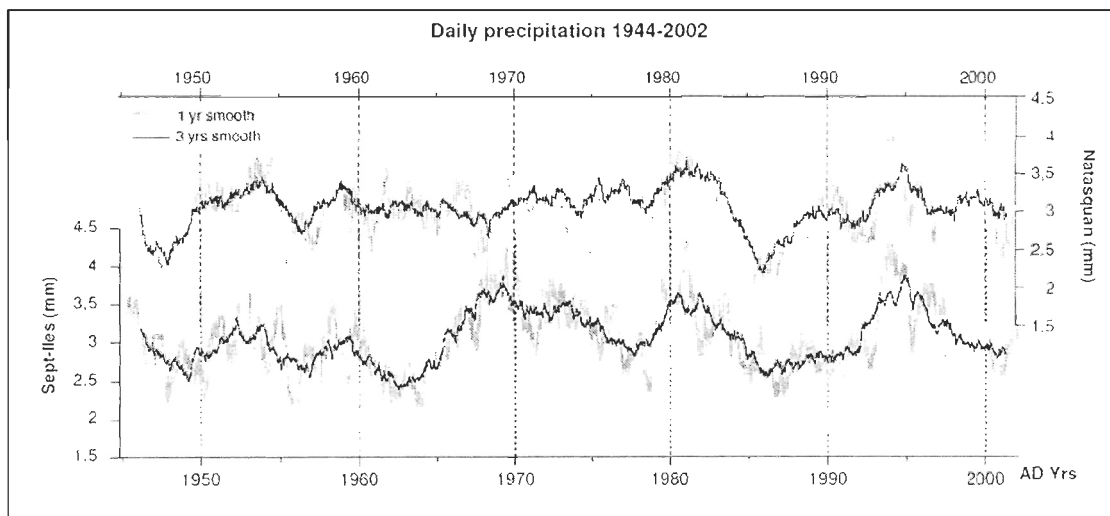


Figure 4: Daily precipitations in Sept-Îles and Natashquan meteorological stations (Environment Canada, 2007)

#### 2.4.6 Principal component analysis on XRF data

In order to distinguish which combination of elements represents the most variance in the data throughout both cores, a principal component analysis (PCA) was performed on the XRF data using the R software v.2.6.2. The dataset was chosen for its very high-resolution (100  $\mu\text{m}$ ). The XRF dataset is composed of 25 sedimentological variables against

time in each core. Depending on the age model, the number of observations is either 2500 or 3350, giving 1 data point per 0.083333 yr and 1 data point per 0.11 yr for cores 56BC and 63BC, respectively. Two elements were initially discarded (Al and V) because they were too close to the detection limit. In addition, if slightly significant ( $r > 0.10$ ), a linear trend was removed prior to analysis.

#### 2.4.7 Wavelet analysis

Wavelet analysis was performed in order to identify possible oscillations or cycles in the sedimentary data. As the traditional Fast Fourier Transforms (FFTs) offers a good possibility for uncovering the periods of recurrent cycles, the wavelet analysis increases in popularity because it allows to assess the evolution and behaviour of the cycles through time (e.g., Guyodo *et al.*, 2000, Torrence et Compo, 1998).

The inputs were: 1) the first principal component (PC1) of the XRF data of the two cores, simplified to one data point per 0.16667 yr and one data point per 0.22 yr, respectively for cores 56BC and 63BC; 2) the winter NAO index from Cook *et al.* (2002) at a one year resolution and 3) the monthly total precipitations (mm) in Natashquan at one data point per 2 months, to match the sedimentary series resolution.

The wavelet analysis was computed with the MATLAB 7.4.1 wavelet toolbox 4.0 (Continuous wavelet 1-D) and reported with the 95 % confidence level cone of influence and a 95 % confidence level power spectrum, both following the wavelet coherence (WTC) test suggested by Torrence and Compo (1998), but adapted for the real Morlet wavelet. The Morlet wavelet is a stable sinusoidal wave modulated by a Gaussian signal, and is often used in sedimentology (e.g., Debret *et al.*, 2007, Lamourcux *et al.*, 2006). The significant periods were also validated using fast Fourier transforms (FFT) processed by Analyseries

2.0.4 (Paillard *et al.*, 1996) using a Bartlett window with a 95 % confidence level. In addition, the interpretation has been produced regarding two criteria common in the description of wavelet series (c.g., Appenzeller *et al.*, 1998) and plotted to ease the analysis: 1) positive and negative phases, which refer to a maintained period over or under the mean signal, and 2) the coherence of the signal, which refers to a stable wavelet pattern of cyclic activity (ideally significant regarding its power spectrum) during a certain period.

## 2.5 Results

### 2.5.1 Core 56BC

Core 56BC was collected in the Baie Sainte-Marguerite, 12 km from the coast, some 1 or 2 km westward of the mouth of the Sainte-Marguerite river, downstream of the littoral drift. This core is 35.5 cm long and primarily composed of olive gray muddy sand, with darker mottles in the top 4 cm (figure 5a, table 3). Two distinct lithological units are observed in this core. The bottom unit (1) is observed from 35.5 to 29 cm and is composed of very poorly sorted (sorting  $< 3 \mu\text{m}$ ) clayey silt with sand. In this basal unit, the tomographic intensity, magnetic susceptibility, density,  $L^*$  and  $a^*$  decrease upcore, whereas the  $d_{50}$  and Fe content increase upcore. The transition to the overlying unit is gradual and the top unit is homogenous over 25 cm. The top unit (2) is a muddy sand composed of a coarser mean grain size and is also very poorly sorted.

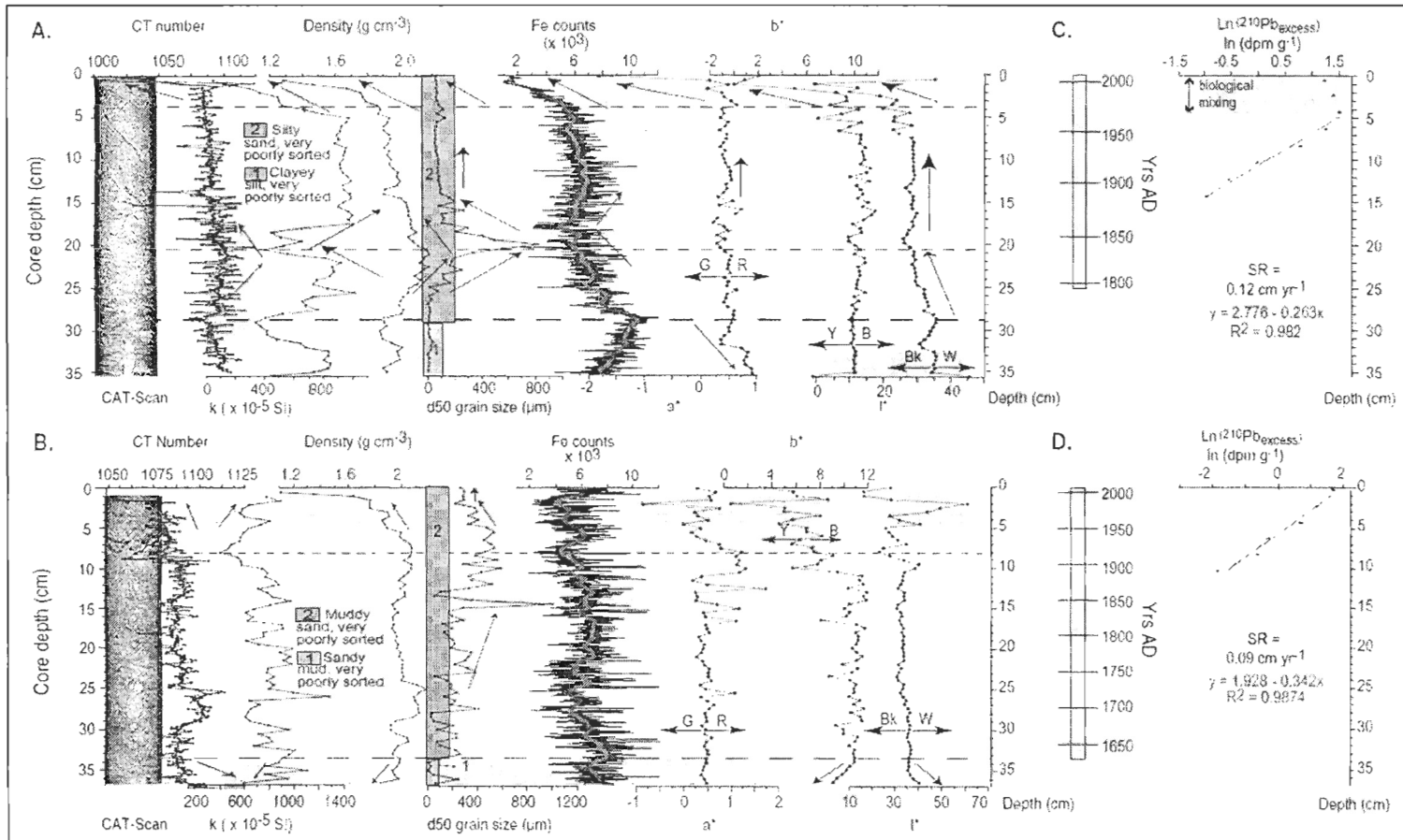


Figure 5 : Physical, geochemical and sedimentological properties of cores A) 56BC and B) 63BC. From left to right: CAT-Scan image and derived CT number, magnetic susceptibility ( $k$ ), density,  $d_{50}$ , Fe content (relative counts) and  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $L^*$ . Also illustrated are the  $^{210}\text{Pb}$  activity and derived sedimentation rate for cores C) 56BC and D) 63BC.

A major feature in unit 2 is a peak in the d<sub>50</sub> (833 μm) observed at 20 cm. It is synchronous with a maximum in density (2.18 g/cm<sup>3</sup>) and CT number (1123), a minimum in magnetic susceptibility (413 to 658 x 10<sup>5</sup> SI), L\* (28.96) and Fe counts (2124 counts), as well as a stabilization point in L\* (the slope of the linear trend diminishes from 0.78 from 20 to 28.5 cm to 0.11 from 4 to 20 cm). A second feature is a double peak in the d<sub>50</sub> observed at 4 and 5 cm (116.1 μm and 123.3 μm, respectively). Finally, most parameters decrease sharply above 4 cm.

Tableau 3 : Mean, sorting, and sand, silt, clay content of cores 56BC and 63BC

		Core			
		56BC		63BC	
		(71)		(74)	
	(n)	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2
Mean	(μm)	11.1	94.8	39.4	152.1
Sorting	(μm)	4.4	5.4	7.7	6.7
Sand	(%)	9.3	56.9	0 to 60	67.8
Silt	(%)	72.0	37.4	52.6	27
Clay	(%)	18.8	5.7	9 to 21	5.2

### 2.5.2 Core 63BC

Core 63BC (figure 5b, table 3), collected ~ 10 km SW from the Moisie River delta, is generally composed of olive gray muddy sand with no trace of local mixing, nor sedimentological structures. Nonetheless, below 33.5 cm, the sediment becomes finer and lighter in color as notably illustrated by the mean grain size, as well as the L\* and b\* profiles. This depth marks the sharp transition between the basal (1) and upper (2) lithological units. Unit 1 is characterized by a highly variable and very poorly sorted grain size, dominated by silt, but with a variable sand and clay content. The upper unit (2) is coarser and very poorly sorted. No major trend is observed in this unit, except for the d<sub>50</sub> which increases upward. Smaller amplitude variations are however observed in the upper 8

cm where the CT number (1090 to 1070), density (2.07 to 1.11 g/cm<sup>3</sup>) and d50 (537.1 to 264.3 μm) decrease upward while magnetic susceptibility increases (406 to 903 ×10<sup>-5</sup> SI) upward. Finally, the most striking feature of this core is the major peak recorded at 14.5 cm in the d50 (1010 μm). Similarly, two peaks in the d50 are observed at 3 and 4 cm.

### 2.5.3 Chronology

In core 56BC, the <sup>210</sup>Pb activity is constant in the upper 4 cm (figure 5c) and highlights the mixing zone created by bioturbation. Below this mixing zone, the sedimentation rate is 0.12 cm/yr. This sedimentation rate was only applied to the upper 25 cm (unit 2) with respect to limits of the Pb-210 dating method. In core 63 BC, biological mixing is not observed (figure 5d) and the sedimentation rate is 0.09 cm/yr. Again, the chronology was limited to the upper lithological unit (unit 2).

### 2.5.4 Grain size, historical water flows and precipitations

The first striking feature of the normalized d50 record of both cores (figure 6) is the peak observed in AD 1840 in core 56BC and in AD 1847 in core 63BC. Secondly, close to AD 1900, the d50 profile flattens in core 56BC, while it continues to oscillate in core 63BC. Thirdly, the only two events recorded after AD 1900 in core 56BC are two peaks, dated at AD 1965 and AD 1972 (figure 7). Similarly, mirror variations in core 63BC, dated at AD 1963 and AD 1974, are also observed in the d50. Note that even though the amplitude of these peaks appears small, they correspond to significant changes in the grain size distribution (from 60 to 127 μm).

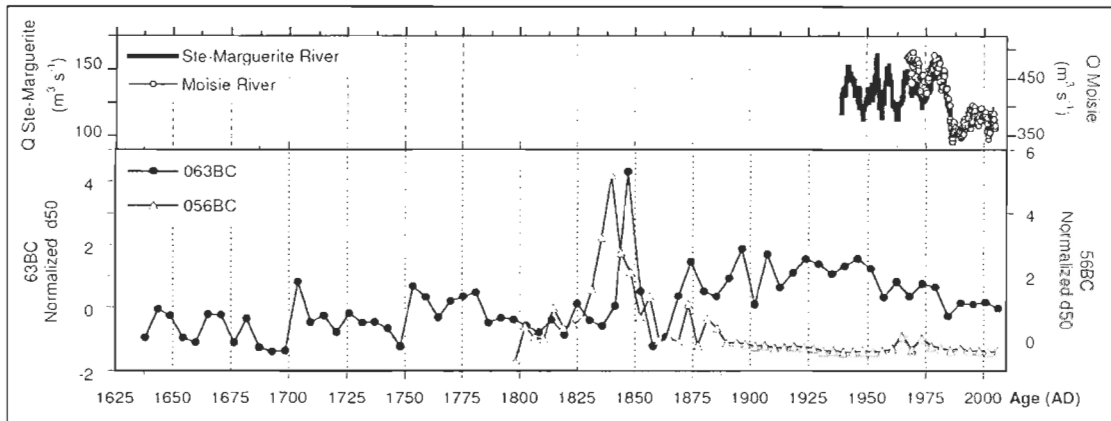


Figure 6 : Comparison of river flows and grain size. Temporal series of A) historical water flows ( $Q$ , 3-yr smooth) of Moisie (black) and Sainte-Marguerite Rivers (gray), and B) normalized  $d_{50}$  for cores 56BC (empty triangles) and 63BC (black dots). Note the peak in the  $d_{50}$  dated around  $1844 \pm 4$  yrs, the flattening of the  $d_{50}$  curve around 1900 for core 56BC, and the two peaks in the  $d_{50}$  dated in 1962 and 1972 in core 56BC. See also figure 7.

For historical flow records, the  $d_{99.5}$  events for the Moisie and Sainte-Marguerite datasets reveal the same two maximum flow events: May 29 to June 6, 1966, with a maximum daily flow of  $3820 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  and  $1570 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , respectively for Moisie and Sainte-Marguerite, and May 19 to 26, 1976, with a maximum daily flow of  $3200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  and  $1480 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , respectively (figure 7). As for precipitations in Sept-Îles, the analysis of diluvian rains performed by Bernatchez et al. (2008) revealed that the most important events were November 3, 1966, with 114.60 mm and September 3, 1972, with 98.60 mm. May 29, 1966, with 36.80 mm and March 28, 1976, with 38.60 mm also correspond to major events. The November 1966 event corresponds the Moisie Gully-flow event, during which the Moisie River carried a large volume of sediment (Dredge et Thom, 1976). The first  $d_{50}$  maximum peak observed in both cores is thus very close to the timing of the largest historical meteorological event in 1966 either in June (after flow) or November (after rain). The second peak is either synchronous with the flow event of June 1972 or to the flow event of 1976. This concomitant timing strongly supports the validity of both core age



models, as the difference for the second event is within dating uncertainties, considering that both age models were statistically strongly reliable ( $r^2 > 0.98$ ).

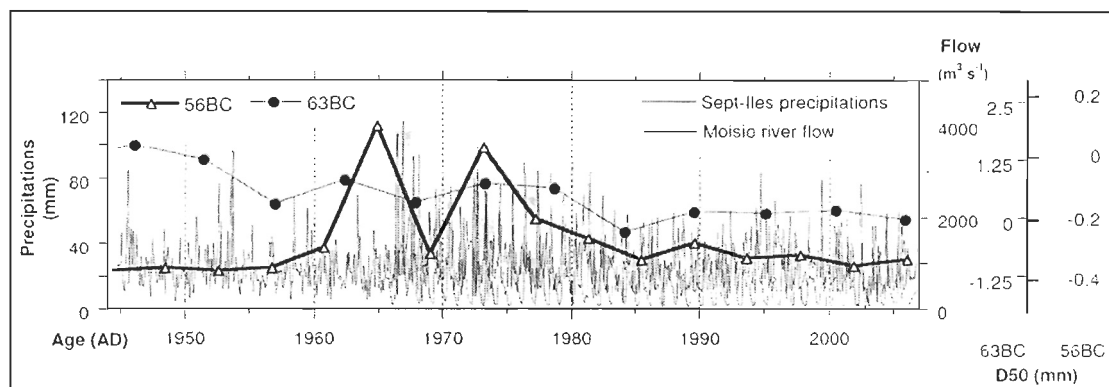


Figure 7 : Precipitations in Sept-Îles (monthly maximum, black line), Moisie River flow (monthly maximum, blue line) and grain size (normalized d50) of cores 56BC (black dots) and 63BC (empty triangles) from 1944 to 2006 (see also Figure 5). Note the two peaks in the d50, dated in 1962 and 1972 in core 56BC, the Moisie gully-flow event of November 3<sup>rd</sup>, 1966 seen in precipitations and June 2<sup>nd</sup>, 1966 flow event. The second maximum precipitation event was September 4<sup>th</sup>, 1972, as the second maximum flow event was June, 2<sup>nd</sup>, 1976. See also figure 6.

### 2.5.5 Principal component analysis (PCA)

In an open environment like the offshore proximal zone, where marine, coastal and terrestrial processes influence the chemistry, choosing a single element to assess environmental and/or climatic changes might not reflect the complexity of the environment. On the other hand, the PCA offers the possibility of deciphering the main components of the variability of the large XRF dataset.

In both cores (figure 8, table 4), the Fe, Ca and K loadings are positive and the highest in the first principal component (PC1) axis ( $> 0.31$  for core 56BC;  $> 0.32$  for core 63BC) and close to zero in the second component (PC2) axis ( $< 0.1$  for both cores). This indicates that the variability of these elements is expressed mostly in the PC1 and has no significant correlation with the PC2. The variations captured by the PC1 is thus an interesting parameter for further spectral analysis.

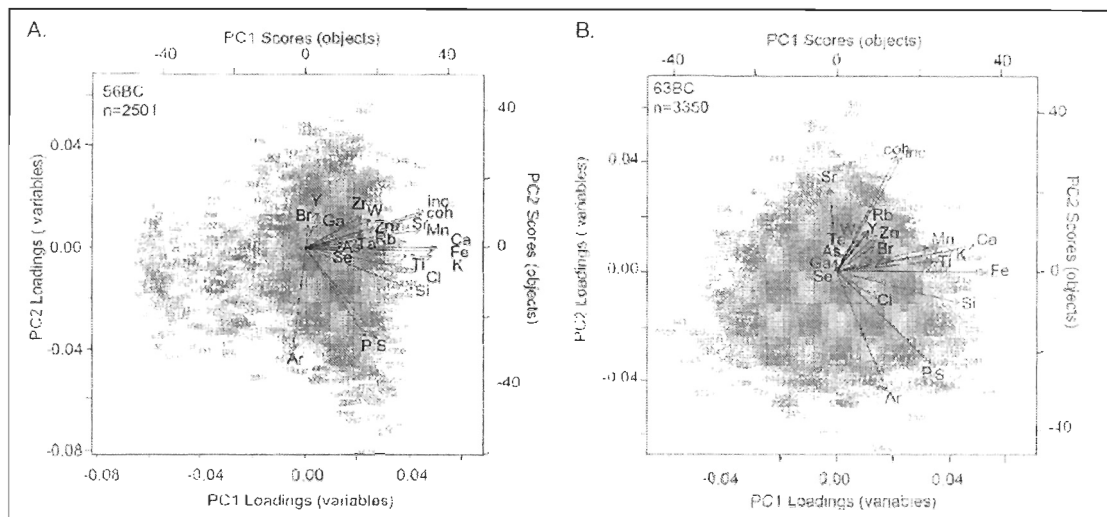


Figure 8 : Principal component analysis (PCA) of the XRF data for cores A) 56BC and B) 63BC. Smaller gray numbers are depth (mm). The closer to zero in a PC axis, the more correlated is the variable with this principal component.

Tableau 4 : Loadings of the most important elements and eigenvalues of the principal component 1 and 2 for cores 56BC and 63BC

Loadings	Core			
	56BC		63BC	
	PC1	PC2	PC1	PC2
Fe	0.315	-0.014	0.387	0.096
Ca	0.324	-0.001	0.424	-0.003
K	0.313	-0.048	0.329	0.077
P	0.149	-0.463	0.266	-0.332
S	0.176	-0.467	0.279	-0.350
Sr	0.283	0.096	-0.020	0.298
Ar	-0.031	-0.537	0.142	-0.439
<b>Eigenvalues</b>	<b>0.353</b>	<b>0.085</b>	<b>0.149</b>	<b>0.097</b>

## 2.5.6 Wavelet analysis

### 2.5.6.1 56BC

The wavelet analysis on the PC1 of core 56BC (figure 9a, table 5) reveals an asymmetrical pattern: a pronounced power decrease at the end of the 1890's, particularly in the periods under 33 years, divides the series between a “before” and “after” phase. The longer periods are present throughout the series, especially in the 30-35, 40, 60-80 and 95-

105 years-bands. The “before” stage shows shorter stable periods in the 2-6, 6-8, 9-12, 12-16, 16-22 and 26-28 years-bands. A positive coherent phase lasts from the beginning of the series (AD 1798) to around AD 1900, except for two negative events around AD 1825 and AD 1860. Then follows an incoherent phase persisting during the 20<sup>th</sup> century, except for a short negative phase from AD 1950 to AD 1970. Finally, the data since AD 1970 should be interpreted with caution because it notably corresponds to the bioturbation mixing zone identified with the <sup>210</sup>Pb data (figure 5c).

#### *2.5.6.2 63BC*

In the PC1 of core 63BC (figure 9b, table 5), the significant periods are especially obvious and stable in the lower frequency bands (16-22, 30-35, 40 years-band). In the 16-22, 30-35, and 40 years-bands, a decrease in the spectral power is observed between AD 1800 and AD 1875 and from AD 1920 to AD 1975. An enhancement of the 16-24 years-band is observed from AD 1695 to AD 1800 and then from AD 1875 to AD 1925. Multiple significant stable periods were identified in the 2-6, 6-8, 8-12, 12-16, 16-24, 26-28, 30-35, 40-50, 60-80 and 95-105 years-bands. As a whole, the time interval between AD 1695 is coherent and positive. Negative phases are observed from AD 1695 to AD 1740, AD 1850 to AD 1920 and AD 1950 to the present, except for two positive short stages around AD 1865-1875 and AD 1905-1910. Another coherent phase but with stable mean (neither positive nor negative trend) is found from AD 1735 to AD 1800. From AD 1835 to AD 1850 there are active periods are under 16 years-cycles. Finally, from AD 1800 to AD 1850 and AD 1920 to AD 1950, no significant periods were recorded.

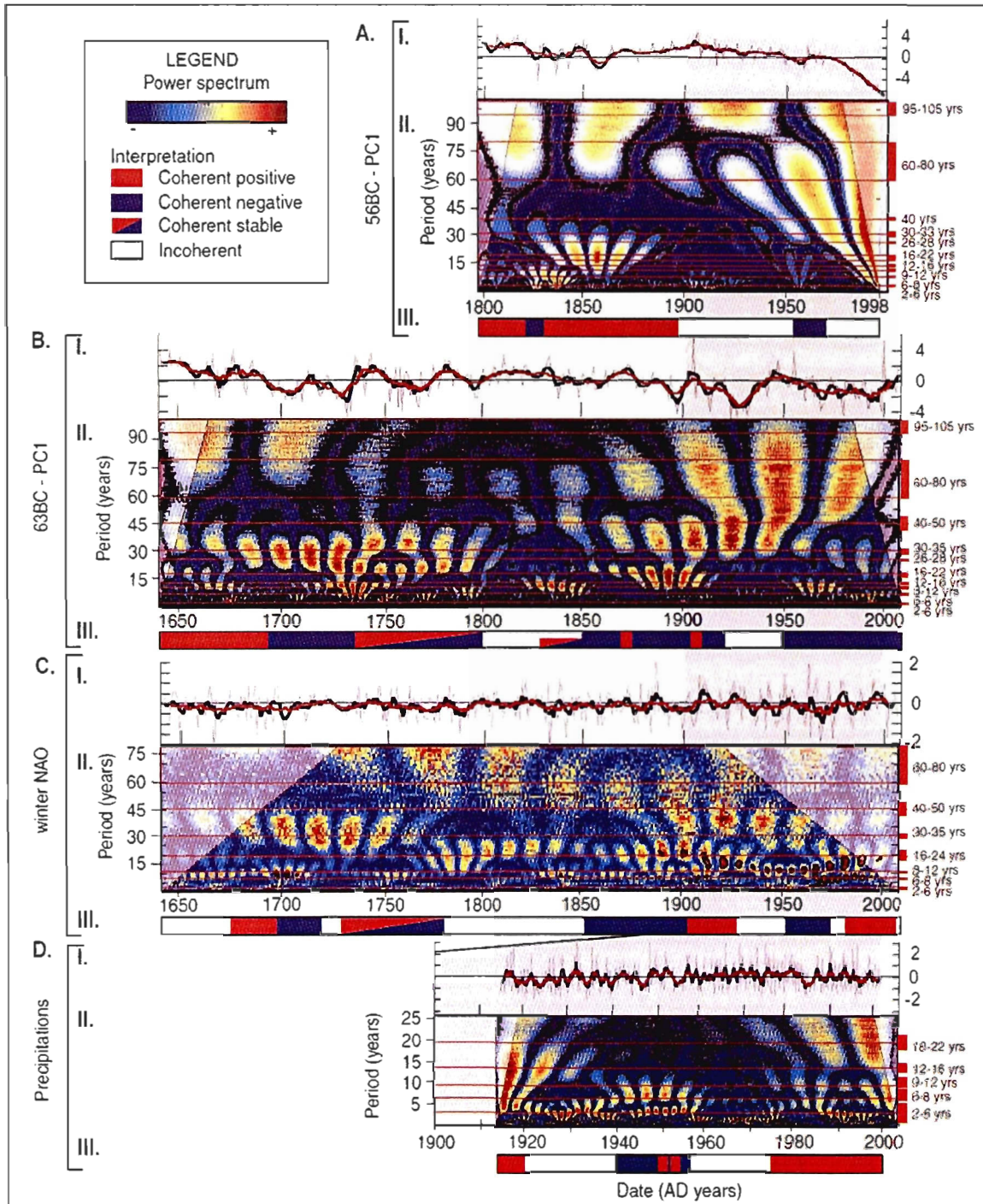


Figure 9 : Wavelet analysis of cores A) 56BC, B) 63BC, C) winter NAO index (from Cook *et al.*, 2002) and D) Monthly total precipitations in Natashquan (Québec). I. is the normalized signal used for the wavelet (grey line is the signal, black line is a 7-point smooth and red line is a 15 point smooth), II. is the power spectrum, III is the interpretation of coherence (colour) vs incoherence (no colour), positive (red) and negative (blue) phases. The interpretation of the winter NAO is after the interpretation of Appenzeller *et al* (1998). The white corners are outside the 95% confidence level cone of influence. The black circles illustrate the 95% confidence level on the power spectra.

Tableau 5 : Significant and stable periods identified by the wavelet analysis (Morlet) of the PC1 of cores 56BC and 63BC, the winter NAO (Cook et. al, 2002) and the monthly precipitations in Natashquan (Québec)

	Data			
	56BC-PC1	63BC-PC1	win NAO	Precip.
Range	1798-1998	1637-2006	1637-2001	1914-2006
Resolution	1/0.17 yr	1/0.22 yr	1 yr	1/0.17 yrs
n	1250	1675	364	294
<b>Spectral band</b>				
2-6 yrs	2.46;2.67			1.02
	3.28		Out of range	3.28
	4.28;4.92	4.87-4.92	5.685	
6-8 yrs	6.56	6.35-6.59	6.4	6.56
		7.31-7.38	7.38-7.813	
8-12 yrs		8.66-8.77		
	9.6-9.85	9.85	9.25-9.85	
12-16 yrs	10.66;11.08	10.15;11.08	12.3	10.00;12.41
	13.13	12.99	13.57	13.13
	14.8	14.13		14
16-22 yrs	16	16.95		
	19.69-21.33	19.69;21.12;22.2	19.69;21.51	18;22.1
26-28 yrs	26.05	28.43		
30-35 yrs	30.07;33	30.8;32;339;34.87	34.525	
40-50 yrs	39.38	39.38	39.38	
		46.03		Out of range
60-80 yrs		67		
	78.79	78.79	77.035-78.79	

### 2.5.7 Historical records (NAO and precipitations)

The spectral analysis performed on the winter NAO from Cook et al. (2002) (figure 9c, table 5) revealed a stable pattern in the 30-35, 40-50 and 60-80 years-bands, except for a period between AD 1775 to AD 1850. Also, around AD 1775, the spectral power increases in the 16-24 years-band, corresponding to stable periods that become even more significant after AD 1900. The periods revealed for the winter NAO are mainly in the 2-6, 6-8, 8-12, 16-24, 30-50 and 60-80 years-bands. The interpretation of the coherent and incoherent phases of the NAO was taken from Appenzeller et al. (1998): incoherent until AD 1675, between AD 1720 and AD 1730, AD 1775 to AD 1870, AD 1930 to AD 1960; positive from AD 1695 to AD 1720, AD 1900 to AD 1930 and from AD 1975 to present;

coherent negative from AD 1675 to AD 1695, AD 1850 to AD 1900 and AD 1950 to AD 1975; coherent stable from AD 1730 to AD 1775.

The precipitation dataset at Natashquan (figure 9d, tableau 5) illustrates stable periods in the 2-6, 6-8, 9-12, 12-16 and 18-22 years-bands. The pattern is positive before 1920, less coherent between AD 1920 and AD 1940, negative from AD 1940 to AD 1958, except for AD 1952 and AD 1954, then indicating an incoherent phase from AD 1958 to 1977 and finally a positive phase from AD 1977 to the present.

## 2.6 Discussion

### 2.6.1 Consequences of dam construction on proximal offshore sedimentary records

A flattening in all the parameters and reduced d50 values beginning in the late AD 1890's in core 56BC (offshore the Sainte-Marguerite River estuary), as opposed to core 63BC where the relative variations remain stable, suggests a major land-use change. In estuaries, the modal diameter is highly correlated with hydrological events, especially the spring freshet (Schäfer *et al.*, 1983). Moreover, the fact that a major shift in the grain size distribution is observed offshore a river that was dammed (Sainte-Marguerite River) for the production of hydro-electricity, but not in the nearby natural Moisie River, suggests that the construction of dams on the Sainte-Marguerite River may have played a role in the sedimentary regime at its mouth. Indeed, the construction of the 15-meters-high structure of the SM1 power station began between AD 1901 and AD 1906: the rights of hydro-electric production of the Sainte-Marguerite River were bought in AD 1901 by the Clarke brothers (Frenette, 1996), and the SM1 power station began producing hydro-electricity in AD 1906 (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2003b).

Superimposed on the d50 shift in core 56BC around AD ~1900, a sharp decrease in the short periods (<30 years cycles) observed in the power spectrum of the PC1 is observed. The short periods nearly disappear, but the longer periods (30-50 years cycles) are still present. When compared to conditions in core 63BC and to the NAO, this pattern does not show any evidence of stable cyclic influenced sedimentation after AD ~1900. Also, placers of black sand, composed of iron-rich titanomagnetite, are well-known in the coastal zone of the Baie Sainte-Marguerite and the Sainte-Marguerite River estuary (Habbauc, 1992, Hein *et al.*, 1993) and explain the abundance of Fe in the core sediments. The stable Fe content thus traces stable terrestrial inputs and, at the same time, is strongly correlated to this spectral result through PC1 loadings. This implies that the detrital inputs are still abundant but not characterized by cyclic variations after AD ~1900. The reduction of cyclic-led terrestrial inputs is thus coincident with the construction of the SM1 hydroelectric dam and could again illustrate the influence of the dam on the sedimentary regime at mouth of the Sainte-Marguerite River. In addition, the concomitant timing of these changes with the sedimentary records is once again supporting the validity of both core age models.

Finally, the flattening of the d50 and the reduction of the mean grain size after AD ~1900 most likely result from flow regulation, which reduces the flow dependence on seasonality (i.e. reduction of the spring freshet) (Lajoie *et al.*, 2006) and thus the transport and deposition of coarser particles. Around the world, some authors have observed finer grain size or higher clay content in lake sediment downstream of a dam on the Danube (Klaver *et al.*, 2007) and in the coastal bay of the Mea Kong after the construction of its last dam (Hungspreugs *et al.*, 2002). This is also consistent with the absence of certain grain size modes that have already been observed as consequences of dam construction (Hart et

Long, 1990) in the Outardes River estuary, in the Lower St. Lawrence Estuary. Our results thus suggest that the construction of the SM1 dam modified the natural sedimentary regime up to 12 km offshore by reducing the mean grain size, flattening the d50 and removing the natural high frequency variations. However, it seems that the impact of the first dam construction masks the potential effects of the other dam constructions, thus revealing an important bias in the recent environmental impact studies trying to decipher the natural and anthropogenic causes in such long-term modified environments.

### 2.6.2 Possible influence of the NAO and other natural cycles on the sedimentation in the Sept-Îles area.

The winter NAO index is based on the difference of atmospheric pressure between Stykkishólmur/Reykjavik (Iceland) and Lisbon (Portugal) from December to March (Hurrell, 1995). The positive (vs. negative) NAO index corresponds to a shift of the North Atlantic centre of action towards Europe (vs. westwards) (Cassou *et al.*, 2004). Over north-eastern North America, the maintained positive (vs. negative) NAO periods were previously associated with colder (vs. warmer) air, strong (vs. weak) winds, positive anomaly (vs. negative) in precipitations and large (vs. small) ice cover on the Labrador Shelf (Marshall *et al.*, 2001, Petric, 2007). The NAO affects the climate and balance of the St. Lawrence system: the eastward shift during sustained positive NAO (vs. negative) phase has been associated with the enhancement (vs. reduction) of the St. Lawrence storm track, bringing more (vs. less) snow fall (Hartley et Keables, 1998), and with warm and salty (vs. cold and fresh) waters in the Gulf of St. Lawrence (Petric, 2007). Still, this relationship is not stationary. For example, Coulibaly (2006) revealed that in the 2-6 years-band, the winter NAO was only significantly correlated with winter precipitations over Eastern Canada after AD 1940. This complicates the investigation of temporal correlation with



sedimentary records, which explains that few sedimentological studies have identified a NAO-sediment covariation in North America. It has only recently been proposed using sea surface reconstruction analysis over in the Arctic (Eastern Ballin Island) (Fréchette *et al.*, 2008) and in the St. Lawrence Estuary using spectral analysis on CAT-Scan data (St-Onge et Long, *Sous presse*).

However, our results support this possible influence of the NAO over the Gulf of St. Lawrence. Indeed, the spectral analysis revealed similar patterns and periods in cores 56BC and 63BC, and in the winter NAO index. Significant periods uncovered in cores 56BC or 63BC and present in the NAO winter index are 5.5-5.7, 6.4-6.6, 7.3-7.8, 9.2-9.9, 10-12, 18-22, 30-35, 40-50 and 60-80 years (figure 9 and tableau 5). The 95-105 years-cycle was also identified, but is not significant from a statistical point of view due to the length of the series (200-370 years), whereas the absence of periods under 2 years is due to the annual resolution of the winter NAO index. Also, each core being on its own chronology, this cyclic activity cannot only be due to random non-linear variation.

Most of these periods are consistent with periods previously associated with the NAO around 5, 7, 9-11 and 12-14 years (Appenzeller *et al.*, 1998, Berger, 2008, Cook *et al.*, 2002) and with periods previously identified in the sediments from the St. Lawrence Estuary (St-Onge et Long, *Sous presse*), the Alps (Chapron *et al.*, 2002) and in Scotland (Cooper *et al.*, 2000, O'Sullivan *et al.*, 2002). Also, the 60-80 years-cycle found in our records is consistent with periods associated with the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) periods (e.g., D'Arrigo *et al.*, 2003, Enfield *et al.*, 2001, Fortin et Lamoureux, 2008, Lamoureux *et al.*, 2006), itself related to the NAO (Gray *et al.*, 2004).

In addition, the wavelet patterns of core 63BC and the winter NAO show a striking resemblance to the main features highlighted by Appenzeller et al. (1998) (c.f. the color bars in figure 9c). Chronologically, the similarities are the following:

- 1) the late 17<sup>th</sup> century to the end of the 18<sup>th</sup> century corresponds to a coherent period, switching from positive to negative around AD 1695, then from AD ~1720-1740 to AD 1775-1800, coherent but neither positive nor negative;
- 2) the incoherent period between AD 1800 and AD 1850 corresponds to lower spectral intensity in the 30-35, 40 and 60-80 years-bands while only shorter periods (< 30 years) appear to be coherent;
- 3) the turn of the 20<sup>th</sup> century (AD 1875-1925) is especially significant in the 16-24 years-band and corresponds to a regime shift of the NAO (Berger, 2008);
- 4) the same cyclic appearance is observed in the 6-8 and 9-12 years-bands during the last 350 years.

Consequently, our results support a wide-scope of influence of the NAO on the whole Gulf of St. Lawrence system, from climate to sediments.

However, which transfer mechanisms would be implied ? At the regional scale, it has been recognized that the precipitations are one of the most important process influenced by the NAO (Hurrell *et al.*, 2003). Previous hydrological studies in the St. Lawrence watershed have exposed the relationship between the NAO, precipitations (Coulibaly, 2006) and river flows in Eastern Canada (Anctil et Coulibaly, 2004), but the Gulf of St. Lawrence was always underrepresented in these studies. Therefore, the spectral analysis was performed on the monthly precipitations at Natashquan. Our results indicate that significant stable cycles of 6.56, 10-12 and 13 years are observed in the precipitations, the winter NAO index and sedimentological records (figure 9, tableau 4), suggesting a possible

link between the three time series. The sediment-precipitations relationship is also supported by a geomorphological interpretation. The PCA performed on XRF data was closely related to iron content (figure 8, tableau 4), the most abundant element of all. The iron is a terrestrial rock-rich element, a major economic motor of the Sept-Îles area, and the coastal iron-rich placers of Sept-Îles are well-known (c.g. Habbanc, 1992). As illustrated by the extreme event of the Moisie gully-flow (Dredge et Thom, 1976) and the crucial importance of winter and spring precipitation events in coastal erosion (Bernatchez et Dubois, 2008), the precipitations are a credible source-mechanism of iron-rich particles transport from the continent or intertidal zone towards the offshore zone in the Sept-Îles area.

Nonetheless, some residual cycles are not explained by the NAO-precipitations-sediment relationship and other natural cycles are likely to influence the sedimentation of the proximal offshore zone of the Gulf of St. Lawrence, such as solar, tidal and hydrological cycles. For example, periods around 4, 10-12 and 18-22 years were observed in cores 56BC and 63BC. The periods of 10-12 and 18-22 years are similar to the 11 and 22 years sunspot cycles (Mursula *et al.*, 2002, Usoskin et Kovaltsov, 2008). In the vicinity of the Gulf of St. Lawrence, 11 and 22 years-cycles were observed in the porcupine feeding scar cycles of the Bas-St-Laurent region (south shore of the Lower St. Lawrence Estuary) and associated with the sunspot cycles (Kivana *et al.*, 2004). On the other hand, the significant periods of 18-22 years observed in both cores might also comprise the luni-solar tidal cycles of 18.02 and 20.95 years (Treloar, 2002), as the Gulf of St. Lawrence is a tidal system. Moreover, the high spectral power observed in both cores around 4.3-5.0 years could reflect the basic 4.425 perigee tidal cycle (Berger, 2008, Treloar, 2002). Finally, the 13-14 years cyclic activity in our records and precipitations is also similar to the 14-16 years

cycle observed in upper St. Lawrence stream flow fluctuations (Labat, 2006, Pekarova *et al.*, 2003). Pekarova *et al.* (2003) have, at the same time, observed a 20-22 years cycle that is also present in both sedimentary records. This suggests that our proximal offshore sedimentary records have been under the direct influence of hydrological cycles. The 3-years smooth of the Moisie and Sainte-Marguerite river flow curves (figure 6) are in accordance with the general shape of grain size series (d50) of core 63BC, which further supports this interpretation.

In summary, most of the cycles identified in the presented sedimentary records of the Gulf of St. Lawrence suggest a relationship with the NAO, some through the precipitations. However, the relationship is not straightforward as the NAO is itself in interaction with solar, tidal and hydrological influences. A recent key study by Berger (Berger, 2008) highlights these complex interactions. In Europe, NAO-solar-lacustrine sediment interaction (Cooper *et al.*, 2000, Holopainen *et al.*, *Sous presse*) and NAO-river runoff-marine sediment interaction (Bernárdez *et al.*, 2008) have also been uncovered. Deciphering them in the Gulf of St. Lawrence is not in the scope of this study, but the presence of typical cycles contributes to the interpretation that our sediments recorded the NAO influence, directly and indirectly.

## 2.7 Conclusions

A multiproxy approach performed on two sediment box cores sampled in the Sept-Îles area, NW Gulf of St. Lawrence, allowed to decipher the consequences of dam construction and natural climate variability on the sedimentary regime during the last 350 yrs. The d50 of the grain size appears to be a good tracer of the impact of human activity up to 12 km offshore, as a major change occurred around AD 1900 in core 56BC in the Baie Sainte-Marguerite and associated with the construction of the SMI dam along

the Sainte-Marguerite River. Natural climate variability was also recorded by the d50, as a major flood, larger than any in the historical data, was dated at AD  $1844 \pm 4$  yrs. The largest meteorological events (1966, 1972/1976) were also recorded in both cores. The complexity of measuring dam impacts in perturbed environment was also exposed by the absence of signal of the second and third dams in the records.

Wavelet analysis suggests that climatic oscillations, particularly the winter NAO, were recorded in the proximal offshore sediments of undammed Moisie River delta (core 63BC). The wavelet analysis revealed significant periods previously associated with the NAO (2-5, 6-8, 9-12, 12-16, 18-22, 30-35, 40-50, 60-80 years), as well as similar patterns of coherence and incoherence between the NAO and the first principal component of the XRF data. Changes in precipitation, through changes in erosion and sediment transport, is most likely at the base of the NAO/sediment relationship. Finally, this study highlights the potential of very high resolution spectral analysis, especially of the XRF data at 100  $\mu\text{m}$  resolution, for possible reconstruction of climatic index such as the NAO.

## 2.8 References

*C.f.* the end of the thesis.

## 2.9 Acknowledgements

We would like to thank NSERC (Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada) for a scholarship to U. Boyer-Villemare, as well as Discovery and ship time grants to G. St-Onge and P. Lajeunesse. We thank Captn. Robert Noël, the crew and scientists of the COR0503 and COR0602 campaigns on board the R/V Coriolis II. We are also in debt to B. Ghaleb and Christelle Not (GEOTOP) for the  $^{210}\text{Pb}$  measurements and to J.F. Crémer (INRS-ETE) for the ITRAX analyses, as well as F. Barletta, A. Lisé-Pronovost, H. Guyard, H. Gagné, G. Labbé, G. Cauchon-Voyer, V. Gagnon, M.P. St-Onge, and M. Gagné for either help in the

lab or fruitful discussion. Finally, we are grateful to Département de Géographie, Université Laval for the mapping of the St. Lawrence area and to S. Taylor for editing a previous version of the manuscript. This is GEOTOP contribution no. XXX.

## 3 Discussion

### 3.1 Conséquences de la construction d'un barrage dans les sédiments au large proximal

La carotte 56BC été récoltée dans la Baie Sainte-Marguerite à 12 km de la côte à l'ouest de l'embouchure de la rivière Sainte-Marguerite, en aval de la dérive littorale (figure 2). Après AD 1900, le d50 de la taille des grains devient un profil presque plat (figures 6 et 7) alors que l'activité cyclique de haute fréquence (périodes inférieures à 30 ans) disparaît (figure 9a). Dans les carottes 63BC et 58BC, les profils granulométriques présentent des variations d'amplitude constante (figures 5 à 7), alors que l'activité cyclique demeure dans la 63BC (figure 9b). Ceci suggère que la série 56BC ait enregistré les effets d'un changement d'utilisation du territoire dans le bassin-versant de la rivière Sainte-Marguerite. La synchronisation temporelle entre ces changements et la construction du barrage SM1, située entre AD 1901 et AD 1906 (Frenette, 1996), suggèrent une explication. Le contenu constant en fer dans la carotte 56BC (figure 5a) soutient l'abondance des apports détritiques mais non caractérisés par des variations cycliques après AD ~1900. Ces apports ferreux pourraient provenir des placers ferrugineux de sable noir dans la zone côtière de la Baie Sainte-Marguerite et l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite (Habbauc, 1992, Hein *et al.*, 1993). Un mécanisme qui accentue l'aplatissement du profil de la taille des grains sans influencer la composition chimique impliquerait la régulation des débits, qui réduit la crue printanière et ainsi le transport et la déposition des particules grossières, tel

qu'observé à l'embouchure de la rivière (harnachée) aux Outardes (Hart et Long, 1990). Les résultats suggèrent donc que la construction du barrage SM1 a modifié le régime sédimentaire naturel jusqu'à 12 km de la côte par la réduction de la taille moyenne des grains, l'aplatissement du profil du d50 et la retrait des variations naturelles cycliques de haute fréquence. Toutefois, la mesure des impacts environnementaux en milieu perturbé est complexe, comme le souligne l'absence d'événement relié à la construction des barrages SM2 et SM3. Par ailleurs, la concordance temporelle de ces changements avec les changements sédimentologiques et des événements hydro-climatiques historiques avec les pics de taille de grains contribue à soutenir la validité des modèles d'âge des carottes 56BC et 63BC.

### 3.2 Influence possible de la NAO et d'autres cycles naturels sur la sédimentation de la région de Sept-Îles

L'analyse des résultats soutient l'influence de la NAO dans le golfe du Saint-Laurent. L'analyse spectrale révèle des périodes (5.5-5.7, 6.4-6.6, 7.3-7.8, 9.2-9.9, 10-12, 18-22, 30-35, 40-50 et 60-80 ans, figure 9 et tableau 4) similaires dans les carottes 56BC et 63BC, et dans l'indice hivernal de la NAO. Chaque carotte étant sur sa propre chronologie, cette activité cyclique ne peut pas être uniquement due à des variations non-linéaires aléatoires. L'activité cyclique autour de 5, 7, 9-11 et 12-14 ans est cohérente avec la NAO (Appenzeller *et al.*, 1998, Berger, 2008, Cook *et al.*, 2002) et a préalablement été observée dans les sédiments de l'estuaire du Saint-Laurent (St-Onge et Long, Sous presse), dans les Alpes (Chapron *et al.*, 2002) et en Écosse (Cooper *et al.*, 2000, O'Sullivan *et al.*, 2002). L'oscillation multi-décennale atlantique (AMO) (e.g., D'Arrigo *et al.*, 2003, Enfield *et al.*,

2001, Fortin et Lamoureux, 2008, Lamoureux *et al.*, 2006), via le cycle de 60-80 ans trouvé dans nos enregistrements, est elle-même reliée à la NAO (Gray *et al.*, 2004).

L'analyse spectrale fait aussi ressortir des patrons d'ondelettes similaires entre la 63BC et les principaux éléments relevés par Appenzeller *et al.* (1998) (*c.f.* les barres de couleurs dans figure 9c) :

- 1) la fin du 17<sup>e</sup> siècle à la fin du 18<sup>e</sup> siècle correspond à une période cohérente, changeant de la phase positive à la phase négative autour de AD 1695, et ensuite de AD ~1720-1740 à AD 1775-1800, cohérente mais ni positive ni négative;
- 2) la période incohérente entre AD 1800 et AD 1850 correspond à une intensité spectrale inférieure dans les bandes 30-35, 40 et 60-80 ans, alors que seules les courtes périodes (< 30 ans) semblent être cohérentes;
- 3) le tournant du 20<sup>e</sup> siècle, (AD 1875-1925) est spécialement significatif dans les périodes 16-24 ans et correspond à un changement de régime de la NAO (Berger, 2008);
- 4) l'apparence cyclique semble être constante dans les bandes 6-8 et 9-12 ans au cours des derniers 350 ans.

Par ailleurs, les précipitations (Coulibaly, 2006) et les débits des rivières (Anctil et Coulibaly, 2004) du bassin-versant du Saint-Laurent ont déjà été associés à la NAO, ce qui soutient la relation entre la NAO et les sédiments du golfe du Saint-Laurent. L'analyse spectrale réalisée sur les précipitations mensuelles à Natashquan (figure 9d) indique des cycles stables et significatifs de 6.56, 10-12 et 13 ans, également présents dans la NAO hivernale et les séries sédimentaires (figure 9, tableau 5), suggérant un lien possible entre les trois séries temporelles. Les précipitations constituent un mécanisme-source plausible de transport des particules riches en fer du continent vers le milieu marin dans la zone de



Sept-Îles, comme le soutien l'abondance du fer dans la composante principale 1 des données XRF, l'événement extrême du ravin de sulfosion de la rivière Moisie (Dredge et Thom, 1976) et l'importance des événements de pluie hivernale et printanière sur l'érosion côtière (Bernatchez et Dubois, 2008).

Quant aux cycles résiduels non expliqués par la relation NAO-précipitations-sédiment, ils pourraient être le fruit d'interactions complexes entre la NAO et l'activité cyclique du soleil (cycles de 11 et 22 ans des taches solaires (Mursula *et al.*, 2002, Usoskin et Kovaltsov, 2008)) déjà observés dans la région du Bas-Saint-Laurent dans les cicatrices arboricoles (Kivana *et al.*, 2004), et/ou l'activité tidale d'origine luni-solaire (cycles de 18.02 et 20.95 ans (Treloar, 2002)). Les cycles hydrologiques du Saint-Laurent pourraient aussi avoir leur rôle à jouer dans les bandes spectrales de 13-16 ans (Labat, 2006, Pekarova *et al.*, 2003) et 20-22 ans (Pekarova *et al.*, 2003). La forme des séries hydrologiques de Moisie et Sainte-Marguerite lissées à 3 ans est similaire avec la forme du profil de taille des grains (d50) de la carotte 63BC (figure 6) et soutient cette interprétation.

La relation sédiment-NAO n'est pas simple : la NAO est elle-même en interaction avec les influences solaires, tidales et hydrologiques (Berger, 2008), mais elle a été exposée plusieurs fois dans les sédiments en Europe, autant en milieu lacustres (Cooper *et al.*, 2000, Holopainen *et al.*, Sous presse) que marin (Bernárdez *et al.*, 2008). Distinguer ces interactions dans le golfe du Saint-Laurent n'est pas à la portée de la présente étude mais la présence de cycles typiques dans les sédiments contribue à l'interprétation selon laquelle nous avons mesuré l'influence de la NAO, directement et indirectement.

### 3.3 Limites de la méthode

La méthode de l'asymptote utilisant le  $\text{Ln}(^{210}\text{Pb}_{\text{cor.}})$  est souvent utilisée pour dater les sédiments. Par ailleurs, l'hypothèse que le taux de sédimentation est constant peut rarement être validée et constitue une faiblesse générale des études de sédimentologie à l'échelle récente. Plusieurs indicateurs émergeant des présents résultats justifient une bonne confiance dans les modèles d'âge et méritent d'être soulignés. En premier lieu, la coïncidence temporelle fournie par l'approche multi-carottes souligne des éléments correspondants : 1) les débits historiques de AD 1966 et de AD 1976/1972 synchronisés à moins de  $\pm 4$  ans et 2) l'événement de débit majeur évident dans le d50 en AD 1844  $\pm 4$  ans. En second lieu, l'acuité des périodes trouvées dans l'analyse spectrale, basée sur des séries avec leur propre taux de sédimentation, ajoute à la vraisemblance des modèles d'âge. De plus, au plan de la représentativité spatiale, les relevés sismiques assurent une confiance dans l'homogénéité de la surface carottée et ainsi une certaine fiabilité spatiale des échantillons. Par contre, des relevés multifaisceaux gagneraient à accompagner les résultats pour confirmer l'absence d'interactions entre la sédimentation et la géomorphologie sous-marine. En conséquence, malgré des coûts supérieurs, l'approche multi-carottes (réplication avec au moins 2 carottes), devrait être favorisée pour éviter des conclusions hâtives. Dans tous les cas, la multi-méthode de datation isotopique gagnerait à être une procédure standard, comme la combinaison fréquente du  $^{210}\text{Pb}$  avec le  $^{137}\text{Cs}$  (e.g., Bellucci *et al.*, 2007, Lupo *et al.*, 2006, Ndzangou *et al.*, 2005). Du côté de la bioturbation, il faut reconnaître que cet effet peut avoir conduit à une datation sur- ou sous-estimée du sommet d'une série montrant plus de mélange local et induit une certaine erreur. En outre, pour la carotte 63BC, les données de  $^{210}\text{Pb}$  ne montrent pas d'influence marquée de la

bioturbation. De plus, dans les deux carottes, la force statistique des relations ayant servi à établir le modèle ( $r^2 > 0.98$ ) et les arguments ci-haut mentionnés confirment la confiance dans les modèles d'âge.

Enfin, la sédimentologie est une science qui se déroule en de nombreuses étapes et l'effet cumulé des erreurs et de leurs interactions peu avoir introduit un biais supplémentaire à soupeser. Néanmoins, les méthodes les plus à jour ont été utilisées avec précision et attention ; les résultats sont réalistes et fiables, considérant les limites de l'art.

## 4 Conclusions

Cette étude avait pour objectif de décrire l'influence de la construction des barrages sur le régime sédimentaire du large proximal dans la région de Sept-Îles, golfe du Saint-Laurent. D'une part, la reconstitution du contexte naturel a été réalisée et a permis de démontrer une covariation entre l'indice hivernal de l'oscillation nord-atlantique et la variabilité inter-annuelle cyclique de la première composante principale des données XRF, dominée en particulier par le Fer. Les précipitations régionales seraient liées au mécanisme de transfert de cette influence, alors que d'autres cycles, notamment solaires et tidaux, pourraient aussi avoir leur part d'influence et d'interaction sur la variabilité enregistrée dans les séries sédimentaires. D'autre part, les résultats suggèrent fortement l'influence de la construction du barrage SM1 sur la rivière Sainte-Marguerite, entre 1901 et 1906, sur le bilan sédimentaire du large proximal. L'activité cyclique des hautes fréquences (<30 ans) de la première composante principale des données XRF et le d50 de la taille des grains ont été des traceurs sensibles à cette influence.

Plus fondamentalement, cette base de données ouvre quelques avenues de recherche à explorer : 1) des analyses paléontologiques ou palynologiques pour confirmer les tendances observées ou contre-valider la datation des sédiments avec des fonctions de transfert, 2) des statistiques multivariées comme les analyses de redondance ou canoniques pour rehausser la description des similitudes entre le régime sédimentaire et les variations d'indicateurs climatiques, et 3) la réalisation de relevés multifaisceaux autour des sites de carottages pour évaluer avec plus de fermeté la représentativité spatiales des échantillons. Du point de vue appliqué, 1) le carottage en zone du large proximal pour la

mesure de l'impact des barrages sur le régime sédimentaire serait aussi une procédure à exploiter et mérite une attention particulière du point de vue de la gestion des habitats et des études d'impacts environnementales et 2) dans la région à l'étude, l'évaluation de l'évolution du trait de côte en zone littorale à partir des archives historiques gagnerait à être réalisée pour intégrer les mécanismes de transfert sédimentologique du bassin-versant vers la zone du large proximal.

## 5 Références

- Aïssaoui, D. M., McNeill, D. F. et Hurley, N. F., 1993. *Applications of Paleomagnetism to Sedimentary Geology*. Special publication. Society for Sedimentary Geology (SEPM), Tulsa (Oklahoma), 216 pp.
- Amarasekera, K. N., Lee, R. F., Williams, E. R. et Eltahir, E. A. B., 1997. ENSO and the natural variability in the flow of tropical rivers. *Journal of Hydrology*, 200: 24-39.
- Anctil, F. et Coulibaly, P., 2004. Wavelet analysis of the interannual variability in southern Québec streamflow. *Journal of Climate*, 17(1): 163-173.
- Appenzeller, C., Stocker, T. F. et Anklin, M., 1998. North Atlantic oscillation dynamics recorded in greenland ice cores. *Science*, 282(5388): 446-449.
- Assani, A. A., Lajoie, F., Vadnais, M. E. et Beauchamp, G., 2008. Influence of the Arctic oscillation on the interannual variability of precipitation in the Saint-François river watershed (Québec, Canada) as determined by canonical correlation analysis. *Revue des Sciences de l'Eau*, 21(1): 21-33.
- Austin, P., Mackay, A., Palagushkina, O. et Leng, M., 2007. A high-resolution diatom-inferred palaeoconductivity and lake level record of the Aral Sea for the last 1600 yr. *Quaternary Research*, 67(3): 383-393.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. et Palutikof, J. P. (Eds.), 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Belles-Iles, M., Herpell, M. et Bérubé, A., 2003. *Programme décennal de dragage d'entretien des installations portuaires de la compagnie minière IOC à Sept-Îles. Étude d'impact sur*

- l'environnement déposée au ministère de l'Environnement*, Report prepared by GENIVAR for IOC mining company, 84.
- Bellucci, L. G., Frignani, M., Cochran, J. K., Albertazzi, S., Zaggia, L., Cecconi, G. et Hopkins, H., 2007.  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  as chronometers for salt marsh accretion in the Venice Lagoon - links to flooding frequency and climate change. *Journal of Environmental Radioactivity*, 97(2-3): 85-102.
- Berger, W. H., 2008. Solar modulation of the North Atlantic Oscillation: Assisted by the tides? *Quaternary International*, 188(1): 24-30.
- Berger, W. H. et von Rad, U., 2002. Decadal to millennial cyclicity in varves and turbidites from the Arabian Sea: hypothesis of tidal origin. *Global and Planetary Change*, 34(3-4): 313-325.
- Bernárdez, P., González-Álvarez, R., Francés, G., Prego, R., Bárcena, M. A. et Romero, O. E., 2008. Late Holocene history of the rainfall in the NW Iberian peninsula—Evidence from a marine record. *Journal of Marine Systems*, 72(1-4): 366-382.
- Bernatchez, P. et Dubois, J.-M. M., 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire*, 58(1): 45-71.
- Bernatchez, P. et Dubois, J. M. M., 2008. Seasonal quantification of coastal processes and cliff erosion on fine sediment shorelines in a cold temperate climate, north shore of the St. Lawrence maritime estuary, Quebec. *Journal of Coastal Research*, 24(1A): 169-180.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A., 2008. *Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium Ouranos et au FACC, Rimouski, 256 pp.

- Blott, S. J. et Pye, K., 2001. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11): 1237-1248.
- Boespflug, X., Ross, N., Long, B. et Dumais, J. F., 1994. Tomodensitométrie axiale : relation entre l'intensité tomographique et la densité de la matière. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31: 426-424.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I. et Bonani, G., 2001. Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene. *Science*, 294(5549): 2130-2136.
- Bourrin, F., Monaco, A., Aloïsi, J.-C., Sanchez-Cabeza, J.-A., Loli, J., Heussner, S., Durrieu de Madron, X., Jeanty, G., Buscaïl, R. et Saragoni, G., 2007. Last millennia sedimentary record on a micro-tidal, low-accumulation prodelta (Fét NW Mediterranean). *Marine Geology*, 243(1-4): 77-96.
- Canadian Hydrographic Service, C., 2007. *Canadian Tide and Current Tables Volume 2 Gulf of St. Lawrence 2008*. Fisheries and Ocean Canada, Base de données en ligne, <http://www.niveauxdeau.gc.ca/>
- Cassou, C., Terray, L., Hurrell, J. W. et Deser, C., 2004. North Atlantic winter climate regimes: Spatial asymmetry, stationarity with time, and oceanic forcing. *Journal of Climate*, 17(5): 1055-1068.
- Centre d'expertise hydrique du Québec, 2003a. *Débit à la station hydrométrique Moisie 072301*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, , Base de données en ligne, <http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/>



- Centre d'expertise hydrique du Québec, 2003b. *Répertoire des Barrages > Côte-Nord (09)*.  
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, , Base de données en ligne, <http://www.cehq.gouv.qc.ca/barrages>
- Centre Saint-Laurent, 1996. *Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1 : L'écosystème du Saint-Laurent*. "BILAN Saint-Laurent". Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'environnement & Éditions MultiMondes, Montréal, 752 pp.
- Chagué-Goff, C., Nichol, S. L., Jenkinson, A. V. et Heijhuis, H., 2000. Signatures of natural catastrophic events and anthropogenic impact in an estuarine environment, New Zealand. *Marine Geology*, 167(3-4): 285-301.
- Channell, J. E. T., Hodell, D. A., Xuan, C., Mazaud, A. et Stoner, J. S., 2008. Age calibrated relative paleointensity for the last 1.5 Myr at IODP Site U1308 (North Atlantic). *Earth and Planetary Science Letters*, 274(1-2): 59-71.
- Chapron, E., Desmet, M., De Putter, T., Loutre, M. F., Beck, C. et Deconinck, J. F., 2002. Climatic variability in the northwestern Alps, France, as evidenced by 600 years of terrigenous sedimentation in Lake Le Bourget. *The Holocene*, 12(2): 177-185.
- Cook, E. R., D'Arrigo, R. D. et Mann, M. E., 2002. *A well-verified, multiproxy reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation index since AD 1400*, Journal of Climate. NOAA, Base de données en ligne, <http://www.ncdc.noaa.gov/palco/pubs/cook2002/cook2002.html>
- Cooper, M. C., O'Sullivan, P. E. et Shine, A. J., 2000. Climate and solar variability recorded in Holocene laminated sediments - a preliminary assessment. *Quaternary International*, 68-71: 363-371.
- Coulibaly, P., 2006. Spatial and temporal variability of Canadian seasonal precipitation (1900-2000). *Advances in Water Resources*, 29(12): 1846-1865.

- Croudace, I. W., Rindby, A. et Rothwell, R. G., 2006. ITRAX: Description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner. *Geological Society Special Publication*, 51-63.
- Cundy, A. B., Croudace, I. W., Cearreta, A. et Irabien, M. J., 2003. Reconstructing historical trends in metal input in heavily-disturbed, contaminated estuaries: studies from Bilbao, Southampton Water and Sicily. *Applied Geochemistry*, 18(2): 311-325.
- D'Arrigo, R., Buckley, B., Kaplan, S. et Woollett, J., 2003. Interannual to multidecadal modes of labrador climate variability inferred from tree rings. *Climate Dynamics*, 20(2-3): 219-228.
- Diaz, H. F., Hoerling, M. P. et Eischeid, J. K., 2001. ENSO variability, teleconnections and climate change. *International Journal of Climatology*, 21: 1845-1862.
- Drago, A. F. et Boxall, S. R., 2002. Use of the wavelet transform on hydro-meteorological data. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27(32-34): 1387-1399.
- Dredge, L. A., 1983. *Surficial Geology of the Sept-Îles Area, Quebec North Shore*. Memoir 408. Geological Survey of Canada, Ottawa, 40 pp.
- Dredge, L. A. et Thom, B. G., 1976. Development of a gully-flow near Sept-Îles, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13(8): 1145-1151.
- Dubois, J. M. M., 1979. *Environnements quaternaires et évolution postglaciaire d'une zone en émergence en bordure sud du Bouclier Canadien : la moyenne Côte Nord du Saint-Laurent*. Québec, University of Ottawa, Ottawa, 754 pp.
- Dubois, J. M. M. et Briard, M., 1980. Évolution historique du littoral de la Côte Nord du Saint-Laurent, Québec, Canada, *24e congrès international de géographie, Commission de l'environnement côtier*, Shimoda marine Research Center, Tsukuba University, Japon, pp. 15.
- Dubois, J. M. M. et Briard, M., 1984. Évolution historique du littoral de la côte nord du Saint-Laurent, Québec, Canada, *24e Congrès international de géographie*. Commission de l'environnement côtier, Shimoda Marine Research Center, Tsukuba University, Japon.

- Dulieux, E., 1912. *The magnetic sands on the North Shore of the Gulf of St. Lawrence*, 135-159.
- Durant, J. L., Ivushkina, T., MacLaughlin, K., Lukacs, H., Gawel, J., Scim, D. et Hemond, H. F., 2004. Elevated levels of arsenic in the sediments of an urban pond: sources, distribution and water quality impacts. *Water Research*, 38(13): 2989-3000.
- Enfield, D. B., Mestas-Nuñez, A. M. et Trimble, P. J., 2001. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 28(10): 2077-2080.
- Environment Canada, E., 2007. *Climate Data Online*. Government of Canada, Base de données en ligne, [http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada\\_f.html](http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada_f.html)
- Faust, D., Zielhofer, C., Baena Escudero, R. et Diaz del Olmo, F., 2004. High-resolution fluvial record of late Holocene geomorphic change in northern Tunisia: climatic or human impact? *Quaternary Science Reviews*, 23(16-17): 1757-1775.
- Fortin, D. et Lamoureux, S. F., 2008. Multidecadal hydroclimatic variability in northeastern North America since 1550 AD. *Climate Dynamics*: 1-6.
- Fréchette, B., de Vernal, A., Guiot, J., Wolfe, A. P., Miller, G. H., Fredskild, B., Kerwin, M. W. et Richard, P. J. H., 2008. Methodological basis for quantitative reconstruction of air temperature and sunshine from pollen assemblages in Arctic Canada and Greenland. *Quaternary Science Reviews*, 27(11-12): 1197-1216.
- Frenette, P., 1996. *Histoire de la Côte-Nord*. Les régions du Québec, 9. Institut Québécois de Recherche sur la Culture, Québec, 667 pp.
- Gennari, G., Tamburini, F., Ariztegui, D., Hajdas, I. et Spezzaferri, S., Sous presse. Geochemical evidence for high-resolution variations during deposition of the Holocene S1 sapropel on the Cretan Ridge, Eastern Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

- Gray, S. T., Graumlich, L. J., Betancourt, J. L. et Pederson, G. T., 2004. A tree-ring based reconstruction of the Atlantic Multidecadal Oscillation since 1567 AD. *Geophysical Research Letters*, 31(12): 4.
- Guillou-Frottier, L., Mareschal, J. C., Jaupart, C., Gariépy, C., Lapointe, R. et Bienfait, G., 1995. Heat flow variations in the Grenville Province, Canada. *Earth and Planetary Science Letters*, 136(3-4): 447-460.
- Guyard, H., Chapron, E., St-Onge, G., Anselmetti, F. S., Arnaud, F., Magand, O., Francus, P. et Melieres, M. A., 2007. High-altitude varve records of abrupt environmental changes and mining activity over the last 4000 years in the Western French Alps (Lake Bramant, Grandes Rousses Massif). *Quaternary Science Reviews*, 26(19-21): 2644-2660.
- Guyodo, Y., Gaillot, P. et Channell, J. E. T., 2000. Wavelet analysis of relative geomagnetic paleointensity at ODP Site 983. *Earth and Planetary Science Letters*, 184: 109-123.
- Habibane, M., 1992. *Mise en place en bas niveau marin d'un placier sur le delta externe de la rivière Moisie*. M.Sc. Thesis, Université du Québec à Rimouski, Rimouski.
- Hart, B. S. et Long, B. F., 1990. Recent Evolution of the Outardes Estuary, Quebec, Canada - Consequences of Dam Construction on the River. *Sedimentology*, 37(3): 495-507.
- Hartley, S. et Keables, M. J., 1998. Synoptic associations of winter climate and snowfall variability in New England, USA, 1950-1992. *International Journal of Climatology*, 18(3): 281-298.
- Hein, F. J., Syvitski, J. P. M., Dredge, L. A. et Long, B. F., 1993. Quaternary sedimentation and marine placers along the North Shore, Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30: 553-574.
- Higgins, M. D., 2005. A new interpretation of the structure of the Sept Îles Intrusive suite, Canada. *Lithos*, 83(3-4): 199-213.

- Higgins, M. D. et van Breemen, O., 1998. The age of the Sept Iles layered mafic intrusion, Canada: Implications for the late Neoproterozoic Cambrian history of southeastern Canada. *Journal of Geology*, 106(4): 421-431.
- Holopainen, J., Helama, S., Kajander, J., Korhonen, J., Launiainen, J., Nevalinna, H., Reissell, A. et Salonen, V.-P., Sous presse. A multiproxy reconstruction of spring temperatures in south-west Finland since 1750. *Climatic Change*.
- Huguet, C., Smittenberg, R. H., Boer, W., Simminghe Damsté, J. S. et Schouten, S., 2007. Twentieth century proxy records of temperature and soil organic matter input in the Drammensfjord, southern Norway. *Organic Geochemistry*, 38(11): 1838-1849.
- Hungspreugs, M., Utoomprurkpon, W., Sompongchaiyakul, P. et Heunggraksa, W., 2002. Possible impact of dam reservoirs and river diversions on material fluxes to the Gulf of Thailand. *Marine Chemistry*, 79(3-4): 185-191.
- Hurrell, J., 1995. *NAO Index Data, Hurrell (1995)*. Climate Analysis Section, NCAR, Boulder, USA, Base de données en ligne, <http://www.cgdl.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G. et Visbeck, M., 2003. An overview of the North Atlantic Oscillation. *In*: Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G. et Visbeck, M. (Eds.), *The North Atlantic Oscillation Climatic Significance and Environmental Impact*. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 63-79.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. *In*: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.) (Ed.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-18.

- Johnson-Pyrtle, A., Scott, M. R., Laing, T. E. et Smol, J. P., 2000.  $^{137}\text{Cs}$  distribution and geochemistry of Lena River (Siberia) drainage basin lake sediments. *The Science of The Total Environment*, 255(1-3): 145-159.
- Josenhans, H. et Lehman, S., 1999. Late glacial stratigraphy and history of the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 36(8): 1327-1345.
- Kalicki, T., Sauchyk, S., Calderoni, G. et Simakova, G., 2008. Climatic versus human impact on the Holocene sedimentation in river valleys of different order: Examples from the upper Dnieper basin, Belarus. *Quaternary International*, 189(1): 91-105.
- Kalis, A. J., Merkt, J. et Wunderlich, J., 2003. Environmental changes during the Holocene climatic optimum in central Europe - human impact and natural causes. *Quaternary Science Reviews*, 22(1): 33-79.
- Kalugin, I., Daryin, A., Smolyaninova, L., Andreev, A., Diekmann, B. et Khlystov, O., 2007. 800-yr-long records of annual air temperature and precipitation over southern Siberia inferred from Teletskoye Lake sediments. *Quaternary Research*, 67(3): 400-410.
- Kiem, A. S. et Franks, S. W., 2001. On the identification of ENSO induced rainfall and runoff variability: A comparison of methods and indices. *Hydrological Sciences Journal*, 46(7): 715-727.
- Klaver, G., van Os, B., Negrel, P. et Petelet-Giraud, E., 2007. Influence of hydropower dams on the composition of the suspended and riverbank sediments in the Danube. *Environmental Pollution*, 148(3): 718-728.
- Klvaná, I., Bertaux, D. et Cazelles, B., 2004. Porcupine feeding scars and climatic data show ecosystem effects of the solar cycle. *American Naturalist*, 164(3): 283-297.
- Kumar, P. et Foufoula-Georgiou, E., 1997. Wavelet analysis for geophysical applications. *Reviews of Geophysics*, 35(4): 385-412.

- Labat, D., 2006. Oscillations in land surface hydrological cycle. *Earth and Planetary Science Letters*, 242: 143-154.
- Lajeunesse, P., Locat, J., St-Onge, G. et Labbé, G., 2007. Morphosedimentology Of Submarine Mass-Movements And Gravity Flows Offshore Sept-Îles, Nw Gulf Of St. Lawrence (Québec, Canada), *Submarine Mass Movements and Their Consequences*, pp. 287-296.
- Lajoie, F., Assani, A. A., Matteau, M., Mesfioui, M. et Roy, A. G., 2006. Comparison of ecological instream flow and release flow downstream of dams in Quebec: The effect of dam management practices, watershed size and the season. *Water Quality Research Journal of Canada*, 41(3): 263-274.
- Lamoureux, S. F., Stewart, K. A., Forbes, A. C. et Fortin, D., 2006. Multidecadal variations and decline in spring discharge in the Canadian middle Arctic since 1550 AD. *Geophysical Research Letters*, 33(2).
- Laverdière, C., 1955. Observations morphologiques intéressant la mise en place des sables ferrifères au droit de la Côte Nord du Saint-Laurent. *Revue canadienne de géographie*, 9(2-3): 119-130.
- Leorri, E., Martin, R. et McLaughlin, P., 2006. Holocene environmental and parasequence development of the St. Jones Estuary, Delaware (USA): Foraminiferal proxies of natural climatic and anthropogenic change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 241(3-4): 590-607.
- Lessard, G. L. et Dubois, J. M. M., 1984. Évolution littorale multitemporelle d'une côte récemment déglacée du nord du golfe du Saint-Laurent. *Revue de géomorphologie dynamique*, 33: 81-96.
- Loucarevic, B. D., Feininger, T. et Lefebvre, D., 1990. The Sept-Îles Layered Mafic Intrusion - Geophysical Expression. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 27(4): 501-&.

- Lupo, L. C., Martha Bianchi, M., Aráoz, F., Grau, R., Lucas, C., Kern, R., Camacho, M., Tanner, W. et Grosjean, M., 2006. Climate and human impact during the past 2000 years as recorded in the Lagunas de Yala, Jujuy, northwestern Argentina. *Quaternary International*, 158(1): 30-43.
- Mann, D., Edwards, J., Chase, J., Beck, W., Reanier, R., Mass, M., Finney, B. et Lorez, J., 2008. Drought, vegetation change, and human history on Rapa Nui (Isla de Pascua, Easter Island). *Quaternary Research*, 69(1): 16-28.
- Marshall, J., Kushnir, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R., Hurrell, J., McCartney, M., Saravanan, R. et Visbeck, M., 2001. North Atlantic climate variability: Phenomena, impacts and mechanisms. *International Journal of Climatology*, 21(15): 1863-1898.
- Mathews, M. D., 1991. The effect of pretreatment on size analysis. *In*: Syvitski, J. P. M. (Ed.), *Principles, methods, and application of particle size analysis*. Cambridge University Press, New York, pp. 34-42.
- Meybeck, M. et Vörösmarty, C., 2005. Fluvial filtering of land-to-ocean fluxes: from natural Holocene variations to Anthropocene. *Comptes Rendus Geosciences*, 337(1-2): 107-123.
- Ministère des affaires municipales et des régions du Québec, 2005. *Répertoire des municipalités du Québec*. Gouvernement du Québec, Base de données en ligne, <http://www.mamr.gouv.qc.ca/>
- Minobe, S. et Mantua, N., 1999. Interdecadal modulation of interannual atmospheric and oceanic variability over the North Pacific. *Progress In Oceanography*, 43(2-4): 163-192.
- Moign, Y., 1972. *Étude dynamique d'une plage subarctique: Sept-Îles*, Université de Bretagne Occidentale, France, 303 pp.
- Mursula, K., Usoskin, I. G. et Kovaltsov, G. A., 2002. A 22-year cycle in sunspot activity. *Advances in Space Research*, 29(12): 1979-1984.



- Ndzangou, S. O., Richer-Lalleche, M. et Houle, D., 2005. Sources and evolution of anthropogenic lead in dated sediments from lake Clair, Quebec, Canada. *Journal of Environmental Quality*, 34(3): 1016-1025.
- Neumann, F. H., Kagan, E. J., Schwab, M. J. et Stein, M., 2007. Palynology, sedimentology and palaeoecology of the late Holocene Dead Sea. *Quaternary Science Reviews*, 26(11-12): 1476-1498.
- Nota, D. J. G. et Loring, D. H., 1964. Recent depositional conditions in the St. Lawrence river – a reconnaissance survey. *Marine Geology*, 2: 198-235.
- Paillard, D. L., Labeyrie, L. et Yiou, P., 1996. Macintosh program performs time-series analyses. In: Transactions, E. (Transactions, E.)Transactions, E.s). American Geophysical Union, pp. 379.
- Pekarova, P., Miklanek, P. et Pekar, J., 2003. Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th-20th centuries. *Journal of Hydrology*, 274(1-4): 62-79.
- Petrie, B., 2007. Does the North Atlantic oscillation affect hydrographic properties on the Canadian Atlantic continental shelf? *Atmospheric-Ocean*, 45(3): 141-151.
- Pinet, N., Duchesne, M., Lavoie, D., Bolduc, A. et Long, B., 2008. Surface and subsurface signatures of gas seepage in the St. Lawrence Estuary (Canada): Significance to hydrocarbon exploration. *Marine and Petroleum Geology*, 25(3): 271-288.
- Praeg, D., Danglejan, B. et Syvitski, J. P. M., 1992. Seismostratigraphy of the middle St-Lawrence Estuary - A late Quaternary glacial marine to estuarine depositional erosional record. *Géographie physique et Quaternaire*, 46(2): 133-150.
- Rothwell, R. G., Hoogakker, B., Thomson, J., Croudace, I. W. et Frenz, M., 2006. *Turbidite emplacement on the southern Balearic Abyssal Plain (western Mediterranean Sea) during*

- Marine Isotope Stages 1-3: An application of ITRAX XRF scanning of sediment cores to lithostratigraphic analysis.* In: Rothwell, R. G. (Editor), *Geological Society Special Publication*, pp. 79-98.
- Schafer, C. T., Smith, J. N. et seibert, G., 1983. Significance of natural and anthropogenic inputs to the Saguenay Fjord, Québec. *Sedimentary Geology*, 36: 177-194.
- Smith, J. N. et Schafer, C. T., 1999. Sedimentation, bioturbation, and Hg uptake in the sediments of the estuary and Gulf of St. Lawrence. *Limnology and Oceanography*, 44(1): 207-219.
- Smittenberg, R. H., Baas, M., Green, M. J., Hopmans, E. C., Schouten, S. et Simminghe Damsté, J. S., 2005. Pre- and post-industrial environmental changes as revealed by the biogeochemical sedimentary record of Drammensfjord, Norway. *Marine Geology*, 214(1-3): 177-200.
- St-Onge, G., Lajeunesse, P., Duchesne, M. et Gagné, H., Sous presse. Identification and dating of a key Late Pleistocene stratigraphic unit in the St. Lawrence Estuary and Gulf (Eastern Canada). *Quaternary Science Reviews*.
- St-Onge, G. et Long, B., Sous presse. CAT-scan analysis of sedimentary sequences: An ultrahigh-resolution paleoclimatic tool. *Engineering Geology*.
- St-Onge, G., Mulder, T., Francus, P. et Long, B., 2007. Continuous Physical Properties of Cored Marine Sediments. In: C, H.-M. et A, D. V. (Eds.), *Developments in Marine Geology : Proxies in Late Cenozoic Paleooceanography*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63-98.
- St-Onge, G., Stoner, J. S. et Hillaire-Marcel, C., 2003. Holocene paleomagnetic records from the St. Lawrence Estuary, eastern Canada: centennial- to millennial-scale geomagnetic modulation of cosmogenic isotopes. *Earth and Planetary Science Letters*, 209: 113-130.

- Stefani, M. et Vincenzi, S., 2005. The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system. *Marine Geology*, 222-223: 19-48.
- Stockhausen, H. et Zolitschka, B., 1999. Environmental changes since 13,000 cal. BP reflected in magnetic and sedimentological properties of sediments from Lake Holzmaar (Germany). *Quaternary Science Reviews*, 18(7): 913-925.
- Stoner, J. S. et St-Onge, G., 2007. Magnetic Stratigraphy in Paleoclimatology: Reversals, Excursions, Paleointensity, and Secular Variation, *Developments in Marine Geology*, pp. 99-138.
- Syvitski, J. P. M., 1993. Glaciomarine environments in Canada: an overview. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30(2): 354-371.
- Syvitski, J. P. M. et Praeg, D., 1989. Quaternary sedimentation in the St. Lawrence Estuary and adjoining areas, Eastern Canada: An overview based on high-resolution seismo-stratigraphy. *Géographie physique et Quaternaire*, 43(3): 291-310.
- Syvitski, J. P. M. et Saito, Y., 2007. Morphodynamics of deltas under the influence of humans. *Global and Planetary Change*, 57(3-4): 261-282.
- Tabachnick, B. G. et Fidell, L. S., 2007. *Using multivariate statistics. 5th Edition*. Pearson/A & B, Boston, Montreal, 980 pp.
- Tauxe, L., 1993. Sedimentary records of relative paleointensity of the geomagnetic field: Theory and practice. *Reviews of Geophysics*, 31: 319-354.
- Thibodeau, B., de Vernal, A. et Mucci, A., 2006. Recent eutrophication and consequent hypoxia in the bottom waters of the Lower St. Lawrence Estuary: Micropaleontological and geochemical evidence. *Marine Geology*, 231(1-4): 37-50.

- Thompson, D. W. J. et Wallace, J. M., 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 25: 1297-1300.
- Thompson, D. W. J. et Wallace, J. M., 2000. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability *Journal of Climate*, 13: 1000-1016.
- Thompson, D. W. J. et Wallace, J. M., 2001. Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode and associated climate trends. *Science*, 293: 85-89.
- Thomson, J., Croudace, I. W. et Rothwell, R. G., 2006. A geochemical application of the ITRAX scanner to a sediment core containing eastern Mediterranean sapropel units. *Geological Society Special Publication*. 65-77.
- Torrence, C. et Compo, G. P., 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1): 61-78.
- Torrence, C. et Webster, P. J., 1999. Interdecadal changes in the ENSO-Monsoon system. *Journal of Climate*, 12: 2679-2690.
- Treloar, N. C., 2002. Luni-solar tidal influences on climate variability. *International Journal of Climatology*, 22: 1527-1542.
- Usoskin, I. G. et Kovaltsov, G. A., 2008. Cosmic rays and climate of the Earth: Possible connection. *Comptes Rendus Geosciences*, 340(7): 441-450.
- Vanni re, B., Colombaroli, D., Chapron, E., Leroux, A., Tinner, W. et Magny, M., 2008. Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: the Holocene record of Lago dell'Accesa (Tuscany, Italy). *Quaternary Science Reviews*, 27(11-12): 1181-1196.
- Vörösmarty, C. J., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P. et Syvitski, J. P. M., 2003. Anthropogenic sediment retention : major global impact from registered river impoundments. *Global and Planetary Change*.

- Walden, J., Oldfield, F. et Smith, J., 1999. *Environmental Magnetism: A practical Guide*. Technical Guide. Quaternary Research Association, 243 pp.
- Walling, D. E., 2006. Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79(3-4): 192-216.
- Water Surveys of Canada, 2006. *HYDAT CD-Rom*. Environment Canada, Base de données en ligne, <http://www.wsc.cc.gc.ca/>
- Weber, M. E., Niessen, F., Kuhn, G. et Wiedicke, M., 1997. Calibration and application of marine sedimentary physical properties using a multi-sensor core logger. *Marine Geology*, 136(3-4): 151-172.
- Weeks, R., Laj, C., Endignoux, L., Fuller, M., Roberts, A., Manguane, R., Blanchard, E. et Goree, W., 1993. Improvements in long core measurement techniques: Applications in paleomagnetism and paleoceanography. *Geophysical Journal International*, 114: 651-662.
- Wunsch, C., 2004. Quantitative estimate of the Milankovitch-forced contribution to observed Quaternary climate change. *Quaternary Science Reviews*, 23: 1001-1012.
- Zhang, D. C., 2000. *Fluxes of short-lived radioisotopes in the marginal marine basins of eastern Canada*, Université du Québec à Montréal, Montreal, 193 pp.

\*\*\*\*\*

# Annexe 1 : Localisation et échantillonnages supplémentaires

## Table des matières

Liste des figures A1 .....	I
Liste des tableaux A1 .....	I
Références .....	III

## Liste des figures A1

Figure A1-1 : Localisation du site d'étude et de l'ensemble des carottes récoltées dans le cadre de ce projet .....	III
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

## Liste des tableaux A1

Tableau A1-1 : Localisation, profondeur, longueur des carottes et types d'analyses réalisées .....	II
----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

\*\*\*\*\*

Voir le fichier [UBV\\_memoire\\_annexe1\\_localisation.pdf](#)

Plusieurs carottes ont été récoltées à bord du Coriolis II lors de la mission COR0602 suivant l'objectif d'échantillonnage du présent projet (figure A1-1, tableau A1-1) (Boyer-Villemare *et al.*, 2006, Lajoie *et al.*, 2007), alors que seules les carottes 56BC et 63BC ont été présentées dans l'article. Les carottes 55BC, 56BC, 57BC, 58BC, 61BC, 62BC, 63BC et 64BC ont été analysées de manière préliminaire (Lajoie *et al.*, 2007) et ouvertes en laboratoire.

Tableau A1-1 : Localisation, profondeur, longueur des carottes et types d'analyses réalisées

Carotte	Latitude (°N)	Longitude (°O)	Profondeur (m)	Longueur (cm)	Analyses préliminaires <sup>1</sup>	Ouverture et description	Analyses avancées <sup>2</sup>	Datation
COR0602-55BC	50.984	65.636	147	37	x	x		
COR0602-56BC	50.040	66.535	108	35.5	x	x	x	x
COR0602-57BC	50.188	66.474	32	44.0	x	x		
COR0602-58BC	50.125	66.374	138	34.0	x	x	x	x
COR0602-61BC	50.145	66.328	73	29.0	x	x		
COR0602-62BC	50.097	66.271	173	42.0	x	x	x	
COR0602-63BC	50.416	66.268	133	37.0	x	x	x	x
COR0602-64BC	50.064	65.998	165	45.5	x	x	x	x

<sup>1</sup>CAT-Scan, MSCL

<sup>2</sup>granulométrie, XRF, spectrophotométrie, susceptibilité magnétique au point-sensor. géochimie

Les carottes 55BC, 57BC et 61BC n'ont pas fait l'objet de sous-échantillonnage d'après les critères de discrimination suivants :

- une taille des grains trop grande (majorité de sable assez grossier), concernant la 55BC, qui nuirait à la reproductibilité des analyses géochimiques, granulométriques et XRF;
- une différence majeure au point de vue chimique concernant la carotte 57BC prise dans la Baie de Sept-Îles, dont les indicateurs étaient une forte odeur et une couleur nettement plus foncée;
- une surface du carottier perturbée n'assurant par un modèle d'âge fiable, concernant la 61BC.

Les carottes 56BC, 58BC, 62BC 63BC et 64BC ont quant à elles été retenues pour des sous-échantillonnages supplémentaires de granulométrie, XRF, spectrophotométrie, géochimie (concentrations élémentaires et analyses isotopiques) et datation au <sup>210</sup>Pb (sauf 62BC).

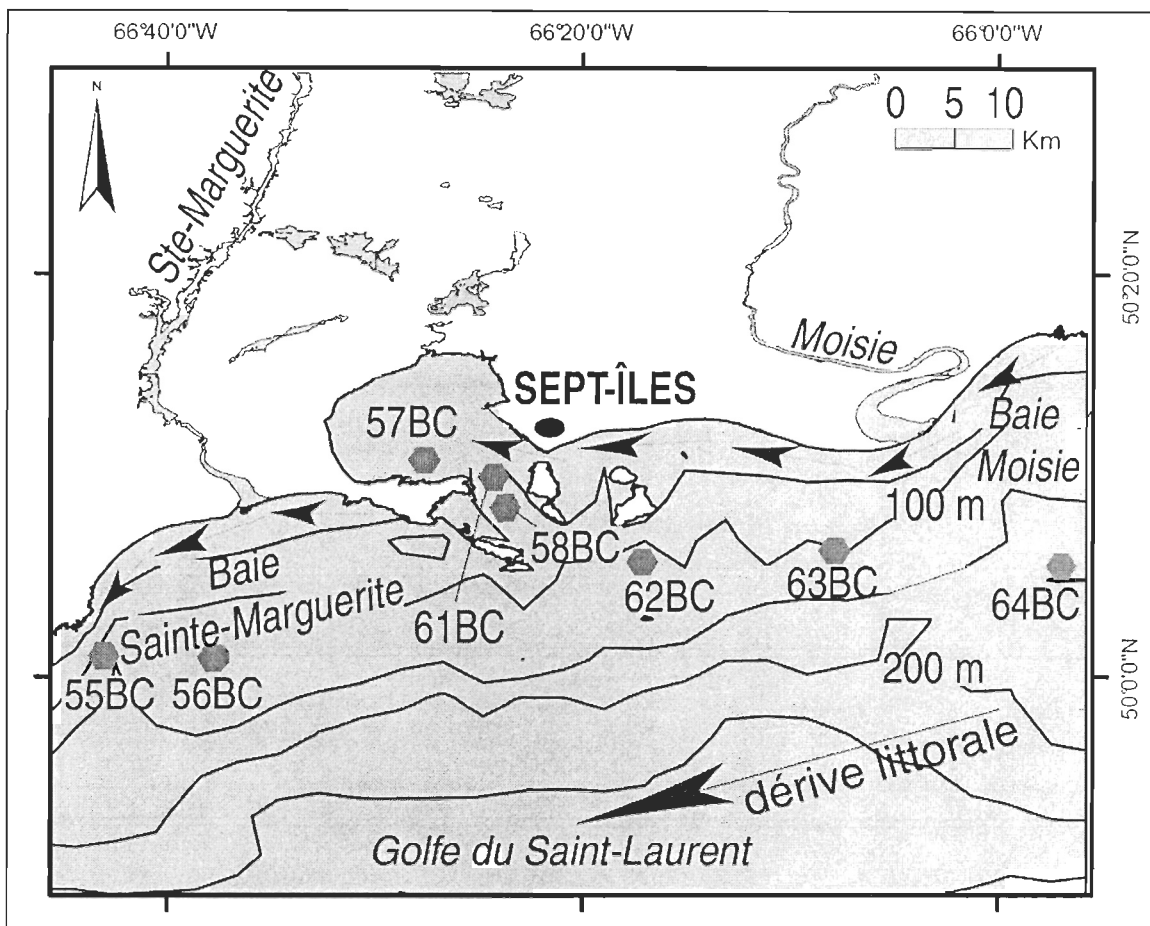


Figure A1-1 : Localisation du site d'étude et de l'ensemble des carottes récoltées dans le cadre de ce projet

### Références

Boyer-Villemare, U., Labbé, G., Gagné, H., Mercier, M.-E., St-Onge, G., Lajeunesse, P. et Locat, J., 2006. *Rapport de mission COR0602 : Fjord du Saguenay, Estuaire et Golfe du Saint-Laurent, 25 mai au 6 juin 2006*, Université du Québec à Rimouski & Université Laval, Rimouski, Québec, 54.

Lajoie, M., Simard, P. et Boyer-Villemare, U., 2007. *Analyse au MSC/L et au CAT-Scan des carottes sédimentaires de la mission COR0602 : Fjord du Saguenay, estuaire et golfe du Saint-Laurent*, Université du Québec à Rimouski & Université Laval & GEOTOP, Rimouski, Québec, 129.

\*\*\*\*\*



# Annexe 2 : Relevés de sous-surface

## Table des matières

Liste des figures A2.....	IV
Références.....	V

## Liste des figures A2

Figure A2-1 : Profil de sous-surface pour la carotte 56BC.....	IV
Figure A2-2 : Profil de sous-surface pour la carotte 58BC.....	IV
Figure A2-3 : Profil de sous-surface pour la carotte 62BC.....	V
Figure A2-4 : Profil de sous-surface pour la carotte 63BC.....	V
Figure A2-5 : Profil de sous-surface pour la carotte 64BC.....	V

\*\*\*\*\*

Les figures A2-1 à A2-5 sont tirées de Boyer-Villemare *et al.* (2006)

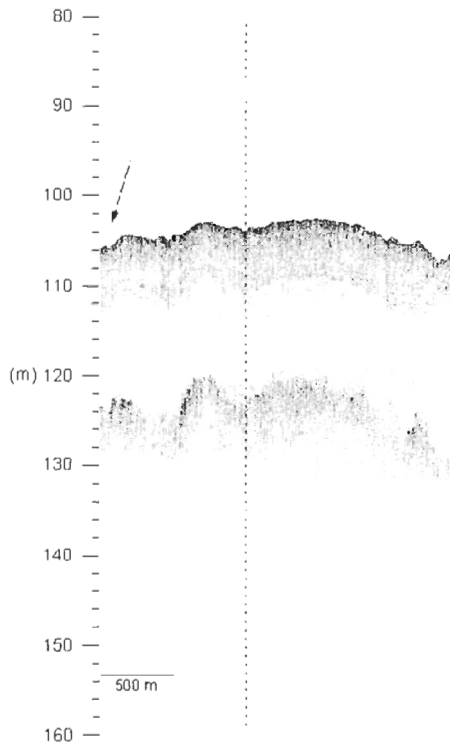


Figure A2-1 : Profil de sous-surface pour la carotte 56BC

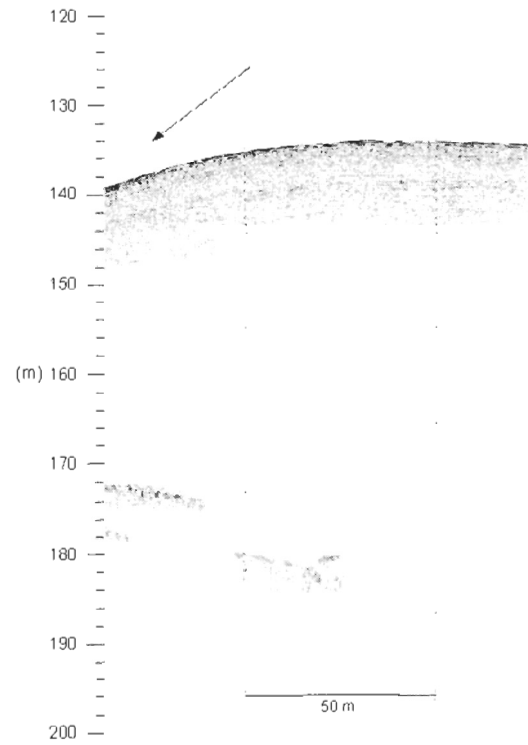


Figure A2-2 : Profil de sous-surface pour la carotte 58BC

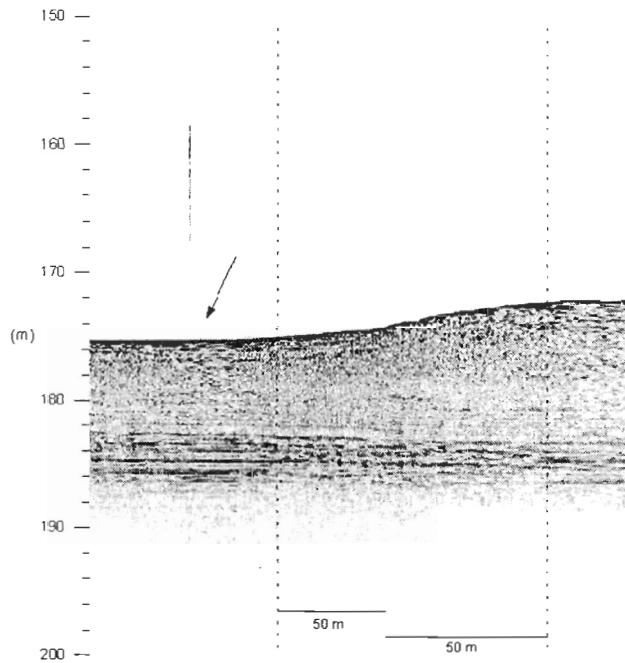


Figure A2-3 : Profil de sous-surface pour la carotte 62BC

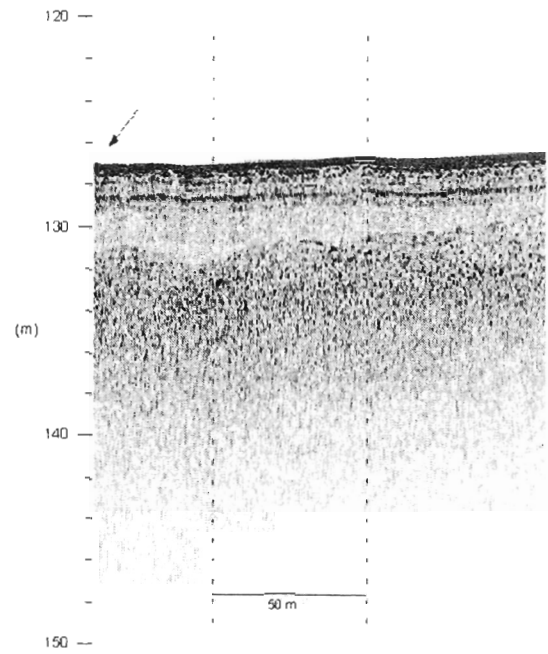


Figure A2-4 : Profil de sous-surface pour la carotte 63BC

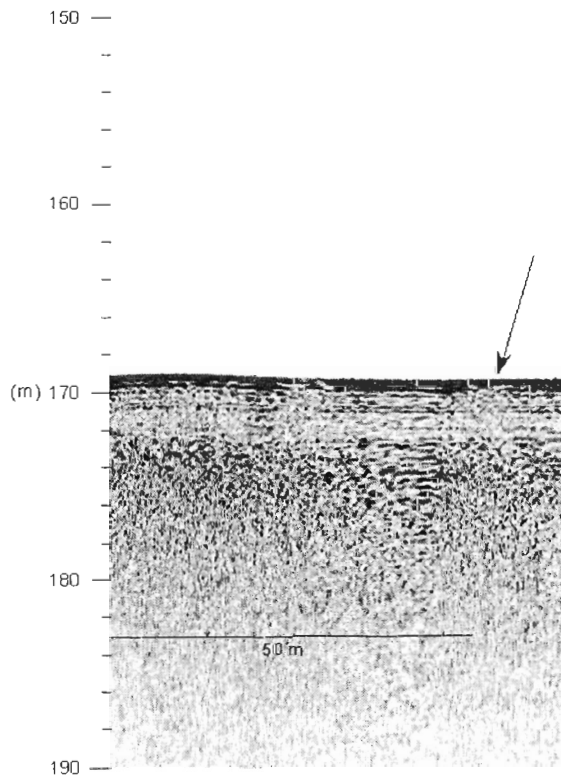


Figure A2-5 : Profil de sous-surface pour la carotte 64BC

\*\*\*\*\*

### Références

Boyer-Villemare, U., Labbé, G., Gagné, H., Mercier, M.-E., St-Onge, G., Lajeunesse, P. et Locat, J., 2006. *Rapport de mission COR0602 : Fjord du Saguenay, Estuaire et Golfe du Saint-Laurent, 25 mai au 6 juin 2006*, Université du Québec à Rimouski & Université Laval, Rimouski, Québec, 54.

# Annexe 3 : Feuille de suivi des carottes 56BC, 58BC, 62BC, 63BC et 64BC

## Table des matières

Liste des figures A3 .....	VI
Références .....	XII

## Liste des figures A3

Figure A3-1 : Feuille de suivi de la carotte 56BC.....	VII
Figure A3-2 : Feuille de suivi de la carotte 58BC.....	VIII
Figure A3-3 : Feuille de suivi de la carotte 62BC.....	IX
Figure A3-4 : Feuille de suivi de la carotte 63BC .....	X
Figure A3-5 : Feuille de suivi de la carotte 64BC .....	XI

\*\*\*\*\*

Voir le fichier [UBV\\_memoire\\_annexe3\\_feillesuivi.pdf](#), contenant les figures A3-1 à A3-5, tirées de Boyer-Villemare *et al.* (2006).

Coriolis II

Nom : Gabrielle Labbé

Date : 3 juin 2006

Mission du 25 mai au 6 juin 2006

Heure : 8h35

Nom officiel des carottes :

COR0602- 056BC

(no carotte) (BC)

Station :

SM02

(Vis-à-vis rivière Ste-Marguerite)

Position du bateau : 50° 02,383' N 66° 32,125' W Profondeur du bateau : 108 m

Position du Track Point : 50° 02,354' N 66° 32,115' W

Profondeur du Track Point : 105 m Distance horizontale du Track Point : 25 m

Longueur de la carotte : ~ 37 cm

Teneur en eau	
Section	Fiole
surface	3721
base	3771

Photos numériques ? (O/N) : Oui

Échantillon de surface ? (O/N) : Oui

Notes :

### Croquis

Vue de dessus

a	b	

Observations

Longueur

Compaction

a = Archive	37.0 cm	5 cm
b = Travail	n/d cm	3,5 cm
Bioturbation en surface. Étoile de mer (5)		
Silt-sableux au milieu		
+ argileux gris olive au fond		

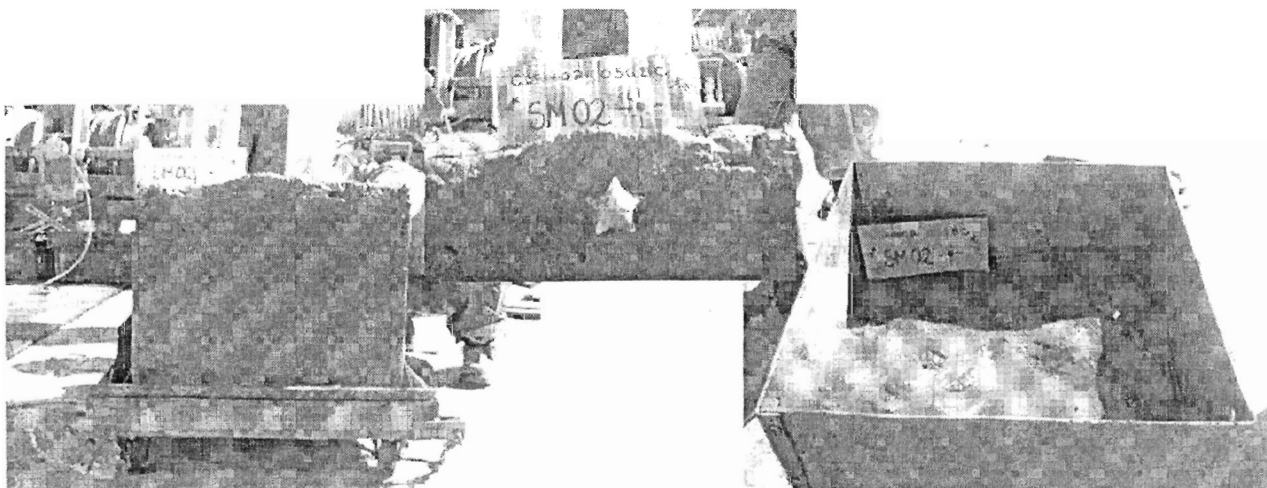


Figure A3-1 : Feuille de suivi de la carotte 56BC

Coriolis II

Nom : Gabrielle Labbé

Date : 3 juin 2006

Mission du 25 mai au 6 juin 2006

Heure : 11h09

Nom officiel des carottes :

COR0602- 058BC

(no carotte) (BC)

Station :

SI07

(Chenal du milieu)

Position du bateau : 50° 07,509' N 66° 22,458' W Profondeur du bateau : 138 m

Position du Track Point : 50° 07,508 N 66° 22,447' W

Profondeur du Track Point : 130 m Distance horizontale du Track Point : 10 m

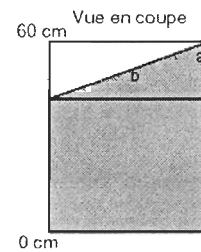
Longueur de la carotte : ~ 34 cm

Teneur en eau	
Section	Fiole
surface	3830
base	3617

Photos numériques ? (O/N) : Oui

Échantillon de surface ? (O/N) : Oui

Notes :



Croquis

Vue de dessus			Observations	Longueur	Compaction
a	b		a = Archive	33,0 cm	3,5 cm
			b = Travail	35,0 cm	4 cm
			Gros terrier		
			Tubes de vers multiples		
			Surface inclinée		

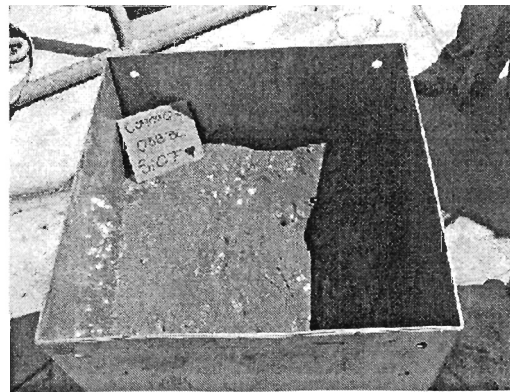


Figure A3-2 : Feuille de suivi de la carotte 58BC

Coriolis II

Nom : Ursule Boyer-Villemaire

Date : 3 juin 2006

Mission du 25 mai au 6 juin 2006

Heure : 13h35

Nom officiel des carottes :

Station :

COR0602- 062BC

SI09

(no carotte) (BC)

(Dépression 172 m)

Position du bateau : 50° 05,80' N 66° 16,253' W Profondeur du bateau : 173 m

Position du Track Point : 50° 05,892 N 66° 16,208' W

Profondeur du Track Point : 165 m Distance horizontale du Track Point : 10 m

Longueur de la carotte : ~ 42 cm

Teneur en eau	
Section	Fiole
surface	M576
base	3767

Photos numériques ? (O/N) : Oui

Échantillon de surface ? (O/N) : Oui

Notes :

Croquis

Vue de dessus			Observations	Longueur	Compaction
			a = Archive	n/d cm	9,5 cm
			b = Travail	41,5 cm	6 cm
			Bioturbation en surface, trous de vers		
a	b		Gris olive. Moucheture. Plus fin en surface		
			Sableux à la base		

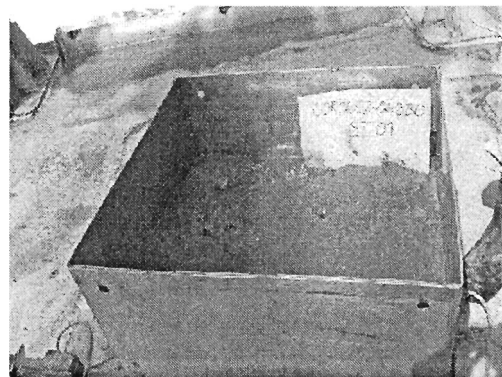
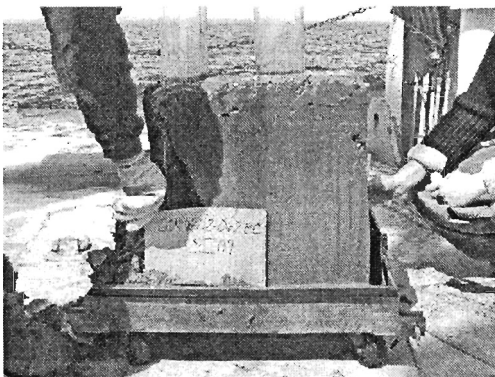


Figure A3-3 : Feuille de suivi de la carotte 62BC

Coriolis II

Nom : Ursule Boyer-Villemaire

Date : 3 juin 2006

Mission du 25 mai au 6 juin 2006

Heure : 14h40

Nom officiel des carottes :

Station :

COR0602- 063BC

MOI01

(no carotte) (BC)

Position du bateau : 50° 05,416' N 66° 16,050' W Profondeur du bateau : 133 m

Position du Track Point : 50° 05,892 N 66° 16,208 W

Profondeur du Track Point : 140 m Distance horizontale du Track Point : 25 m

Longueur de la carotte : ~ 37 cm

Teneur en eau	
Section	Fiole
surface	M504
base	3766

Photos numériques ? (O/N) : Oui

Échantillon de surface ? (O/N) : Oui

Notes :

Croquis

Vue de dessus		Observations	Longueur	Compaction
		a = Archive	37,5 cm	3 cm
		b = Travail	36,5 cm	<1 cm
		Gastéropode à la surface du carottier		
		Ophiures sur le dessus		
a	b	Sable sur toute la colonne		
		Gros cailloux ~8 cm à la base		



Figure A3-4 : Feuille de suivi de la carotte 63BC

Coriolis II

Nom : Ursule Boyer-Villemaire

Date : 3 juin 2006

Mission du 25 mai au 6 juin 2006

Heure : 15h42

Nom officiel des carottes :

Station :

COR0602- 064BC

MOI02

(no carotte) (BC)

Position du bateau : 50° 03,837' N 65° 59,897' W Profondeur du bateau : 165 m

Position du Track Point : 50° 03,836 N 65° 59,924 W

Profondeur du Track Point : 165 m Distance horizontale du Track Point : 15 m

Longueur de la carotte : ~ 45 cm

Teneur en eau	
Section	Fiole
surface	3661
base	3966

Photos numériques ? (O/N) : Oui

Échantillon de surface ? (O/N) : Oui

Notes :

Croquis

Vue de dessus			Observations	Longueur	Compaction
a			a = Travail	46,0 cm	0,5 cm
			b = Archive	43,0 cm	3 cm
b			Sable en surface. Gris brun foncé.		
			Silt-argile gris pâle au fond. Grains de sable.		



Figure A3-5 : Feuille de suivi de la carotte 64BC



## Références

Boyer-Villemare, U., Labbé, G., Gagné, H.,  
Mercier, M.-E., St-Onge, G., Lajeunesse, P.  
et Locat, J., 2006. *Rapport de mission  
COR0602 : Fjord du Saguenay, Estuaire et*

*Golfé du Saint-Laurent, 25 mai au 6 juin  
2006*, Université du Québec à Rimouski &  
Université Laval, Rimouski, Québec, 54.

\*\*\*\*\*

# Annexe 4 : Feuilles de description pour les carottes 56BC, 58BC, 62BC, 63BC et 64BC

## Table des matières

Liste des figures A4 .....	XIII
----------------------------	------

### Liste des figures A4

Figure A4-1 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 56BC.....	XIV
Figure A4-2 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 58BC.....	XV
Figure A4-3 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 62BC.....	XVI
Figure A4-4 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 63BC.....	XVII
Figure A4-5 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 64BC.....	XVIII

\*\*\*\*\*

Voir le fichier [UBV\\_memoire\\_annexe4\\_lab0.pdf](#), contenant les figures A4-1 à A4-5.

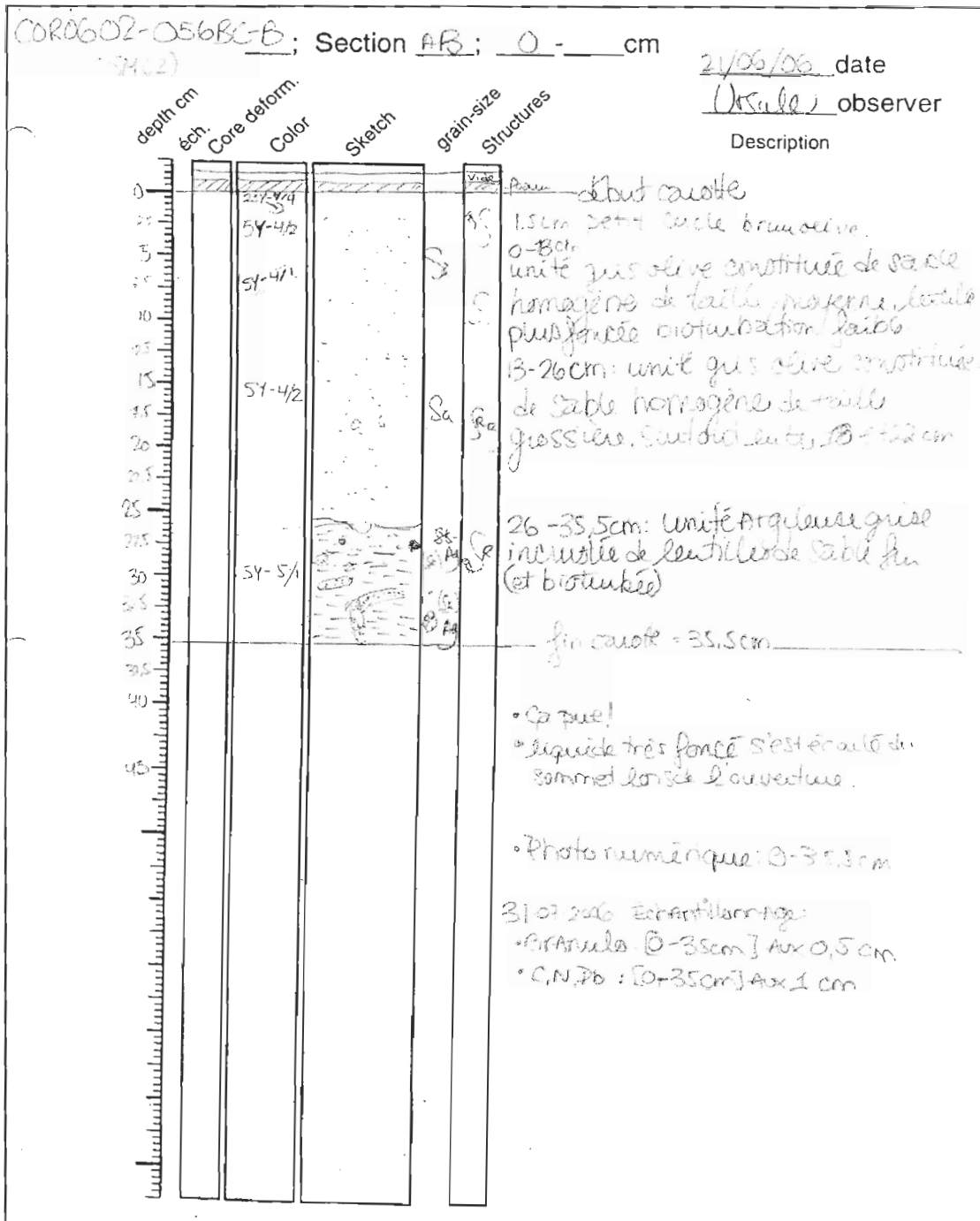


Figure A4-1 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 56BC

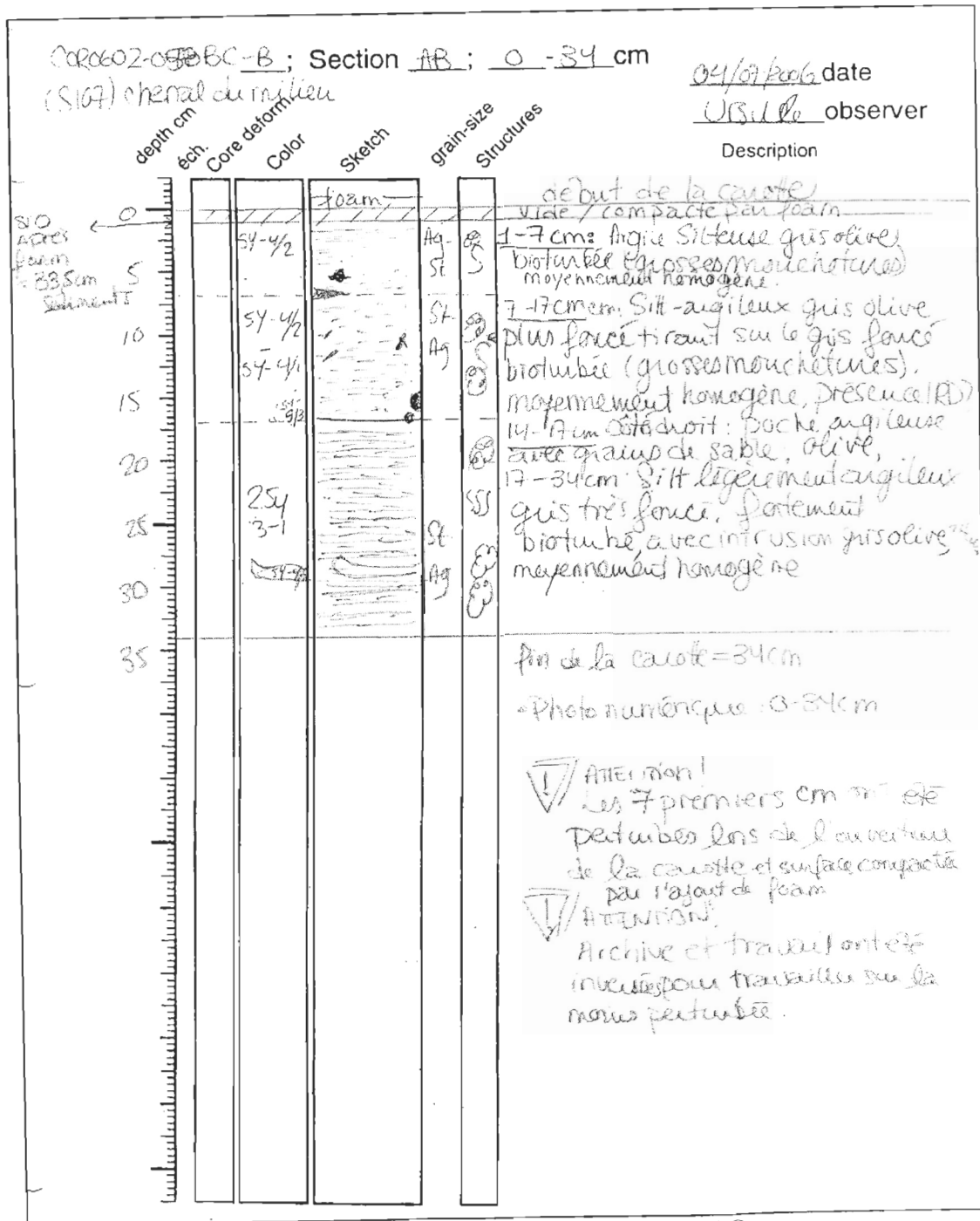


Figure A4-2 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 58BC

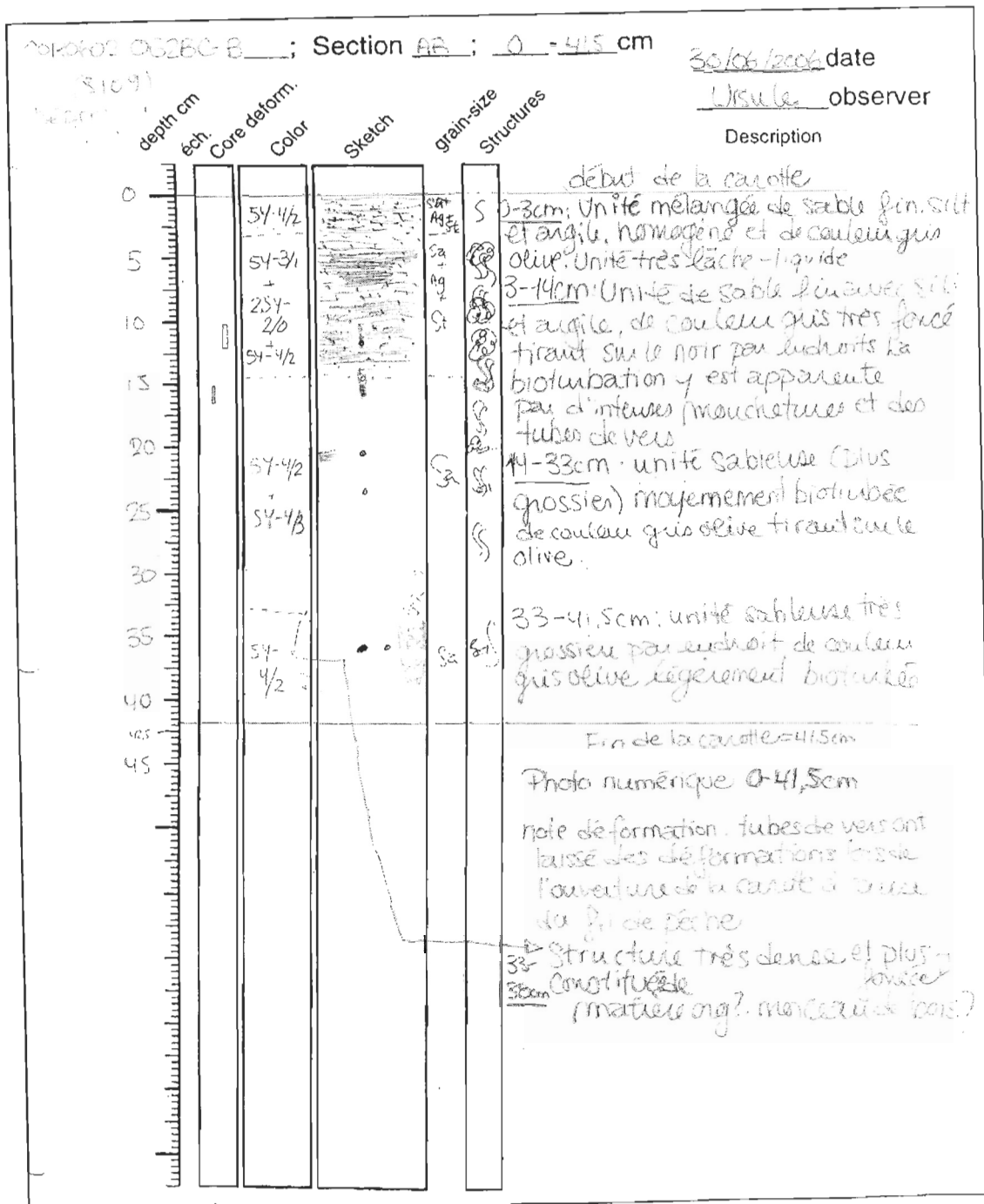


Figure A4-3 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 62BC

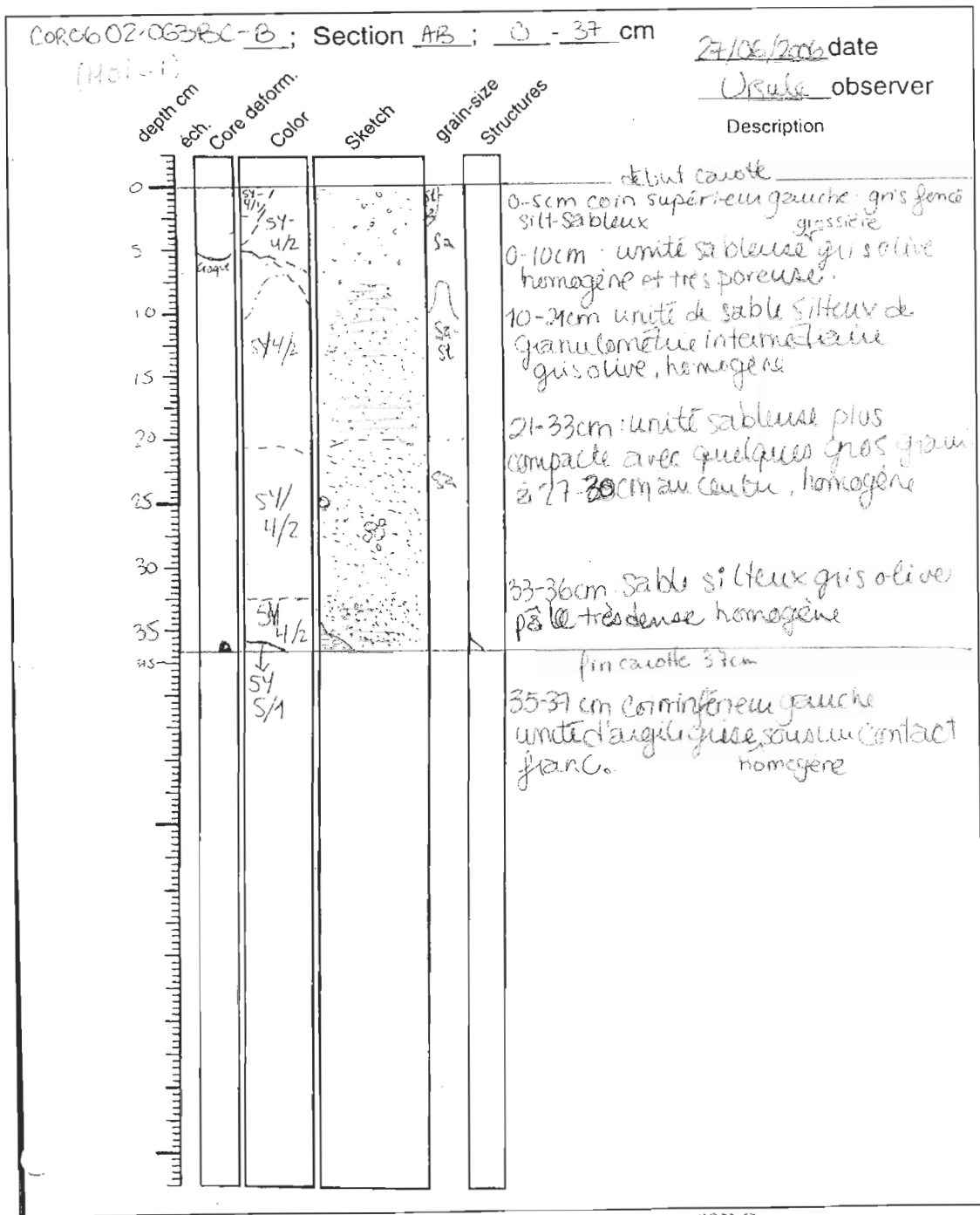


Figure A4-4: Fiche de description en laboratoire de la carotte 63BC

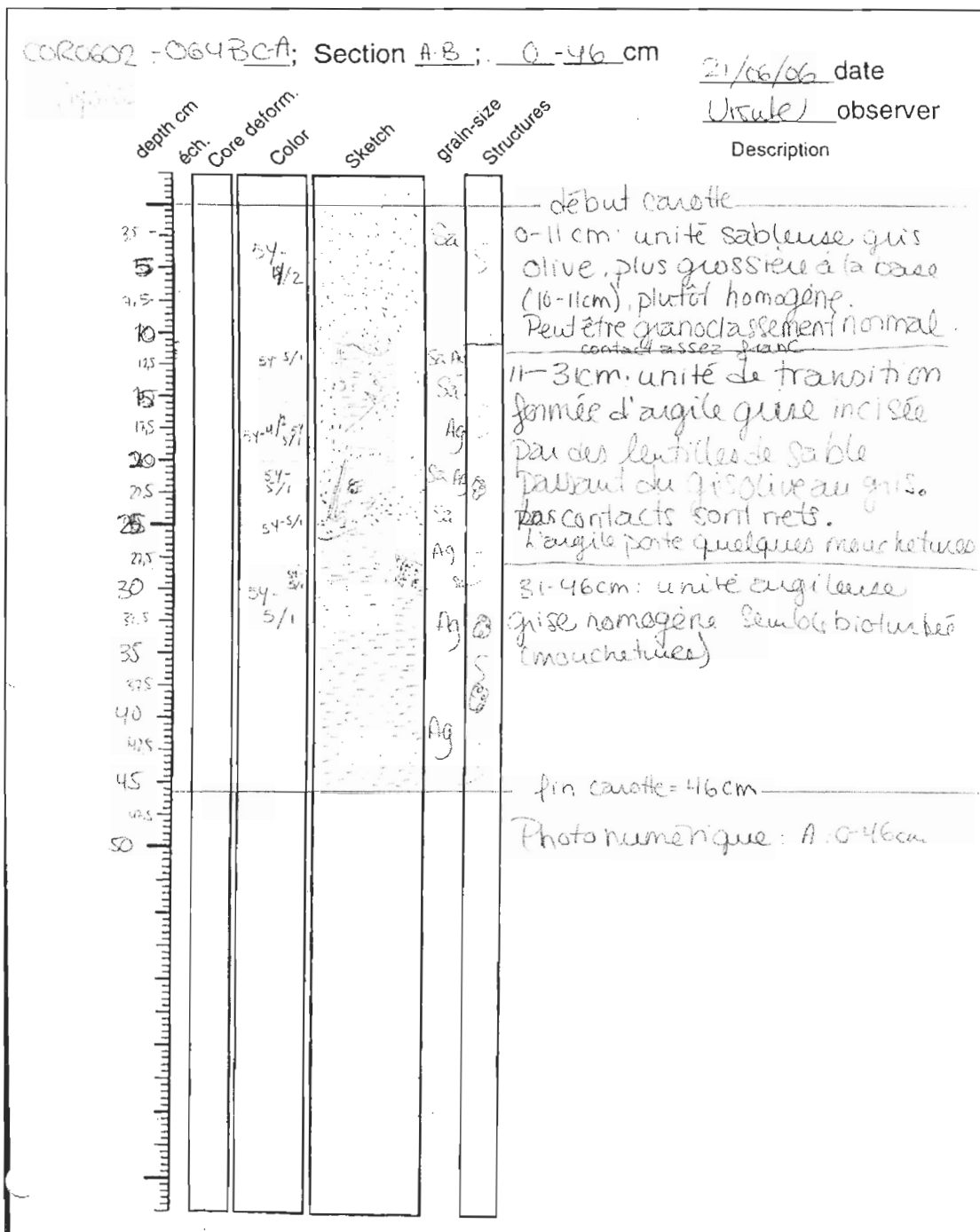


Figure A4-5 : Fiche de description en laboratoire de la carotte 64BC

# Annexe 5 : Méthodes supplémentaires

## Table des matières

1. Analyses géochimiques.....	XIX
2. Analyse du $\delta^{13}\text{C}$ .....	XX
3. Détermination du taux de sédimentation à l'aide du $^{210}\text{Pb}$ .....	XXI
4. Traitement statistique des données XRF.....	XXI
5. Références.....	XXII

\*\*\*\*\*

Voir le fichier [UBV\\_memoire\\_annexe5\\_methodes.pdf](#)

Des analyses géochimiques et isotopiques ont été réalisées mais n'ont pas été présentées dans l'article. Voici aussi quelques précisions sur la méthode de datation isotopique.

### 1. Analyses géochimiques

Les analyses géochimiques élémentaires et isotopiques ont été effectuées au Centre de géochimie et géodynamique (GEOTOP) à Montréal, Québec, Canada. Les aliquotes utilisées pour la mesure du carbone total ( $C_{\text{tot}}$ ), de l'azote total ( $N_{\text{tot}}$ ) et du carbone inorganique ( $C_{\text{inorg}}$ ) ont d'abord subi un séchage à 40°C durant 24 heures. Les échantillons ont ensuite été broyés, pesés et entreposés dans des fioles à scintillation à température ambiante. Les teneurs en  $C_{\text{tot}}$  et  $N_{\text{tot}}$  ont été mesurées par chromatographie, à l'aide d'un analyseur élémentaire Carlo-Erba™ NC 2500. Pour chaque échantillon, environ 10 mg de sédiments ont été déposés, en duplicata, dans des coupelles d'étain. La moyenne des écarts entre les duplicata pour le  $C_{\text{tot}}$  et le  $N_{\text{tot}}$  est respectivement de 0,05 % et de 0,01 %. Le carbone inorganique ( $C_{\text{inorg}}$ ) a été mesuré par coulométrie. Environ 40 mg de sédiment sec ont été digérés dans une solution d'acide perchlorique 2N puis les émissions de  $\text{CO}_2$



généérées ont été dosées à l'aide d'un coulomètre UIC Coulometrics. Comme une mole de  $\text{CaCO}_3$  pèse 100 g et que cette mole contient 12 g de  $\text{C}_{\text{inorg}}$ , il est possible de trouver les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  selon l'équation suivante (éq. 2) :

$$\text{CaCO}_3 = \text{C}_{\text{inorg}} (\%) / (0.12) \quad (\text{éq. 2}).$$

Environ un échantillon sur 15 a été analysé en duplicata, une moyenne des écarts de 0.04 %  $\text{CaCO}_3$ .

Le contenu en carbone organique ( $\text{C}_{\text{org}}$ ) a par la suite été calculé par la différence entre le carbone total et inorganique, toutes les unités étant exprimées en pourcentage. Le rapport C/N de la matière organique a aussi été calculé en tenant compte de la masse atomique des éléments mesurés (éq. 3) :

$$\text{C/N} = [\text{C}_{\text{org}} (\%) / \text{N}_{\text{tot}} (\%)] * (14 \text{ g} / 12 \text{ g}) \quad (\text{éq. 3})$$

## 2. Analyse du $\delta^{13}\text{C}$

Le  $\delta^{13}\text{C}$  de la matière organique a été déterminé à l'aide d'un analyseur élémentaire Carlo-Erba™ combiné à un spectromètre de masse Micromass IsoPrime™. Le pré-traitement incluait deux acidifications au HCl 1 N, chacune durant 24 heures, suivi de trois rinçages de 24 heures, d'un séchage à 40°C, d'un broyage, de la pesée et de l'entreposage dans des fioles à scintillation. Afin d'obtenir une quantité constante de  $\text{CO}_2$  dégagé pour annuler les effets possibles de non-linéarité de la source dans le spectromètre de masse, la masse de sédiment sec nécessaire a été déterminée en fonction du %  $\text{C}_{\text{org}}$ , entre 1 mg et 10 mg. Le sédiment a été pesé dans des coupelles en étain. Environ 1 duplicata sur 15 échantillons a été analysé et un standard de sucrose a été utilisé comme contrôle. La

moyenne de la différence entre les duplicata est de 0,21 ‰ vs V-PDB des valeurs analysées.

### 3. Détermination du taux de sédimentation à l'aide du $^{210}\text{Pb}$

Les taux de sédimentation ont été déterminées indirectement en utilisant l'activité du  $^{210}\text{Po}$  par spectrométrie alpha sur des sédiments secs et broyés (c.f., Flynn, 1968, Thibodeau *et al.*, 2006 pour un exemple de la procédure complète). Les émissions alpha issues de l'isotope fils  $^{210}\text{Po}$  procurent une mesure de l'activité du  $^{210}\text{Pb}$ . L'excès de  $^{210}\text{Pb}$  est calculé par une méthode graphique : la soustraction de l'asymptote observée, qui correspond à la valeur de  $^{210}\text{Pb}$  soutenue par la production *in situ* (e.g., Zhang, 2000), dans le graphique de l'activité du  $^{210}\text{Pb}$  en fonction de la profondeur, séparément pour chaque carotte. Le taux de sédimentation (TS,  $\text{cm}\cdot\text{an}^{-1}$ ) est ensuite obtenu via la pente de la régression linéaire entre le  $\text{Ln}(^{210}\text{Pb}_{\text{exc}})$  et la profondeur ( $r^2 > 0.95$  dans toutes les carottes) (éq. 4) :

$$\text{TS} = - (\text{Ln}(2) / (\text{pente} * 22.3)) \quad (\text{éq. 4})$$

en assumant un TS et un flux de  $^{210}\text{Pb}$  constants. Pour être cohérent avec cette hypothèse, le modèle d'âge a été restreint à l'unité sédimentaire sommitale de chaque carotte.

### 4. Traitement statistique des données XRF

Les statistiques sur les données XRF ont été réalisées avec le logiciel R v.2.6.2. Pour chaque variable séparément dans chaque carotte, les statistiques descriptives, les histogrammes de fréquence, des tests de normalité et les corrélations de Spearman ont été réalisés. Des lissages et des transformations en log ont aussi été essayées mais sans succès et ne sont donc pas présentés. La multinormalité a été testée à l'aide du test du kurtose et de l'asymétrie (*skewness*) de Mardia. La tendance a ensuite été retirée de chaque variable et

une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée séparément pour chaque carotte pour voir les assemblages de variables dans la variance principale. En parallèle, des transformées de Fourier ont été réalisées sur chacune des variables à l'aide du logiciel MATLAB 7.1 R14SP3 pour vérifier le potentiel d'analyse spectrale en ondelettes.

## 5. Références

- Flynn, W. W., 1968. The determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. *Analytica Chimica Acta*, 43: 221-227.
- Thibodeau, B., de Vernal, A. et Mucci, A., 2006. Recent eutrophication and consequent hypoxia in the bottom waters of the Lower St. Lawrence Estuary: Micropaleontological and geochemical evidence. *Marine Geology*, 231(1-4): 37-50.
- Zhang, D. C., 2000. *Fluxes of short-lived radioisotopes in the marginal marine basins of eastern Canada*, Université du Québec à Montréal, Montreal, 193 pp.

\*\*\*\*\*

# Annexe 6 : Résultats supplémentaires

## Table des matières

1. Résultats, par carottes <sup>1</sup> .....	XXIV
1.1 56BC .....	XXV
1.2 58BC .....	LVII
1.3 62BC .....	LXXXIX
1.4 63BC .....	CXIII
1.5 64BC .....	CXLV
2. Résultats, multi-carottes .....	CLXXVII
2.1 Géochimie des carottes 56BC et 63BC .....	CLXXVII
2.2 Multinormalité .....	CLXXXVIII
3. Une méthodologie pas à pas .....	CLXXIX
3.1 Le choix du d <sub>50</sub> de la taille des grains .....	CLXXIX
3.2 Le choix d'une analyse en composantes principales sur les données XRF .....	CLXXX
3.3 Le choix d'une carotte comme série de référence pour le contexte naturel .....	CLXXXI
4. Analyse spectrale en ondelettes : sédimentologie vs données historiques .....	CLXXXI
5. Références .....	CLXXXIV

## Liste des figures A6

Figure A6-1 : $\delta^{13}C$ de la MO vs le ratio $C_{org}/N_{tot}$ pour les carottes 56BC (triangles noirs) et 63BC (points noirs) .....	CLXXXVIII
Figure A6-2 : Analyse en ondelettes (puissance spectrale en fonction des périodes et du temps) pour la période du 20 <sup>e</sup> siècle sur la NAO hivernale, la carotte 63BC, les précipitations à Natashquan, les débits de la rivière Moisie, les tempêtes à Sept-Îles, les débits de la rivière Saint-Marguerite, le couvert de glace du Saint-Laurent et le niveau du Saint-Laurent à Sept-Îles .....	CLXXXIII

## Liste des tableaux A6

Tableau A6-1 : Moyennes et écart-types des paramètres géochimiques pour les carottes 56BC et 63BC .....	CLXXVII
Tableau A6-2 : Résultats des tests de multinormalité sur les données XRF .....	CLXXIX
Tableau A6-3 : Données historiques utilisées pour l'analyse en ondelettes .....	CLXXXII

\*\*\*\*\*

Voir le fichier [UBV\\_memoire\\_annexe6\\_resultats.pdf](#)

<sup>1</sup> Vu la lourdeur des sections 1.1 à 1.5, ils sont séparés du présent document et contiennent leur propre liste des figures et tableaux. Voir les documents propres à chaque carottes, intitulés « UBV\_memoire\_XXBC.pdf », où XX peut être [56, 58, 62, 63 ou 64].

Certains résultats supplémentaires sont présentés pour chaque carotte ouverte en laboratoire. Aussi, des résultats synthétisant l'information de plusieurs carottes et des résultats supplémentaires d'analyse spectrale en ondelettes sont présentés. Enfin, des choix méthodologiques pas à pas sont brièvement analysés.

## 1. Résultats, par carotte

Pour les carottes 56BC, 58BC, 62BC, 63BC et 64BC, une analyse sommaire est présentée, soutenue par les figures et tableaux suivants :

- les profils granulométriques ;
- les propriétés physiques ;
- les analyses XRF (sauf 62BC) ;
- les profils géochimiques ;
- les profils de spectrophotométrie ;
- le modèle d'âge (sauf 62BC) ;
- une synthèse des profils ci-haut ;
- une figure d'interprétation des unités sédimentaires (56BC et 63BC) ;
- les statistiques descriptives des données XRF ;
- les histogrammes des données XRF ;
- le tableau de corrélations de Spearman des variables XRF ;
- les tests de normalité des variables XRF ;
- les histogrammes de la variance associée aux 10 premières composantes principales de l'ACP sur les données XRF ;
- les cotes (*scores*) et valeurs propres (*eigenvalues*) des deux premières composantes principales de l'ACP sur les données XRF (sauf 56BC et 63BC, voir article) ;
- les figures de transformées de Fourier (FFT) des données XRF.

\*\*\*\*\*

Voir les documents propres à chaque carottes : UBV\_memoire\_XXBC.pdf, où XX est 56, 58, 62, 63 ou 64.

## 1.1 56BC

Voir le fichier [UBV memoire 56BC.pdf](#) contenant les figures 56BC-1 à 56BC-11 et tableaux 56BC-1 à 56BC-3. Se référer à l'article pour une présentation complète de la carotte 56BC.

### Liste des figures 56BC

Les corrélations montrent que certaines variables sont en corrélation avec le temps, soit Si, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, ce qui suggèrent la présence d'une tendance linéaire vu la forme du modèle d'âge (tableau 56BC-3). De plus, il semble y avoir de fortes relations entre Fe, K, Ca, Ti, Mn et certaines avec Sr. Cette association se confirme avec l'analyse en composantes principale (voir figure 8 ci-haut et 56BC-9), alors que ces mêmes éléments ont de fortes relations avec la composante principale 1..... XXVI

Figure 56BC-1 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 56BC..... XXVII

Figure 56BC-2 : Profils granulométriques de la carotte 56BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm) ..... XXVIII

Figure 56BC-3 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 56BC selon la profondeur (cm)..... XXIX

Figure 56BC-4 : Profils de  $N_{tot}$ ,  $C_{tot}$ ,  $C_{org}/N_{tot}$ ,  $CaCO_3$ ,  $C_{org}$  et  $\delta^{13}C_{org}$  de la carotte 56BC..... XXX

Figure 56BC-5 : Profils optiques  $I^*$  (noir-blanc),  $a^*$  (vert-rouge) et  $b^*$  (jaune-bleu) pour la carotte 56BC ..... XXXI

Figure 56BC-6 : Unités sédimentologiques de la carotte 56BC..... XXXII

Figure 56BC-7 : Taux de sédimentation pour la carotte 56BC d'après les profils de  $^{210}Pb$  corrigé et de  $Li^{210}Pb$  en excès ..... XXXIII

Figure 56BC-8 : Figure synthèse de la carotte 56BC selon la profondeur (cm)... XXXIV

Figure 56BC-9 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 56BC ..... XXXVI

Figure 56BC-10 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 56BC ..... XLIX

Figure 56BC-11 : Transformées rapides de Fourier (FFT) pour les données XRF normalisées de la carotte 56BC ..... L

### Liste des tableaux 56BC

Tableau 56BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 56BC XXXIV

Tableau 56BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 56BC..... XLIII

Tableau 56BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 56BC ..... XLVIII

## Analyse sommaire

Se référer à l'article pour une présentation complète de la carotte 56BC. L'analyse des graphiques et tableaux ajoute quelques éléments :

- L'analyse visuelle en laboratoire a montré que la carotte était très homogène (voir aussi annexe 3) ;
- Au laboratoire, il a été déterminé que l'unité sommitale commençait à 29,5 cm de profondeur mais les profils physiques, la granulométrie et les données XRF montrent que les paramètres sont plus constants en considérant seulement les 25 premiers cm (figures 56BC-1 à 56BC-3); c'est pourquoi le modèle d'âge a été restreint à cet intervalle (figure 56BC-6).
- Le pic de sable grossier à 20 cm est à retenir (figure 56BC-2);
- Les pourcentages de zéros de 49 et 59% de l'aluminium et du vanadium ont permis de les écarter des analyses (tableau 56BC-1)
- Les histogrammes (figure 56BC-3) et les tests de normalité (tableau 56BC-2) montrent que seuls S et Ar semblent s'approcher d'une distribution normale.

Les corrélations montrent que certaines variables sont en corrélation avec le temps, soit Si, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, ce qui suggèrent la présence d'une tendance linéaire vu la forme du modèle d'âge (tableau 56BC-3). De plus, il semble y avoir de fortes relations entre Fe, K, Ca, Ti, Mn et certaines avec Sr. Cette association se confirme avec l'analyse en composantes principale (voir figure 8 ci-haut et 56BC-9), alors que ces mêmes éléments ont de fortes relations avec la composante principale 1.

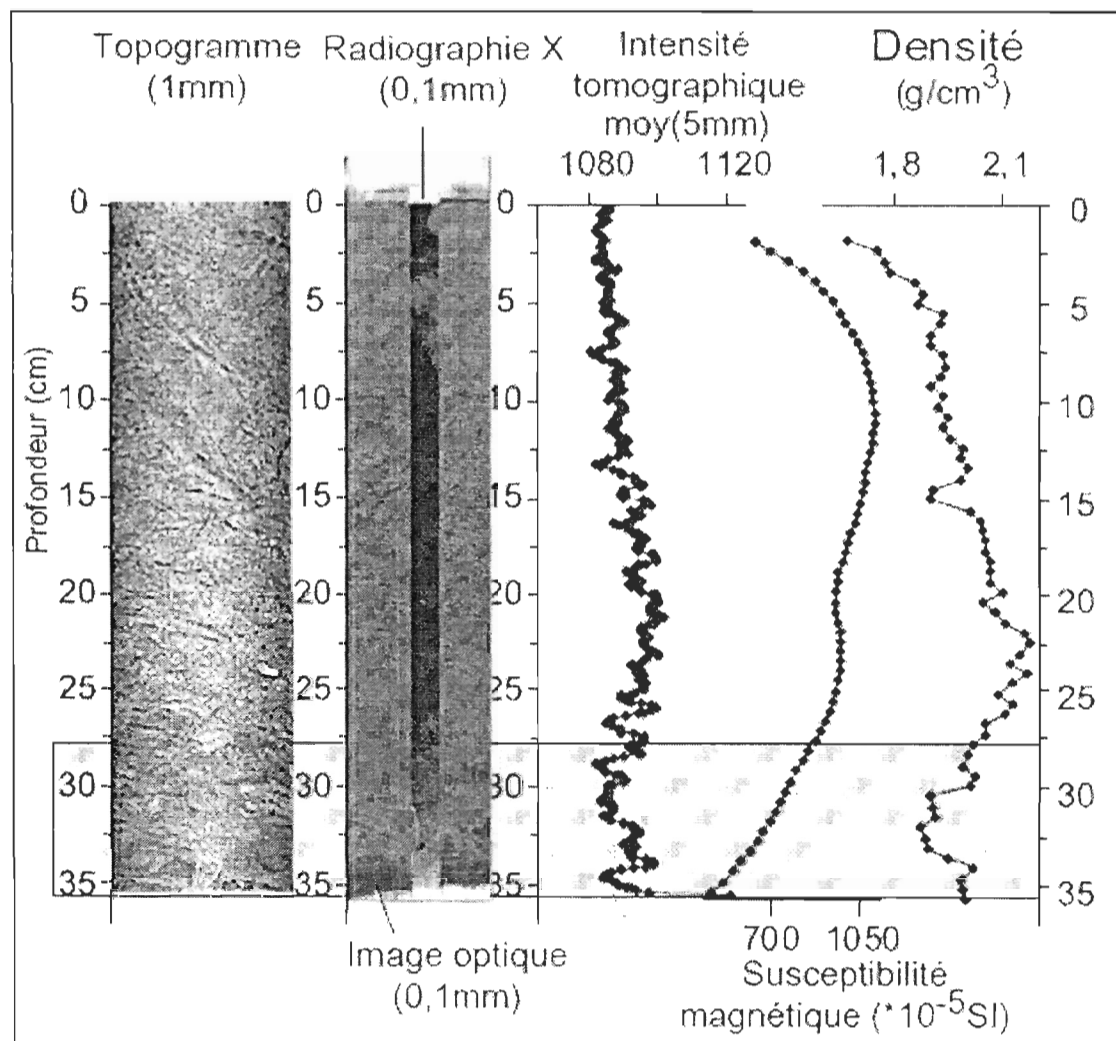


Figure 56BC-1 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 56BC



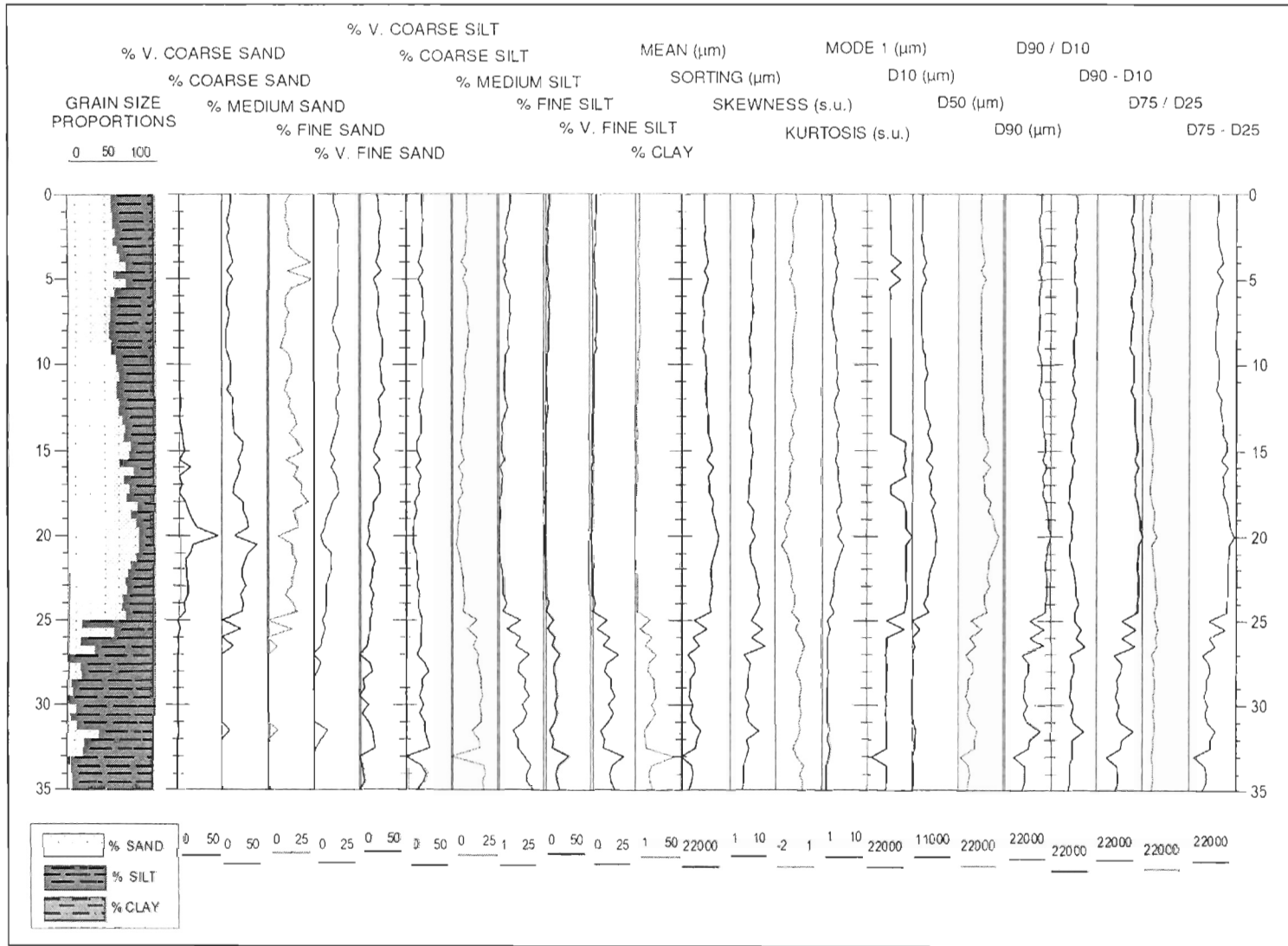


Figure 56BC-2 : Profils granulométriques de la carotte 56BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm)

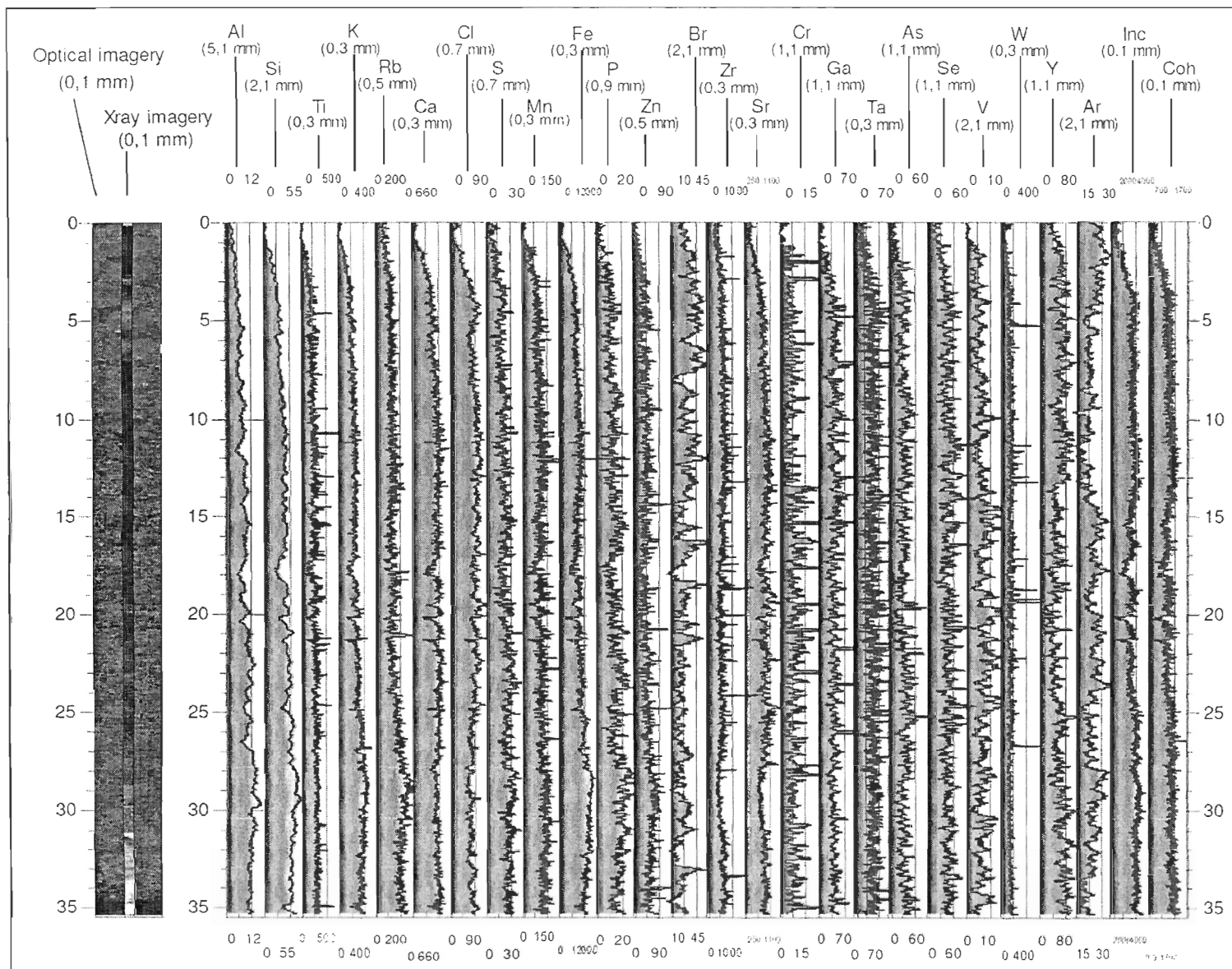


Figure 56BC-3 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 56BC selon la profondeur (cm)

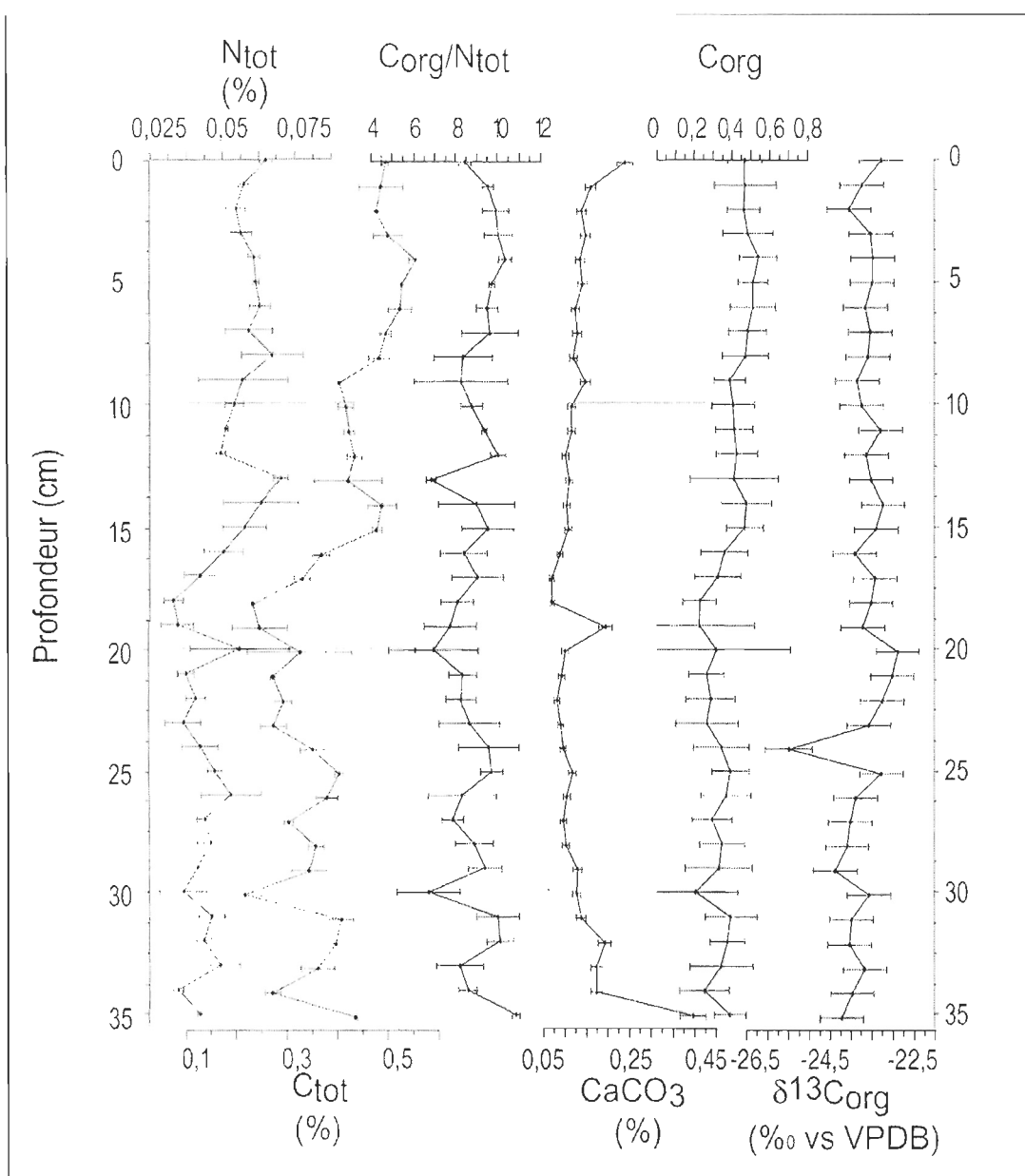


Figure 56BC-4 : Profils de  $N_{tot}$ ,  $C_{tot}$ ,  $C_{org}/N_{tot}$ ,  $CaCO_3$ ,  $C_{org}$  et  $\delta^{13}C_{org}$  de la carotte 56BC

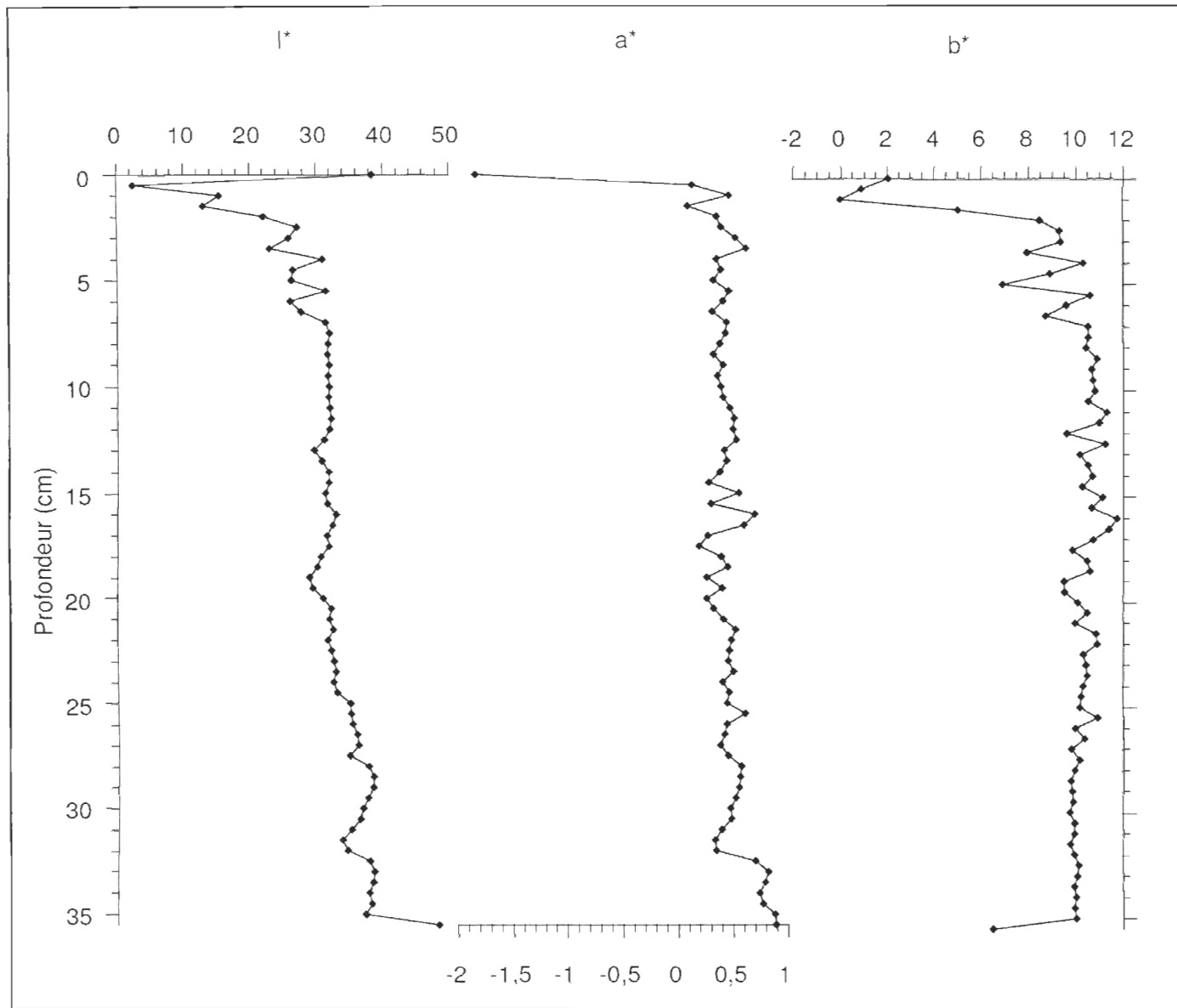


Figure 56BC-5 : Profils optiques  $l^*$  (noir-blanc),  $a^*$  (vert-rouge) et  $b^*$  (jaune-bleu) pour la carotte 56BC

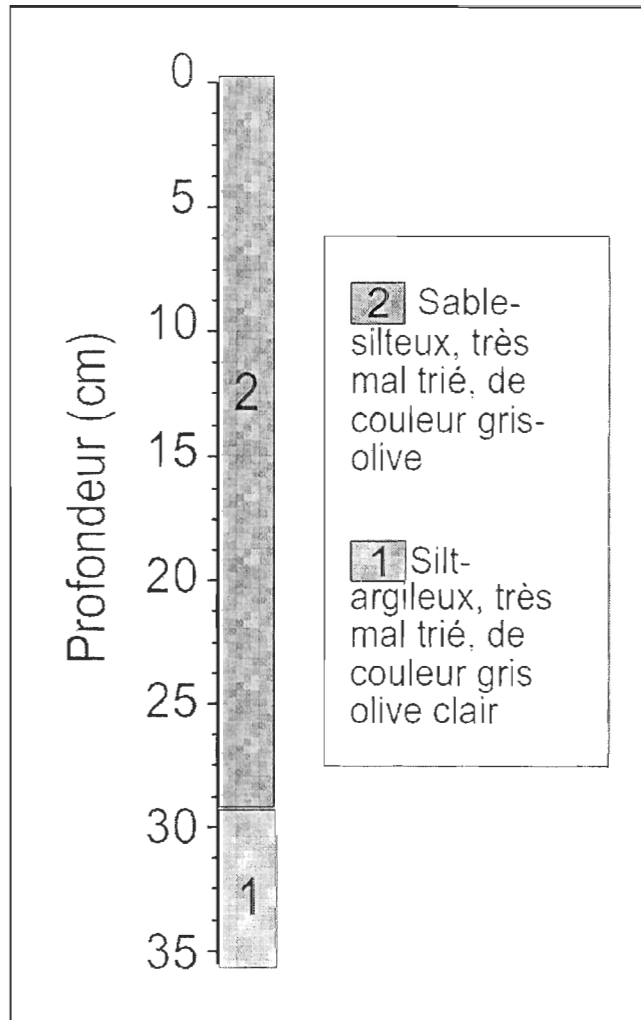


Figure 56BC-6 : Unités sédimentologiques de la carotte 56BC

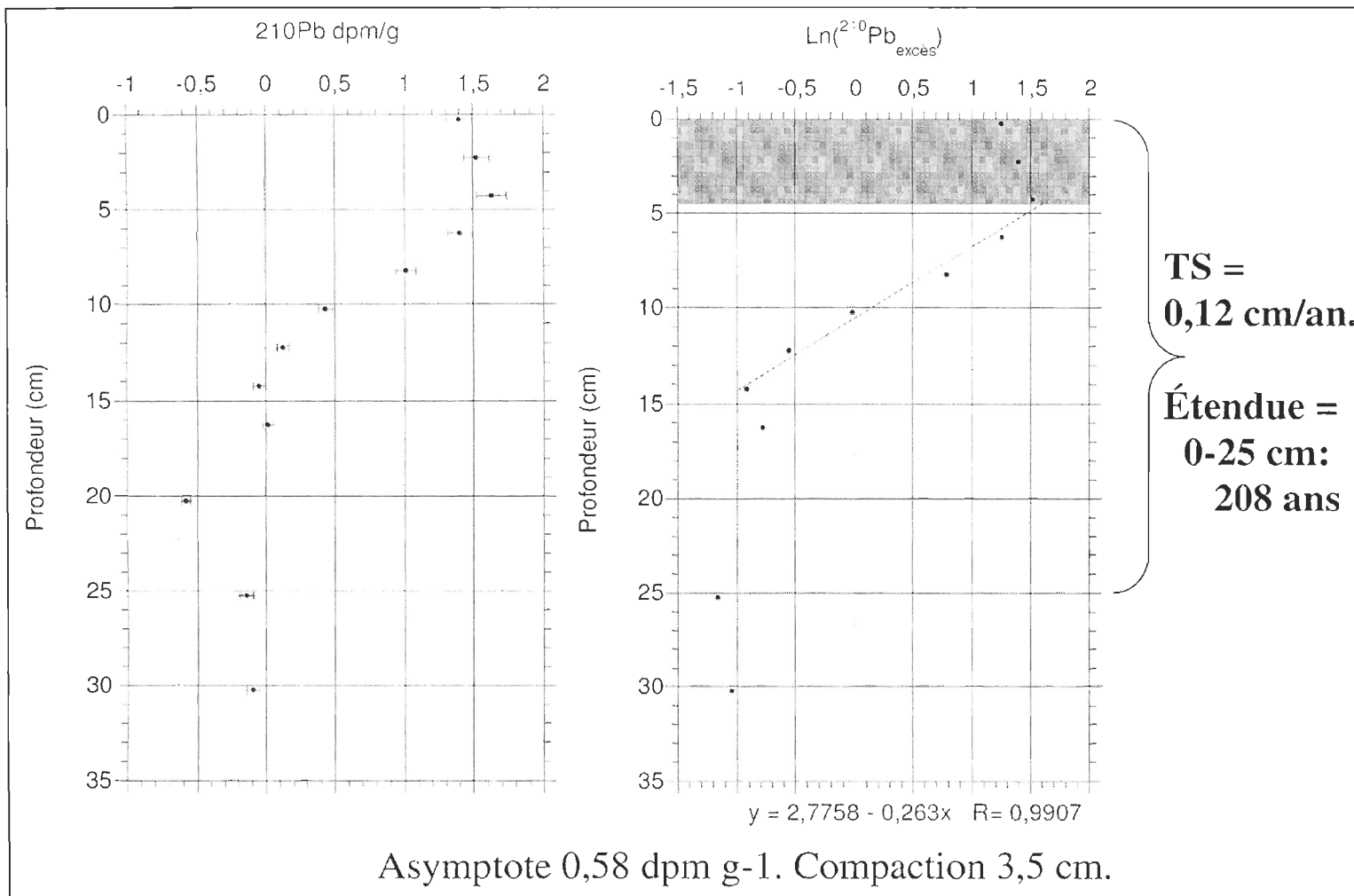


Figure 56BC-7 : Taux de sédimentation pour la carotte 56BC d'après les profils de  $^{210}\text{Pb}$  corrigé et de  $\text{Ln}^{210}\text{Pb}$  en excès

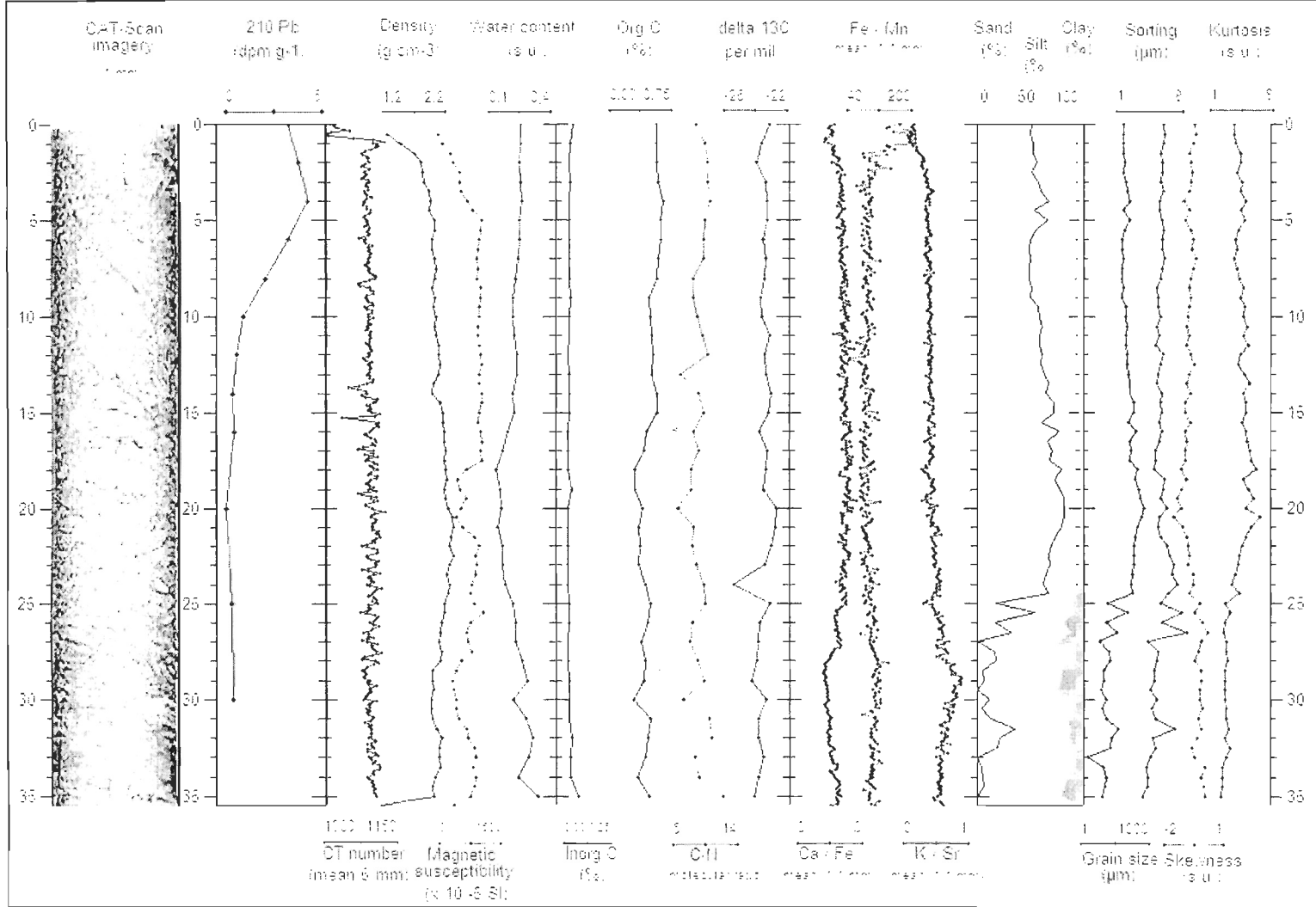


Figure 56BC-8 : Figure synthèse de la carotte 56BC selon la profondeur (cm)

Tableau 56BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 56BC

56BC	Al_1	Si_1	P_1	S_1	Cl_1	Ar_1	K_1	Ca_1	Ti_1	V_1	Mn_1	Fe_1	Zn_1
Moyenne	5.0988	26.3224	9.0816	14.6268	57.434	21.7284	162.011	378.213	165.653	4.6212	67.0244	5743.95	25.458
Variance	28.4052	118.151	41.3547	55.7146	319.043	54.7421	2535.89	12517.6	4627.56	47.3823	900.975	2459269	324.916
Écart-type	5.32965	10.8697	6.43076	7.46422	17.8618	7.39879	50.3576	111.882	68.0261	6.88348	30.0163	1568.21	18.0254
Médiane	5	27	9	14	59	22	170	402	164	0	67	5994.5	24
Quantile	0	7	0	0	19	10	44.95	105	50	0	15.95	2058.75	0
Skewness	0.71626	-0.1657	0.3272	0.13838	-0.5784	0.05999	-0.8926	-1.1717	0.94103	1.60034	2.44987	-0.9546	0.77915
Kurtose	-0.2836	0.02765	-0.1787	-0.0558	0.6881	-0.0015	0.86243	1.35644	4.4264	2.34719	35.501	1.20348	1.24931
Max	26	66	37	44	113	52	330	763	684	41	557	10442	133
Min	0	0	0	0	0	0	8	29	12	0	0	934	0
n	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
% zéros	0.4328	0.0284	0.204	0.0668	0.0012	0.0044	4.00E-04	4.00E-04	4.00E-04	0.5944	0.016	4.00E-04	0.1224
56BC	Ga_1	As_1	Se_1	Br_1	Rb_1	Sr_1	Y_1	Zr_1	Ta_1	W_1	inc_1	coh_1	
Moyenne	30.8092	21.8664	30.9456	26.2772	91.6836	697.325	40.4068	410.605	33.2944	96.716	3055.78	1196.13	
Variance	645.699	353.867	561.274	453.807	1044.13	16281.6	796.317	16787.2	270.463	1750.93	83732.4	18520.5	
Écart-type	25.4106	18.8114	23.6912	21.3028	32.313	127.599	28.2191	129.566	16.4458	41.8441	289.365	136.09	
Médiane	28	20	29	24	90	711	38	393	32	93	3124	1219	
Quantile	0	0	0	0	40.95	433.95	0	253	9	44	2374	892.95	
Skewness	2.54943	0.91545	0.89928	0.66778	0.29202	-0.4506	0.56674	2.46485	0.66773	3.43268	-1.1588	-0.9721	
Kurtose	15.1419	1.465	1.44868	0.11018	0.23323	0.78759	0.23579	15.05	1.40669	23.0546	1.08175	0.96401	
Max	261	159	169	129	212	1176	180	1872	117	533	3747	1612	
Min	0	0	0	0	0	290	0	165	0	7	2108	740	
n	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	
% zéros	0.1104	0.2204	0.1416	0.198	0.002	4.00E-04	0.1164	4.00E-04	0.0208	4.00E-04	4.00E-04	4.00E-04	



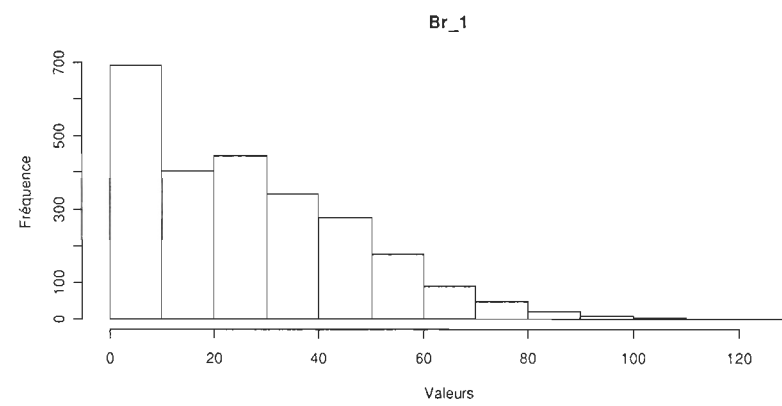
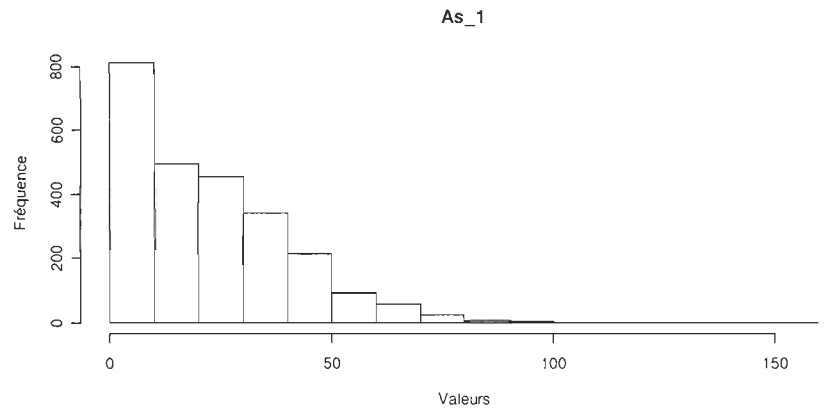
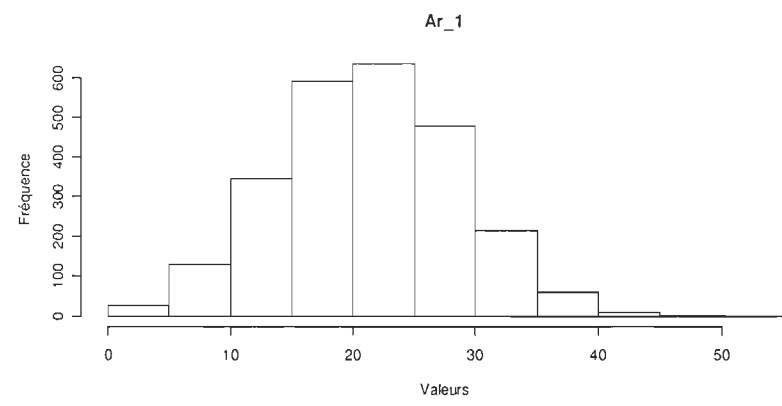
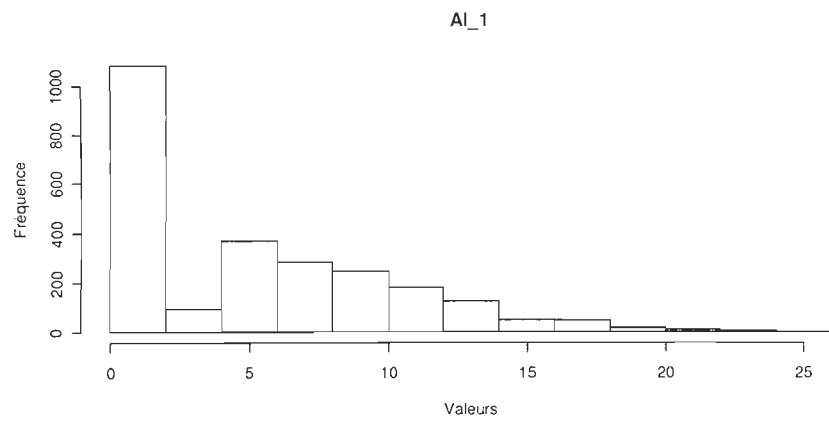
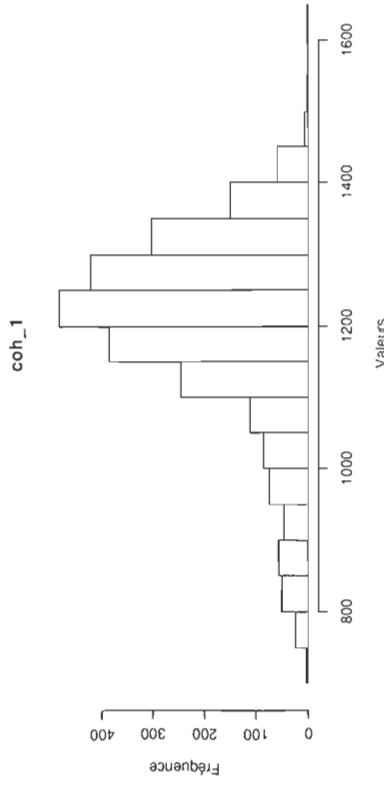
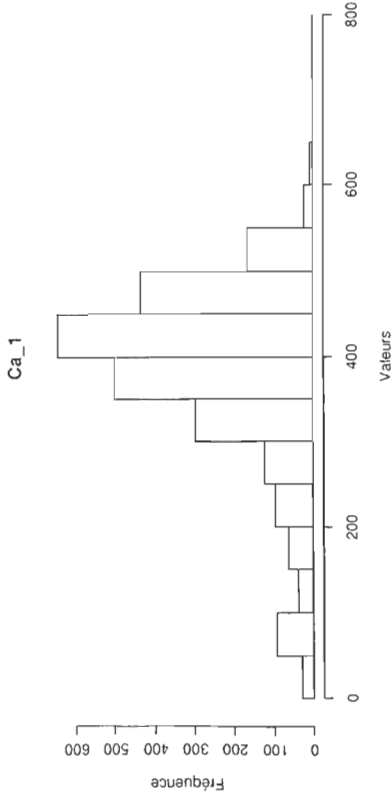
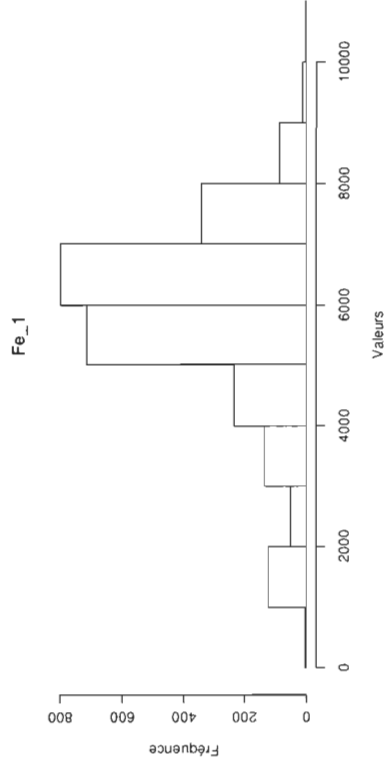
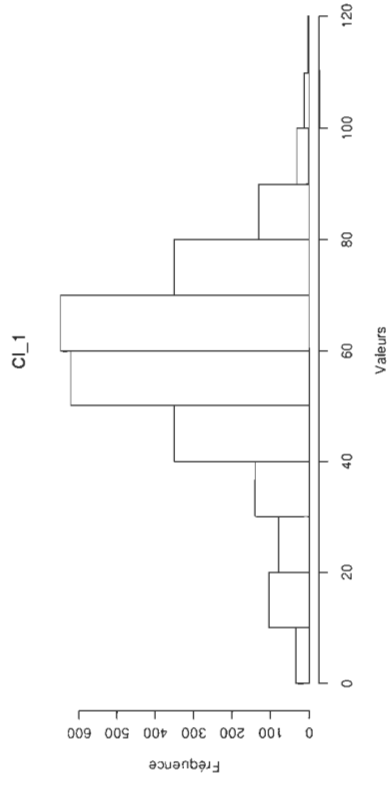
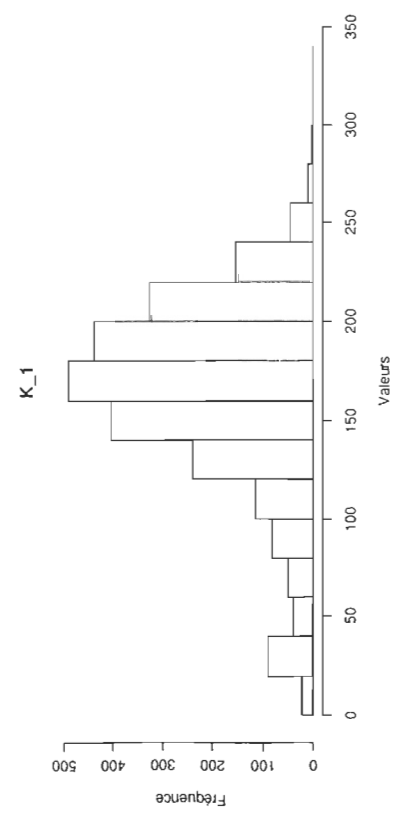
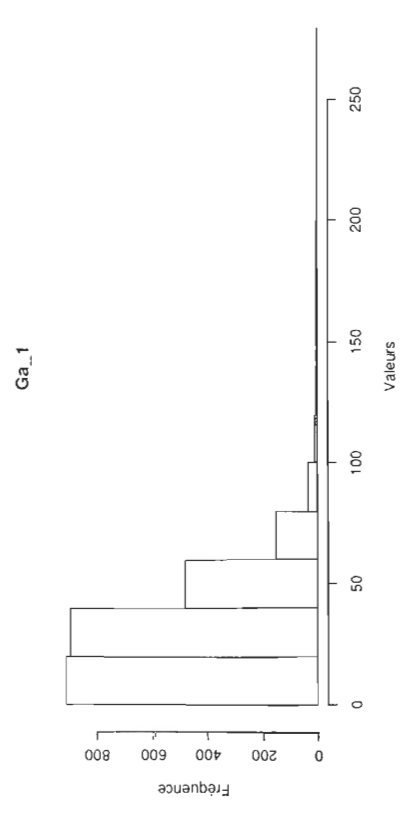
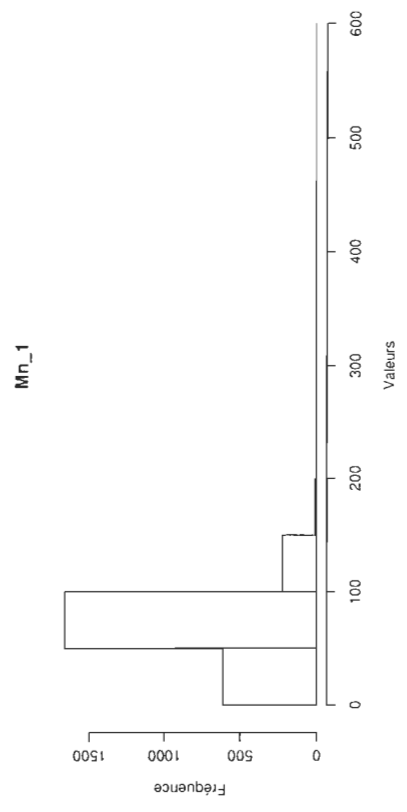
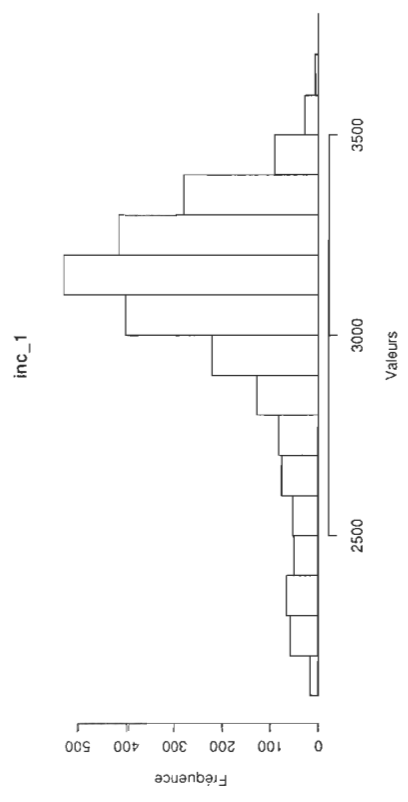
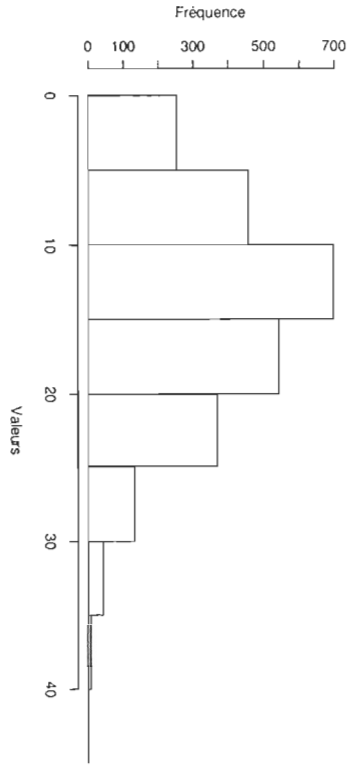


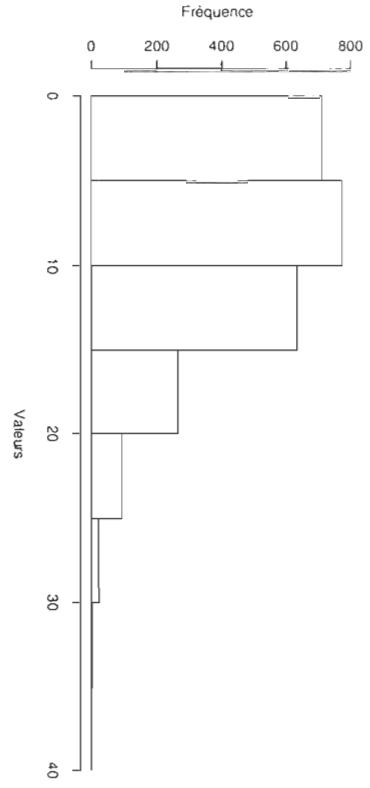
Figure 56BC-9 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 56BC



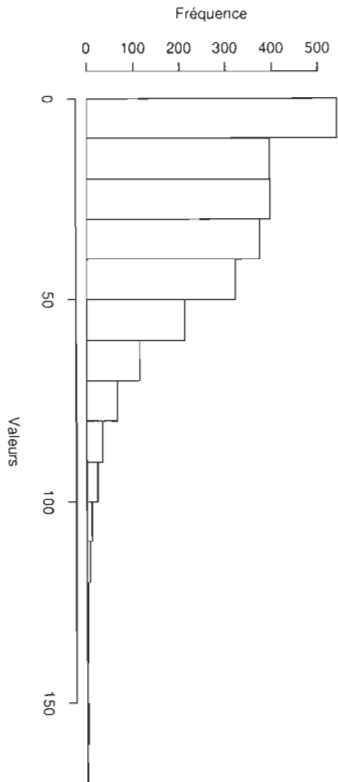




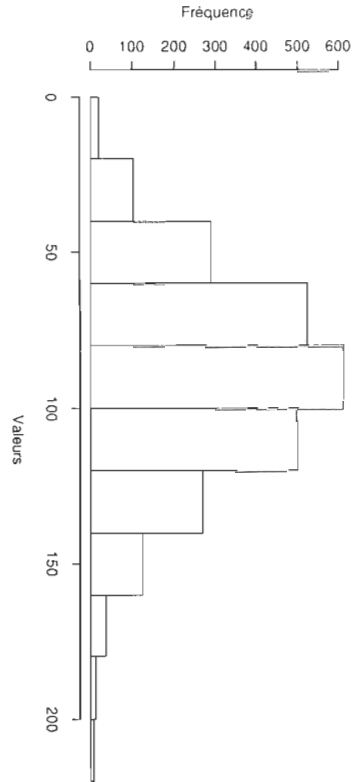
S\_1



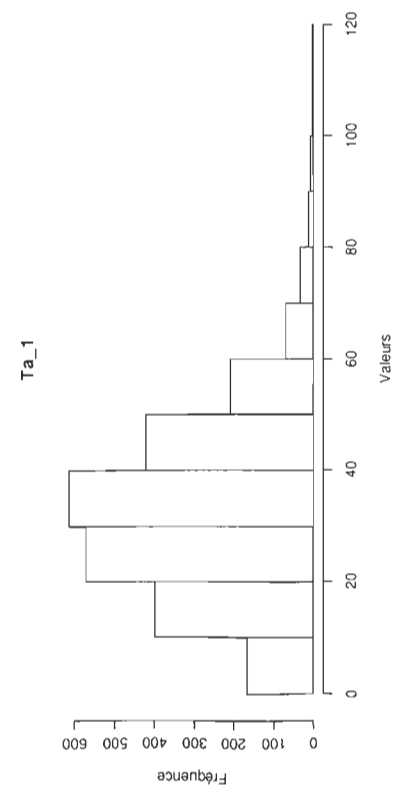
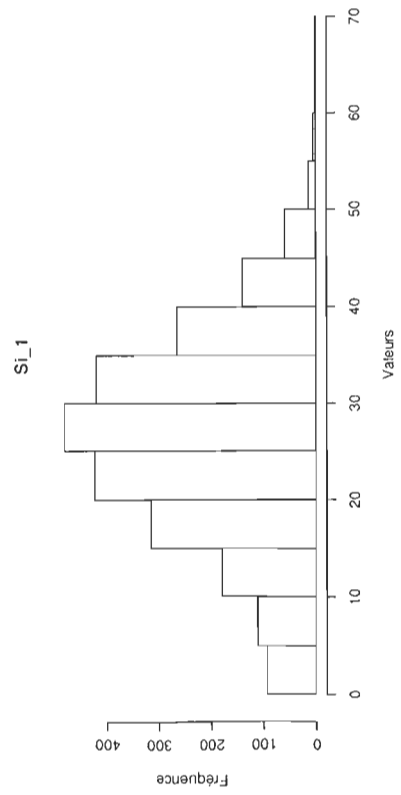
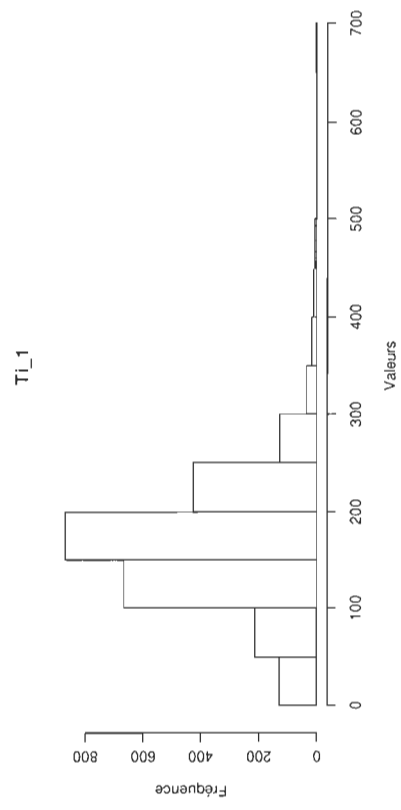
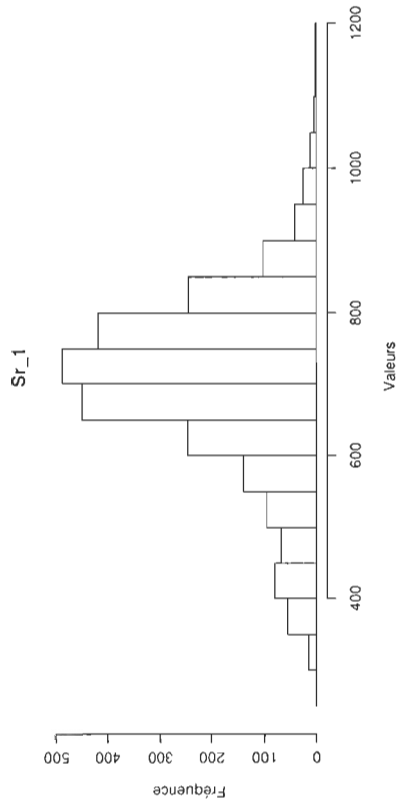
P\_1

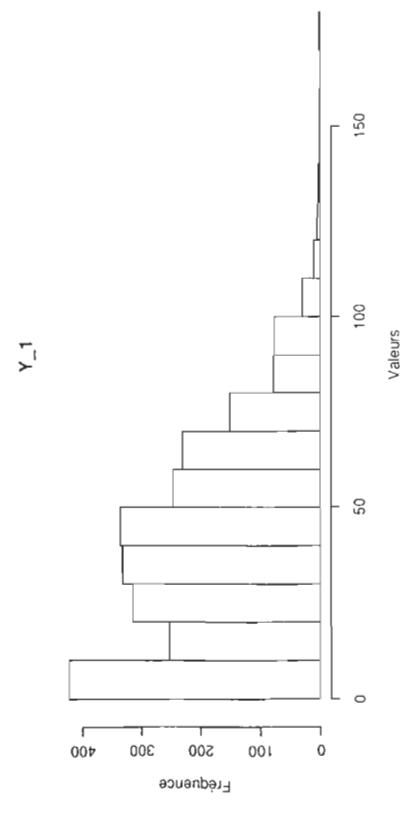
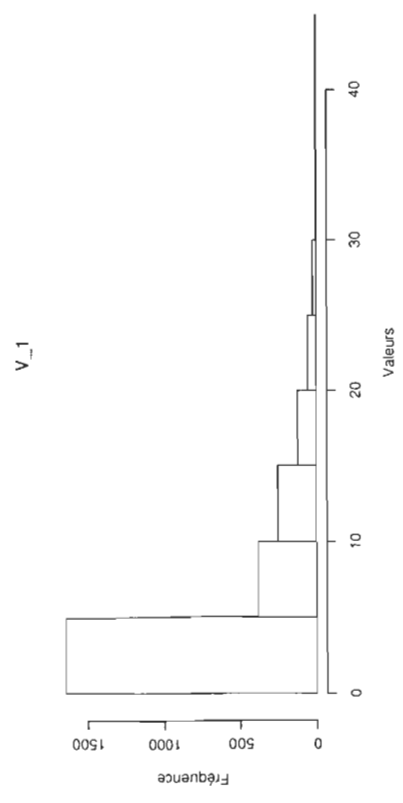
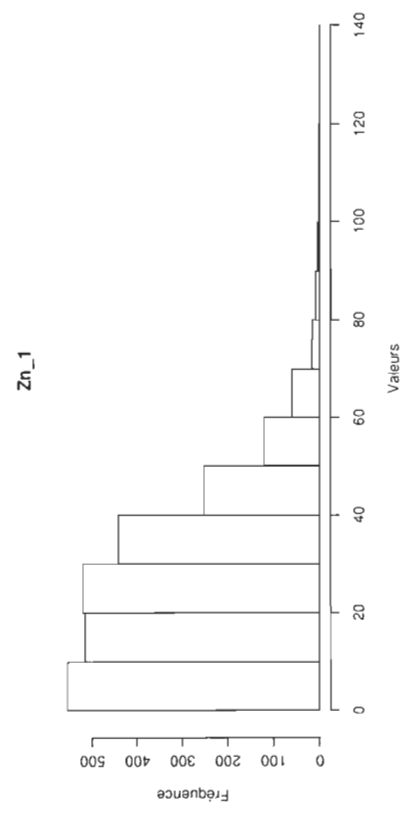
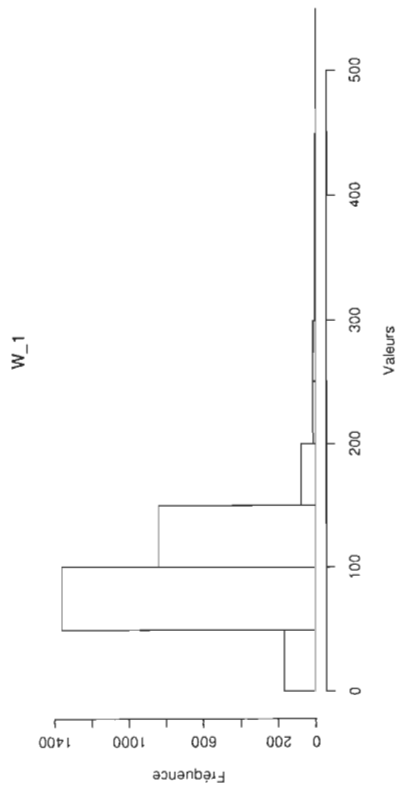


Se\_1



Rb\_1





Zr\_1

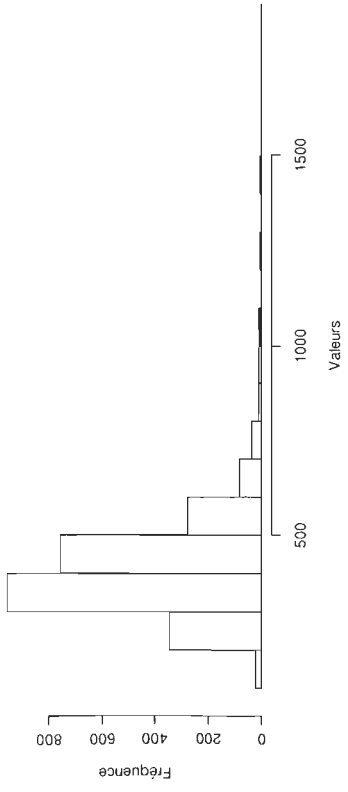


Tableau 56BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 56BC

56BC	Méthode	Indice	valeur P	56BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Al 1	Al 1	Al 1	element	Ga 1	Ga 1	Ga 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.8550726	4.00E-43	W	Shapiro-Wilk normality test	0.8327904	2.38E-45
X-squared	Jarque Bera Test	222.270343	0	X-squared	Jarque Bera Test	26640.1734	0
LM	Jarque Bera Test	222.27	0	LM	Jarque Bera Test	26640.173	0
ALM	Jarque Bera Test	222.693	0	ALM	Jarque Bera Test	26798.269	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	186.492623	0	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1520.90008	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	13.253367	0	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	31.1105524	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-3.29255028	0.00099283	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	23.5166665	0
A	Anderson - Darling Normality Test	133.158991	4.24E-187	A	Anderson - Darling Normality Test	48.1833518	6.70E-101
D	Lilliefors Test	0.26343691	0	D	Lilliefors Test	0.11266928	1.11E-86
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	22392.9552	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1570.468	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	22392.9552	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1570.468	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.85540748	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.83207018	0
element	Si 1	Si 1	Si 1	element	As 1	As 1	As 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9927967	8.71E-10	W	Shapiro-Wilk normality test	0.92032476	1.91E-34
X-squared	Jarque Bera Test	11.5482051	0.00310698	X-squared	Jarque Bera Test	574.268644	0
LM	Jarque Bera Test	11.548	0.003	LM	Jarque Bera Test	574.269	0
ALM	Jarque Bera Test	11.592	0.003	ALM	Jarque Bera Test	577.199	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	11.5105635	0.00316601	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	343.463498	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-3.3717479	0.00074693	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	16.1472464	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.37666916	0.70641948	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.09559962	0
A	Anderson - Darling Normality Test	3.85058739	1.35E-09	A	Anderson - Darling Normality Test	41.5961645	2.42E-89
D	Lilliefors Test	0.04045324	3.74E-10	D	Lilliefors Test	0.12253558	4.46E-103
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	976.7168	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	5077.1936	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	976.7168	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	5077.1936	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99300621	3.95E-09	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9200408	0
element	P 1	P 1	P 1	element	Se 1	Se 1	Se 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.95198954	6.84E-28	W	Shapiro-Wilk normality test	0.93987465	1.03E-30
X-squared	Jarque Bera Test	47.9027012	3.96E-11	X-squared	Jarque Bera Test	557.053064	0
LM	Jarque Bera Test	47.903	0	LM	Jarque Bera Test	557.053	0
ALM	Jarque Bera Test	47.941	0	ALM	Jarque Bera Test	559.916	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	46.3771579	8.50E-11	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	335.199557	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.53643209	6.30E-11	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.9251135	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-1.9110765	0.05599475	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.03273587	0
A	Anderson - Darling Normality Test	28.1947766	1.15E-63	A	Anderson - Darling Normality Test	23.3610525	1.08E-53
D	Lilliefors Test	0.12505628	1.70E-107	D	Lilliefors Test	0.09574144	7.11E-62
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	6901.3328	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2138.3088	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	6901.3328	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2138.3088	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.95223772	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9398326	0



56BC	Méthode	Indice	valeur P
element	S 1	S 1	S 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98743757	4.79E-14
X-squared	Jarque Bera Test	8.28527887	0.01588088
LM	Jarque Bera Test	8.285	0.016
ALM	Jarque Bera Test	8.28	0.016
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.20006086	0.01657217
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.8214269	0.00478105
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-0.48950087	0.62448714
A	Anderson - Darling Normality Test	5.38968547	2.69E-13
D	Lilliefors Test	0.04346455	8.14E-12
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2532.4368	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2532.4368	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98769018	4.57E-13
element	Cl 1	Cl 1	Cl 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9693898	1.12E-22
X-squared	Jarque Bera Test	189.322754	0
LM	Jarque Bera Test	189.323	0
ALM	Jarque Bera Test	190.305	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	151.114881	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-11.0373517	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.41218533	6.23E-08
A	Anderson - Darling Normality Test	24.8055674	1.03E-56
D	Lilliefors Test	0.08223324	4.26E-45
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	462.9152	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	462.9152	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.96952336	0
element	Ar 1	Ar 1	Ar 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9971317	0.00012656
X-squared	Jarque Bera Test	1.50161186	0.47198601
LM	Jarque Bera Test	1.502	0.472
ALM	Jarque Bera Test	1.506	0.472
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.51458644	0.46893401
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.22792133	0.2194765
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.08243566	0.93430028
A	Anderson - Darling Normality Test	2.1495536	1.85E-05
D	Lilliefors Test	0.03304776	1.24E-06
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2112.88	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2112.88	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99714893	0.00016397

56BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Br 1	Br 1	Br 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.93845975	5.17E-31
X-squared	Jarque Bera Test	187.348272	0
LM	Jarque Bera Test	187.348	0
ALM	Jarque Bera Test	187.86	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	157.473108	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	12.4944338	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.16714677	0.2491511
A	Anderson - Darling Normality Test	33.3579489	6.67E-74
D	Lilliefors Test	0.10869246	1.79E-80
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4097.9456	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4097.9456	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.938649	0
element	Rb 1	Rb 1	Rb 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99473985	9.23E-08
X-squared	Jarque Bera Test	41.3678036	1.04E-09
LM	Jarque Bera Test	41.368	0
ALM	Jarque Bera Test	41.607	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	39.3905716	2.80E-09
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.86242382	4.56E-09
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.24110657	0.02501917
A	Anderson - Darling Normality Test	2.26144694	9.87E-06
D	Lilliefors Test	0.02682267	0.00026948
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	136.3152	1.24E-11
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	136.3152	4.01E-11
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99484398	2.45E-07
element	Sr 1	Sr 1	Sr 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.97008607	2.00E-22
X-squared	Jarque Bera Test	149.810774	0
LM	Jarque Bera Test	149.811	0
ALM	Jarque Bera Test	150.804	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	113.556613	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-8.81942687	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.981164	2.22E-09
A	Anderson - Darling Normality Test	27.2147257	1.13E-61
D	Lilliefors Test	0.08141939	3.59E-44
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	382.8384	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	382.8384	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.97009471	0

56BC	Methode	Indice	valeur P
element	K 1	K 1	K 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.94346275	6.30E-30
X-squared	Jarque Bera Test	410.388008	0
LM	Jarque Bera Test	410.388	0
ALM	Jarque Bera Test	412.092	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	291.451521	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-15.832443	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.38633449	1.70E-10
A	Anderson - Darling Normality Test	39.7502239	5.59E-86
D	Lilliefors Test	0.08649512	4.22E-50
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	524.1504	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	524.1504	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.94358912	0
element	Ca 1	Ca 1	Ca 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.90494686	6.70E-37
X-squared	Jarque Bera Test	765.378477	0
LM	Jarque Bera Test	765.378	0
ALM	Jarque Bera Test	768.598	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	451.266984	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-19.3941417	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.66800161	0
A	Anderson - Darling Normality Test	74.0540343	1.67E-139
D	Lilliefors Test	0.1200649	7.75E-99
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	766.7728	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	766.7728	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9050009	0
element	Ti 1	Ti 1	Ti 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.95002943	2.21E-28
X-squared	Jarque Bera Test	2415.84377	0
LM	Jarque Bera Test	2415.844	0
ALM	Jarque Bera Test	2431.272	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	527.969016	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	16.4940646	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.9973388	0
A	Anderson - Darling Normality Test	16.0891479	5.64E-38
D	Lilliefors Test	0.05601245	3.57E-20
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	188.3136	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	188.3136	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.94944228	0

56BC	Methode	Indice	valeur P
element	Y 1	Y 1	Y 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.96280074	7.27E-25
X-squared	Jarque Bera Test	139.909416	0
LM	Jarque Bera Test	139.909	0
ALM	Jarque Bera Test	140.387	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	122.64309	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	10.8409085	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.26225364	0.02368174
A	Anderson - Darling Normality Test	14.8099525	4.02E-35
D	Lilliefors Test	0.07608675	2.38E-38
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1349.5376	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1349.5376	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.96292594	0
element	Zr 1	Zr 1	Zr 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.85302808	2.43E-43
X-squared	Jarque Bera Test	26173.7611	0
LM	Jarque Bera Test	26173.761	0
ALM	Jarque Bera Test	26329.643	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1486.11136	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	30.5720651	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	23.4831896	0
A	Anderson - Darling Normality Test	53.5233864	9.37E-110
D	Lilliefors Test	0.08795603	7.05E-52
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	397.216	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	397.216	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.85183923	0
element	Ta 1	Ta 1	Ta 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.97505222	1.70E-20
X-squared	Jarque Bera Test	393.160336	0
LM	Jarque Bera Test	393.16	0
ALM	Jarque Bera Test	395.563	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	234.748168	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	12.4937576	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.86871977	0
A	Anderson - Darling Normality Test	6.60785374	3.36E-16
D	Lilliefors Test	0.04098989	1.93E-10
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	247.3408	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	247.3408	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.97502956	0

56BC	Méthode	Indice	valeur P
element	V 1	V 1	V 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.7213994	9.09E-54
X-squared	Jarque Bera Test	1644.37876	0
LM	Jarque Bera Test	1644.379	0
ALM	Jarque Bera Test	1651.594	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	712.0928	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	23.8798919	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	11.9098095	0
A	Anderson - Darling Normality Test	277.763363	1.88E-65
D	Lilliefors Test	0.34340016	0
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	39689.2864	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	39689.2864	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.72141705	0
element	Mn 1	Mn 1	Mn 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.88481902	1.13E-39
X-squared	Jarque Bera Test	134015.336	0
LM	Jarque Bera Test	134015.336	0
ALM	Jarque Bera Test	134830.416	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1698.15066	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	30.4749724	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	27.738542	0
A	Anderson - Darling Normality Test	21.7228231	3.17E-50
D	Lilliefors Test	0.0543046	6.70E-19
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	296.5624	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	296.5624	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.88268316	0
element	Fe 1	Fe 1	Fe 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.93293491	3.91E-32
X-squared	Jarque Bera Test	531.839208	0
LM	Jarque Bera Test	531.839	0
ALM	Jarque Bera Test	534.273	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	342.473621	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-16.6754824	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.02507989	1.11E-15
A	Anderson - Darling Normality Test	53.0418713	5.64E-109
D	Lilliefors Test	0.10833251	6.34E-80
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	581.4848	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	581.4848	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.93309374	0

56BC	Méthode	Indice	valeur P
element	W 1	W 1	W 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.75893295	2.63E-51
X-squared	Jarque Bera Test	60381.7332	0
LM	Jarque Bera Test	60381.733	0
ALM	Jarque Bera Test	60738.84	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1951.68737	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	35.9218673	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	25.7158865	0
A	Anderson - Darling Normality Test	98.5713156	4.23E-166
D	Lilliefors Test	0.14229871	3.21E-140
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	723.4792	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	723.4792	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.75783182	0
element	inc 1	inc 1	inc 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.904494	5.74E-37
X-squared	Jarque Bera Test	682.810864	0
LM	Jarque Bera Test	682.811	0
ALM	Jarque Bera Test	685.441	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	426.13712	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-19.2419637	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	7.47555711	7.68E-14
A	Anderson - Darling Normality Test	79.4204116	3.73E-146
D	Lilliefors Test	0.13252106	3.97E-121
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	903.9264	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	903.9264	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.90471102	0
element	coh 1	coh 1	coh 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.93733017	3.01E-31
X-squared	Jarque Bera Test	491.691011	0
LM	Jarque Bera Test	491.691	0
ALM	Jarque Bera Test	493.711	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	333.626324	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-16.9087708	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.90795146	4.92E-12
A	Anderson - Darling Normality Test	46.8108204	1.50E-98
D	Lilliefors Test	0.09538678	2.12E-61
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	526.5424	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	526.5424	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.93743461	0

56BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Zn 1	Zn 1	Zn 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.95329006	1.48E-27
X-squared	Jarque Bera Test	416.720899	0
LM	Jarque Bera Test	416.721	0
ALM	Jarque Bera Test	418.943	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	269.407092	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.205248	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.22301776	2.22E-16
A	Anderson - Darling Normality Test	15.9637875	1.07E-37
D	Lilliefors Test	0.07892513	2.14E-41
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1639.3744	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1639.3744	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.95321743	0

Tableau 56BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 56BC

Spearman ranked correlation {QRMLib} using R 2.6.2

bc56	Age_1	Si_1	P_1	S_1	Cl_1	Ar_1	K_1	Ca_1	Ti_1	Mn_1	Fe_1	Zn_1	Ga_1	As_1	Se_1	Br_1	Rb_1	Sr_1	Y_1	Zr_1	Ta_1	W_1	inc_1	coh_1
n=2500	1	0.55	0.3	0.39	0.45	-0	0.69	0.61	0.52	0.41	0.52	0.21	0.2	0.15	0.15	-0.16	0.29	0.46	-0.16	0.11	0.21	0.33	0.1	0.21
Si_1	0.55	1	0.42	0.49	0.5	0.11	0.64	0.64	0.52	0.39	0.59	0.23	0.18	0.16	0.15	-0.05	0.23	0.46	-0.03	0.23	0.2	0.32	0.32	0.35
P_1	0.3	0.42	1	0.53	0.43	0.3	0.33	0.32	0.28	0.09	0.3	0.1	0.11	0.07	0.11	-0.02	0.09	0.22	-0.02	0.1	0.11	0.15	0.13	0.14
S_1	0.39	0.49	0.53	1	0.47	0.34	0.43	0.39	0.35	0.18	0.39	0.13	0.09	0.11	0.12	-0.04	0.14	0.24	-0.03	0.13	0.14	0.19	0.15	0.18
Cl_1	0.45	0.5	0.43	0.47	1	0.06	0.48	0.49	0.41	0.33	0.48	0.23	0.21	0.16	0.17	-0.01	0.22	0.47	0.01	0.24	0.25	0.36	0.43	0.42
Ar_1	-0	0.11	0.3	0.34	0.06	1	-0.05	-0.06	-0.06	-0.17	-0.06	-0.08	-0.09	-0.05	-0.03	-0.01	-0.1	-0.15	-0.06	-0.13	-0.06	-0.12	-0.23	-0.19
K_1	0.69	0.64	0.33	0.43	0.48	-0.05	1	0.74	0.62	0.51	0.7	0.3	0.21	0.19	0.17	-0.06	0.31	0.56	-0.04	0.27	0.27	0.39	0.37	0.42
Ca_1	0.61	0.64	0.32	0.39	0.49	-0.06	0.74	1	0.64	0.58	0.75	0.32	0.23	0.18	0.18	-0.03	0.27	0.59	0.01	0.31	0.26	0.42	0.43	0.46
Ti_1	0.52	0.52	0.28	0.35	0.41	-0.06	0.62	0.64	1	0.53	0.67	0.25	0.2	0.16	0.14	-0.01	0.27	0.47	0	0.28	0.21	0.36	0.36	0.39
Mn_1	0.41	0.39	0.09	0.18	0.33	-0.17	0.51	0.58	0.53	1	0.64	0.29	0.2	0.13	0.13	0	0.22	0.42	0.01	0.24	0.23	0.34	0.38	0.41
Fe_1	0.52	0.59	0.3	0.39	0.48	-0.06	0.7	0.75	0.67	0.64	1	0.34	0.22	0.17	0.18	-0.02	0.25	0.5	0.03	0.3	0.27	0.38	0.41	0.46
Zn_1	0.21	0.23	0.1	0.13	0.23	-0.08	0.3	0.32	0.25	0.29	0.34	1	0.19	0.14	0.09	0.01	0.12	0.24	0.05	0.19	0.25	0.23	0.26	0.26
Ga_1	0.2	0.18	0.11	0.09	0.21	-0.09	0.21	0.23	0.2	0.2	0.22	0.19	1	0.11	0.12	0.06	0.19	0.26	0.04	0.19	-0.07	0.26	0.24	0.23
As_1	0.15	0.16	0.07	0.11	0.16	-0.05	0.19	0.18	0.16	0.13	0.17	0.14	0.11	1	0.11	0.01	0.16	0.15	0.03	0.11	0.15	0.15	0.13	0.11
Se_1	0.15	0.15	0.11	0.12	0.17	-0.03	0.17	0.18	0.14	0.13	0.18	0.09	0.12	0.11	1	0.1	0.12	0.16	0.06	0.1	0.12	0.09	0.13	0.12
Br_1	-0.16	-0.05	-0.02	-0.04	-0.01	-0.01	-0.06	-0.03	-0.01	0	-0.02	0.01	0.06	0.01	0.1	1	-0.08	-0	0.12	0.06	-0	-0	0.09	0.03
Rb_1	0.29	0.23	0.09	0.14	0.22	-0.1	0.31	0.27	0.27	0.22	0.25	0.12	0.19	0.16	0.12	-0.08	1	0.31	-0.07	0.16	0.13	0.23	0.27	0.28
Sr_1	0.46	0.46	0.22	0.24	0.47	-0.15	0.56	0.59	0.47	0.42	0.5	0.24	0.26	0.15	0.16	-0	0.31	1	0.03	0.3	0.23	0.39	0.55	0.53
Y_1	-0.16	-0.03	-0.02	-0.03	0.01	-0.06	-0.04	0.01	0	0.01	0.03	0.05	0.04	0.03	0.06	0.12	-0.07	0.03	1	0.15	0.02	0.04	0.19	0.18
Zr_1	0.11	0.23	0.1	0.13	0.24	-0.13	0.27	0.31	0.28	0.24	0.3	0.19	0.19	0.11	0.1	0.06	0.16	0.3	0.15	1	0.16	0.24	0.4	0.4
Ta_1	0.21	0.2	0.11	0.14	0.25	-0.06	0.27	0.26	0.21	0.23	0.27	0.25	-0.07	0.15	0.12	-0	0.13	0.23	0.02	0.16	1	0.21	0.27	0.26
W_1	0.33	0.32	0.15	0.19	0.36	-0.12	0.39	0.42	0.36	0.34	0.38	0.23	0.26	0.15	0.09	-0	0.23	0.39	0.04	0.24	0.21	1	0.38	0.36
inc_1	0.1	0.32	0.13	0.15	0.43	-0.23	0.37	0.43	0.36	0.38	0.41	0.26	0.24	0.13	0.13	0.09	0.27	0.55	0.19	0.4	0.27	0.38	1	0.75
coh_1	0.21	0.35	0.14	0.18	0.42	-0.19	0.42	0.46	0.39	0.41	0.46	0.26	0.23	0.11	0.12	0.03	0.28	0.53	0.18	0.4	0.26	0.36	0.75	1

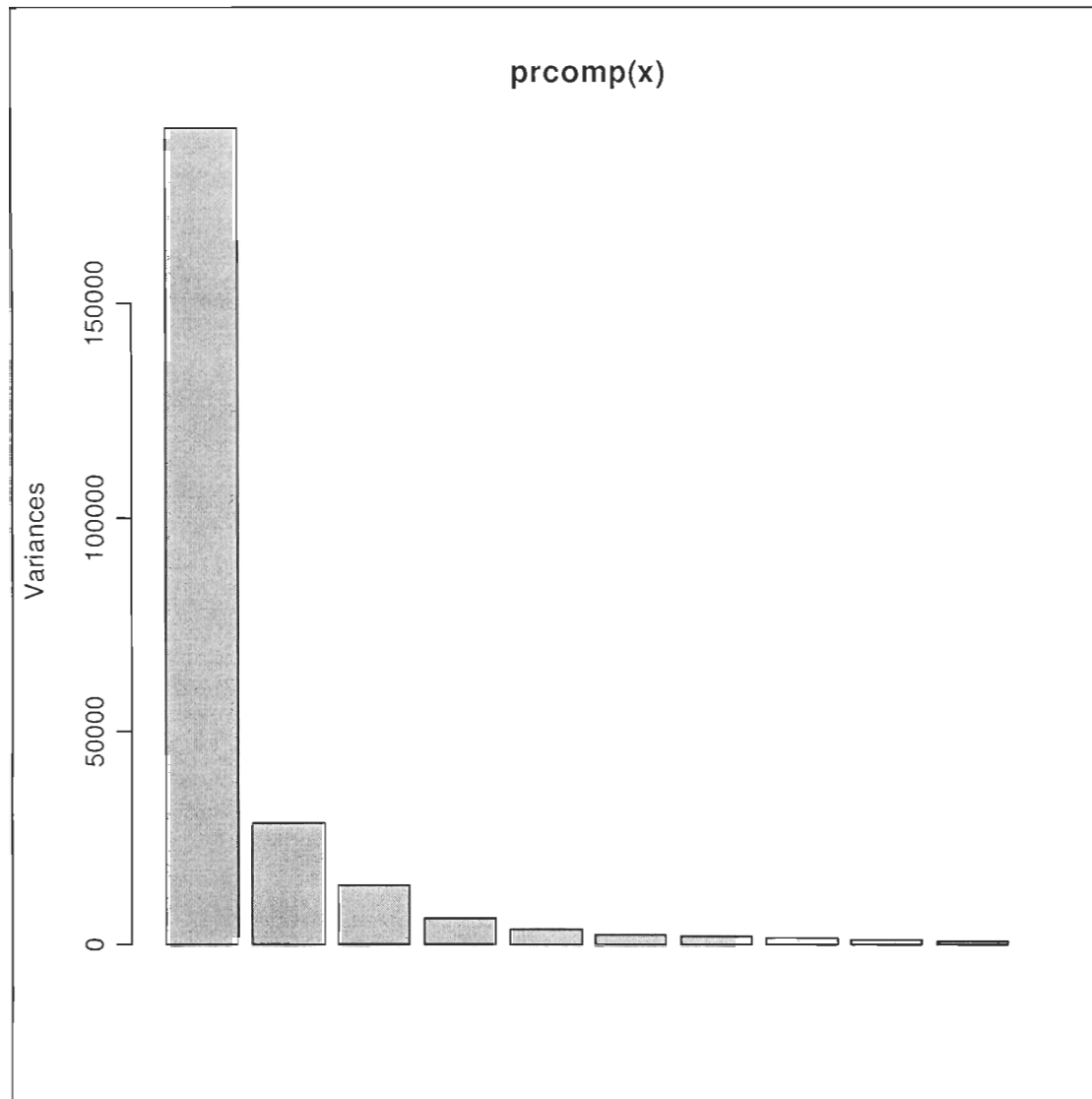


Figure 56BC-10 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 56BC

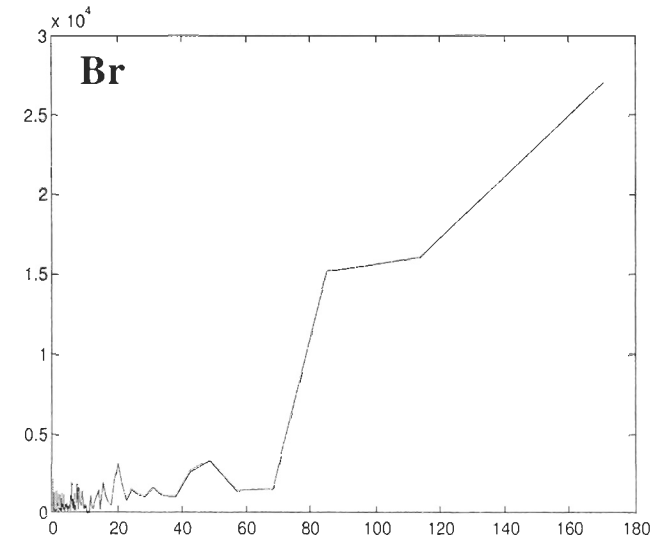
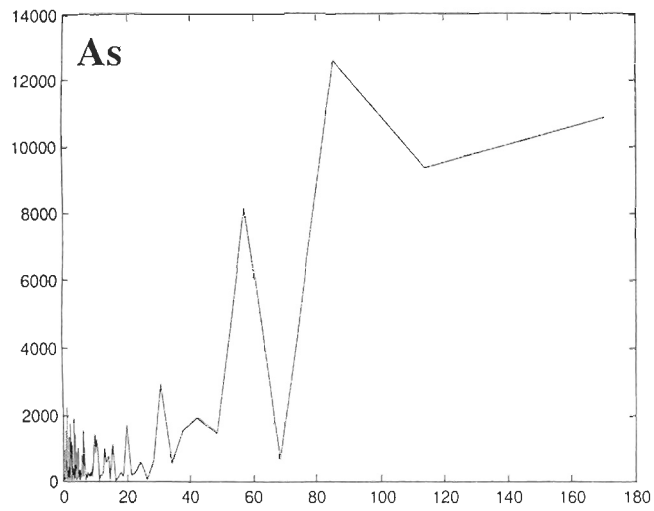
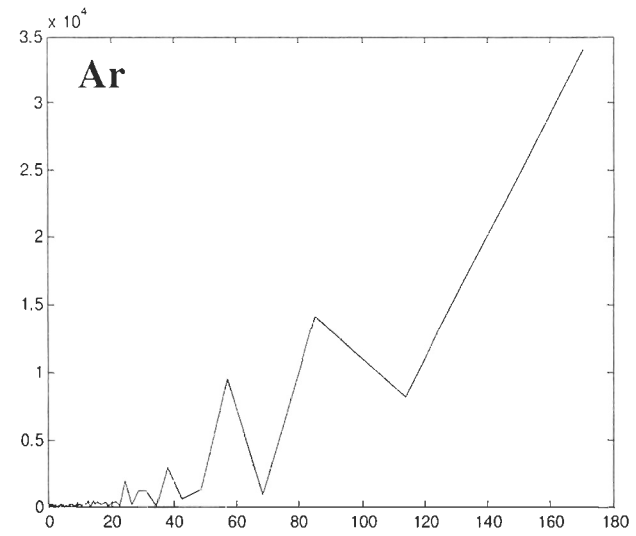
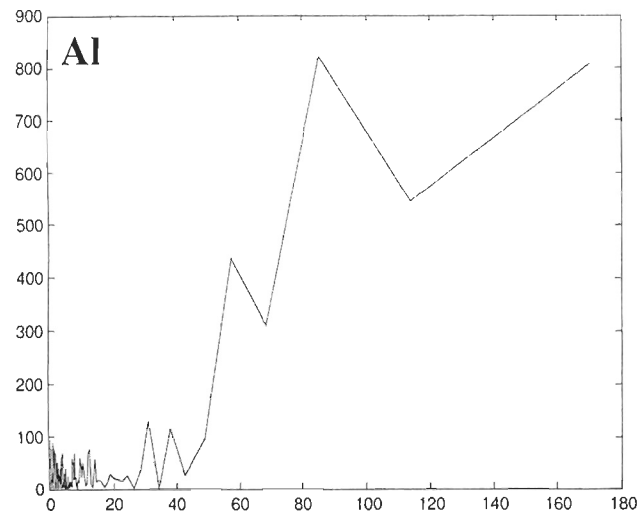
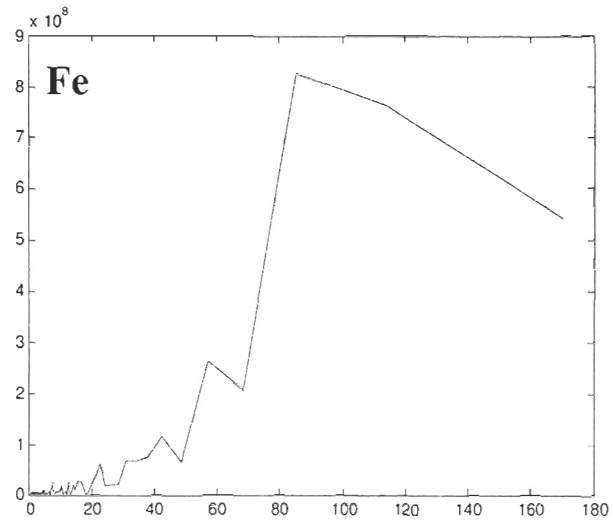
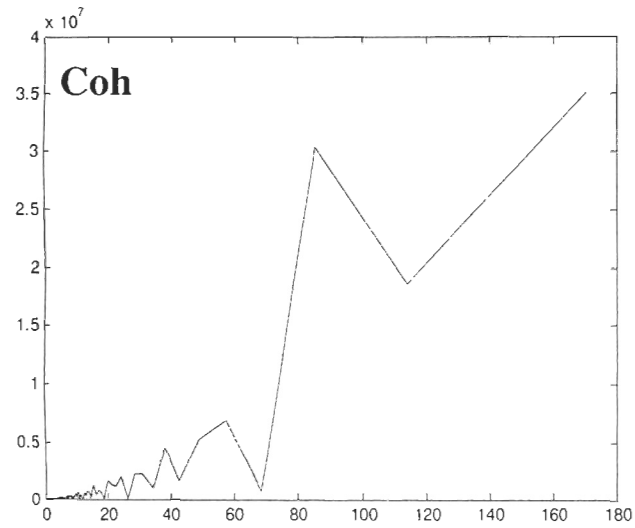
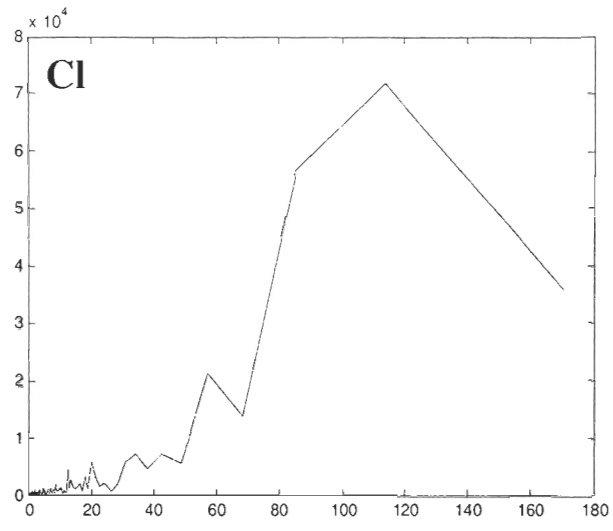
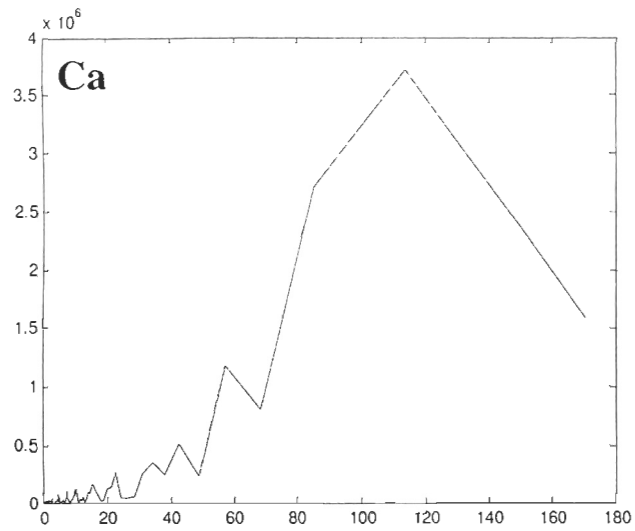
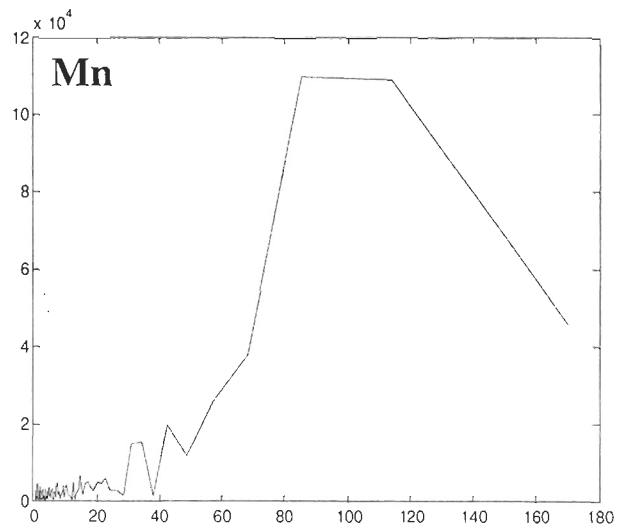
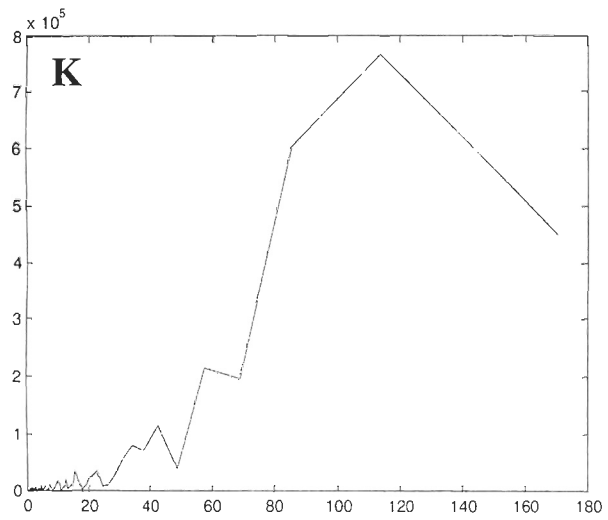
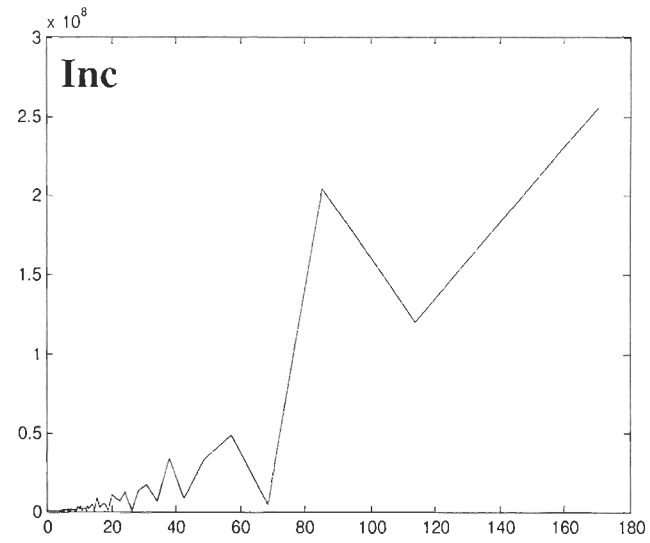
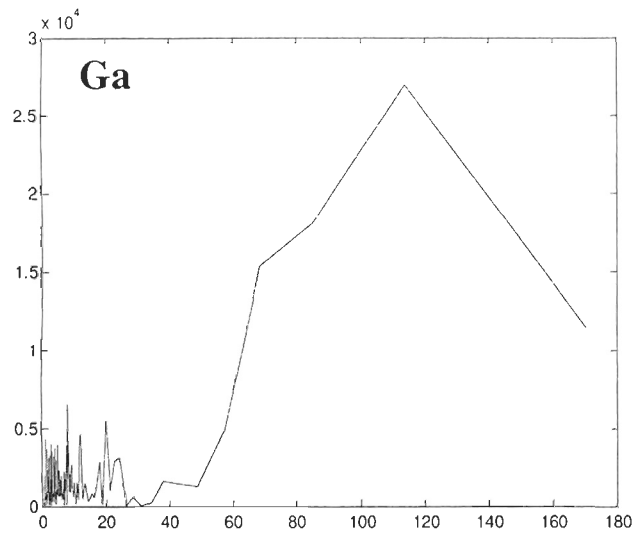
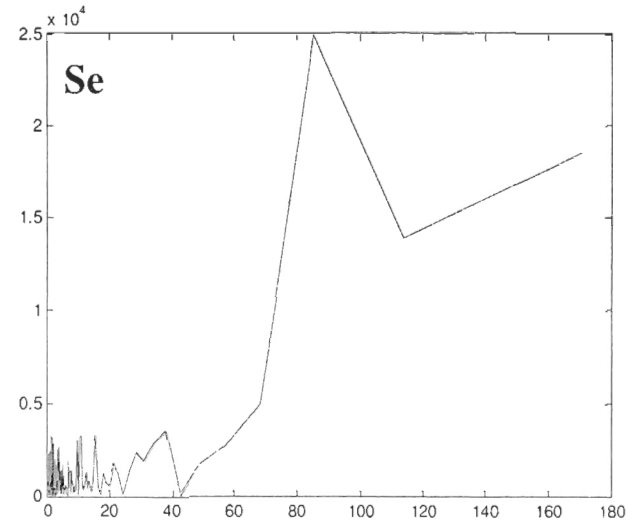
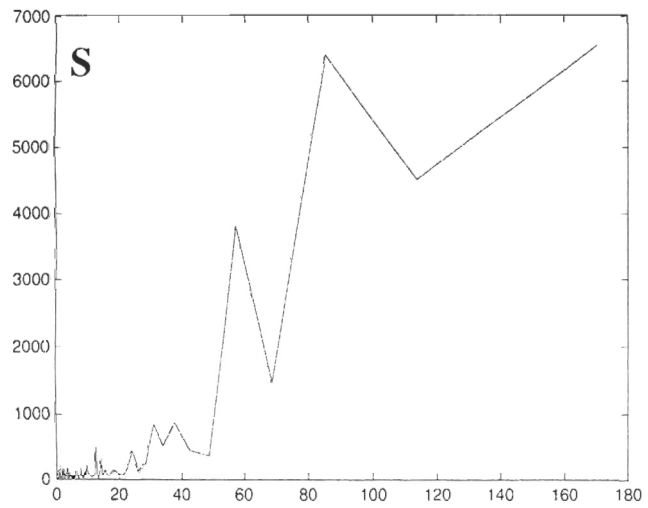
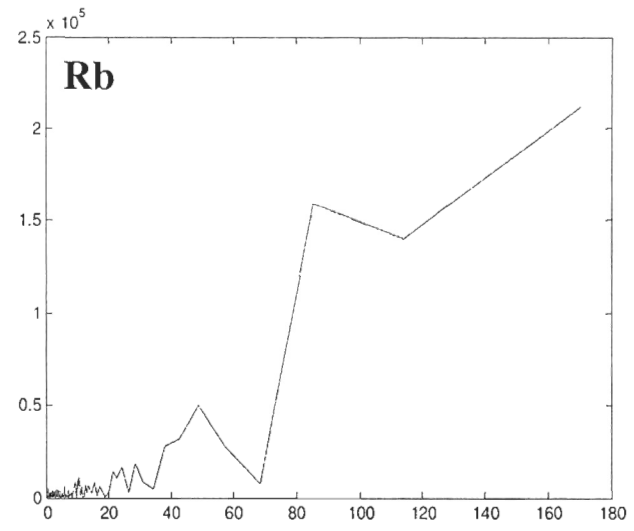
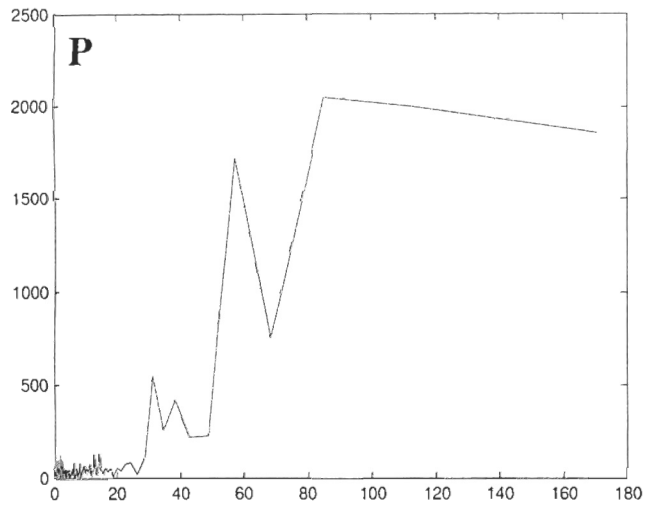


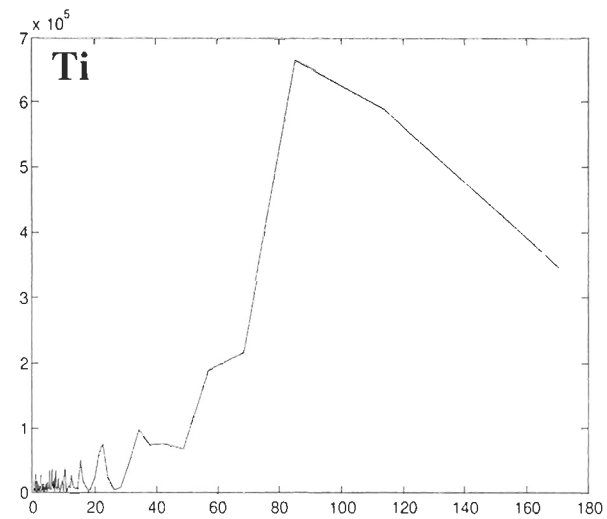
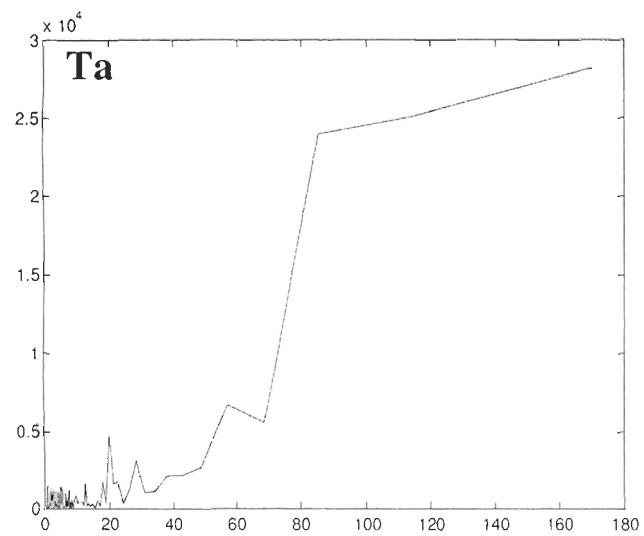
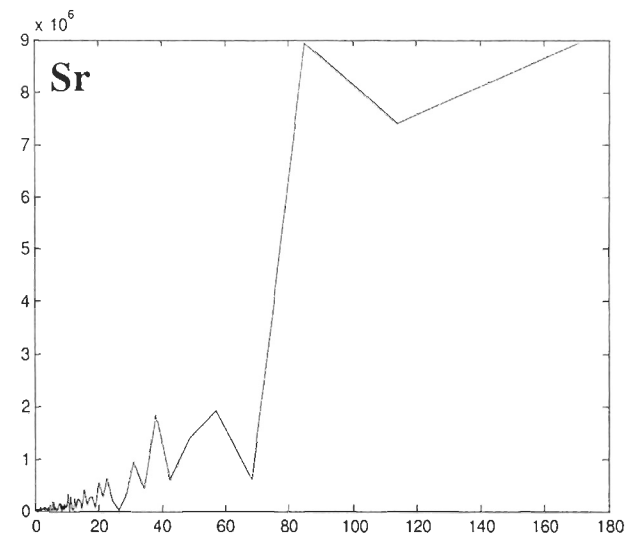
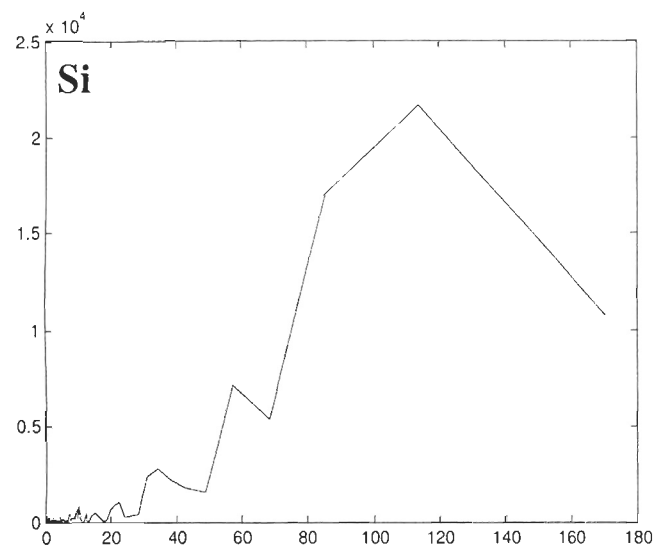
Figure 56BC-11 : Transformées rapides de Fourier (FFT) pour les données XRF normalisées de la carotte 56BC

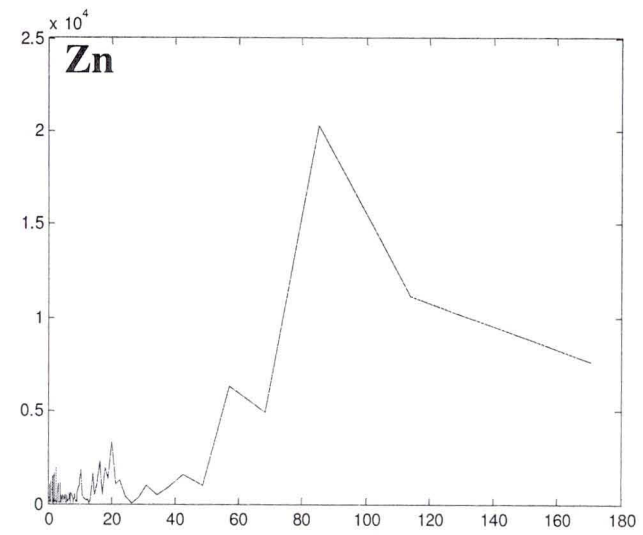
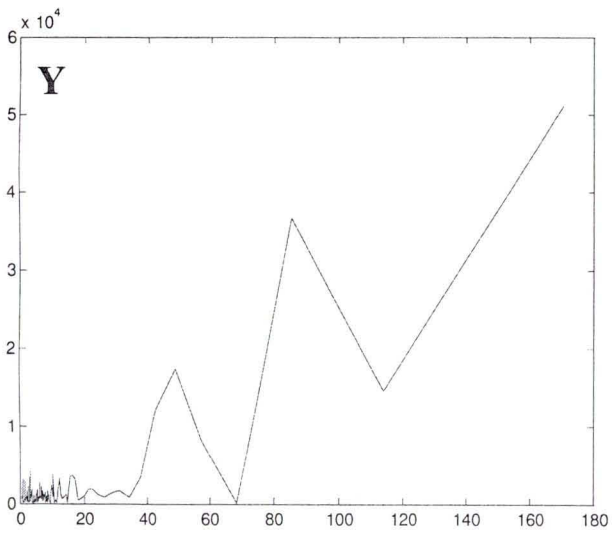
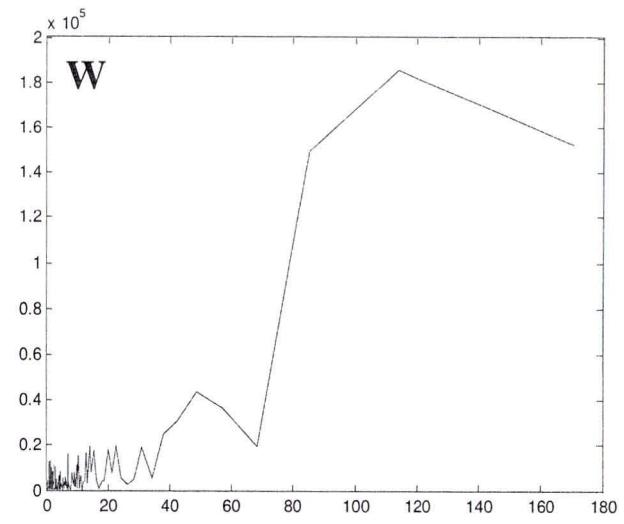
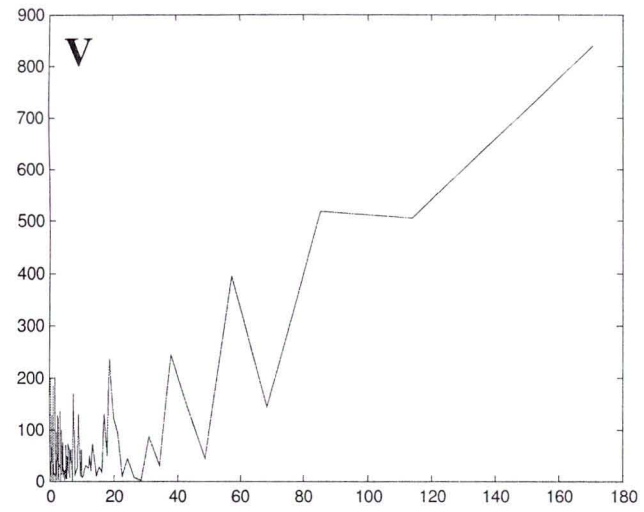


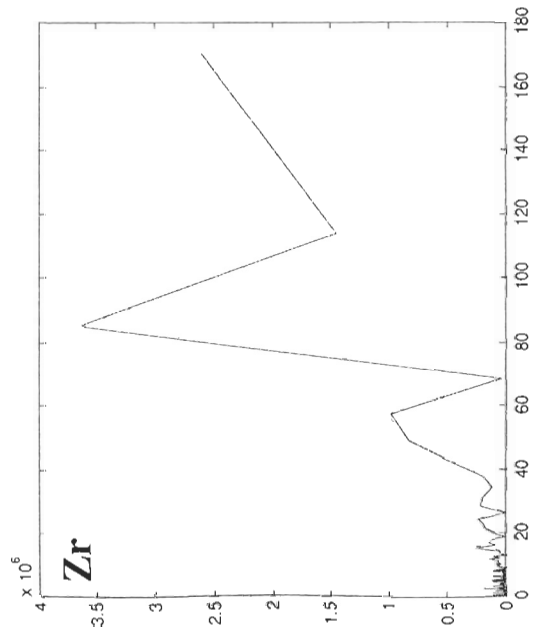












## 1.2 58BC

Voir le fichier [UBV\\_memoire\\_58BC.pdf](#) contenant les figures 58BC-1 à 58BC-11 et tableaux 58BV-1 à 58BC-3.

### Liste des figures 58BC

Figure 58BC-1 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 58BC.....	LX
Figure 58BC-2 : Distribution granulométrique de la carotte 58BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm) .....	LXII
Figure 58BC-3 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 58BC selon la profondeur (cm).....	LXIV
Figure 58BC-4 : Profils de $N_{tot}$ , $C_{tot}$ , $C_{org}/N_{tot}$ , $CaCO_3$ , $C_{org}$ et $\delta^{13}C_{org}$ de la carotte 58BC	LXVI
Figure 58BC-5 : Profils optiques $l^*$ (noir-blanc), $a^*$ (vert-rouge) et $b^*$ (jaune-bleu) pour la carotte 58BC .....	LXVII
Figure 58BC-6 : Taux de sédimentation pour la carotte 58BC d'après les profils de $^{210}Pb$ corrigé et de $Ln^{210}Pb$ en excès .....	LXVIII
Figure 58BC-7 : Figure synthèse de la carotte 58BC selon la profondeur (cm).....	LXIX
Figure 58BC-8 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 58BC .....	LXXI
Figure 58BC-9 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 58C .....	LXXXIV
Figure 58BC-10 : Cotes ( <i>scores</i> ) et valeurs propres ( <i>eigenvalues</i> ) des deux premières composantes principales de l'ACP sur les données XRF pour la carotte 58BC	LXXXV
Figure 58BC-11 : Transformées rapides de Fourier (FFT) pour les données XRF normalisées de la carotte 58BC .....	LXXXVI

### Liste des tableaux 58BC

Tableau 58BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 58BC .....	LXX
Tableau 58BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 58BC..	LXXXVIII
Tableau 58BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 58C	LXXXIII

## Analyse sommaire

La carotte 58BC est constituée majoritairement de silt et est très homogène. Une seule unité sédimentologique a été identifiée. Les images CAT-Scan et aux rayons-X montrent un minimum de densité entre 15 et 18 cm, qui pourrait être dû à l'échantillonnage où un terrier de vers. Néanmoins, les analyses en surface ou destructives ne semblent pas être affectées par cet artéfact. Les statistiques descriptives et les histogrammes montrent des anomalies importantes dans la distribution de l'aluminium et du vanadium. Seuls la silice et le rubidium s'approchent d'une distribution normale. Le calcium et le potassium ont une forte corrélation, ils sont d'ailleurs dominants, avec le fer, dans la première composante principale. Le strontium est fortement corrélé au temps. Le taux de sédimentation de 0,25 cm/an donne un modèle d'âge sur 134 ans. Les transformées de Fourier montrent plusieurs pics définis et suggèrent que l'activité cyclique est importante et stable dans cette carotte.

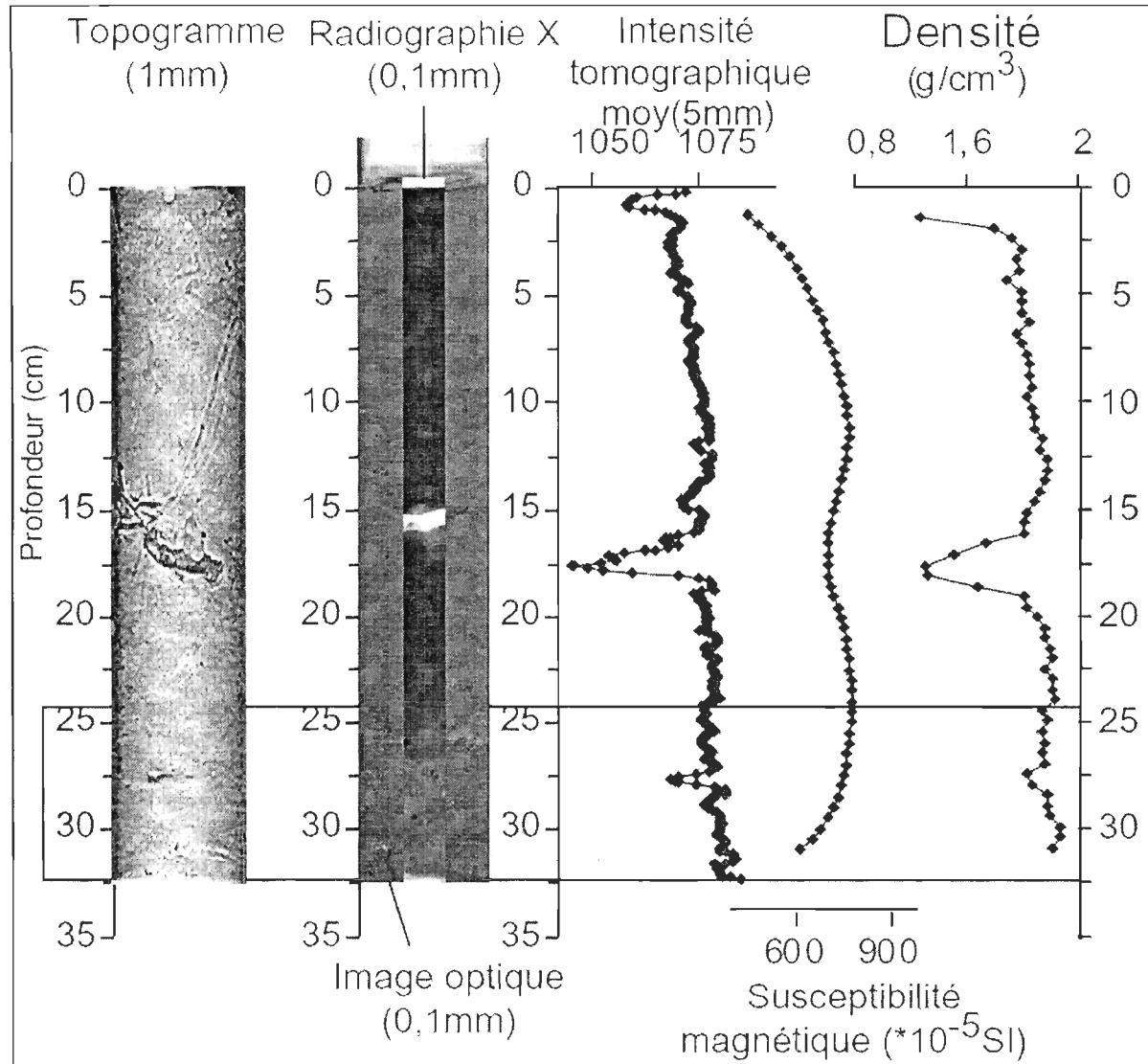




Figure 58BC-1 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 58BC



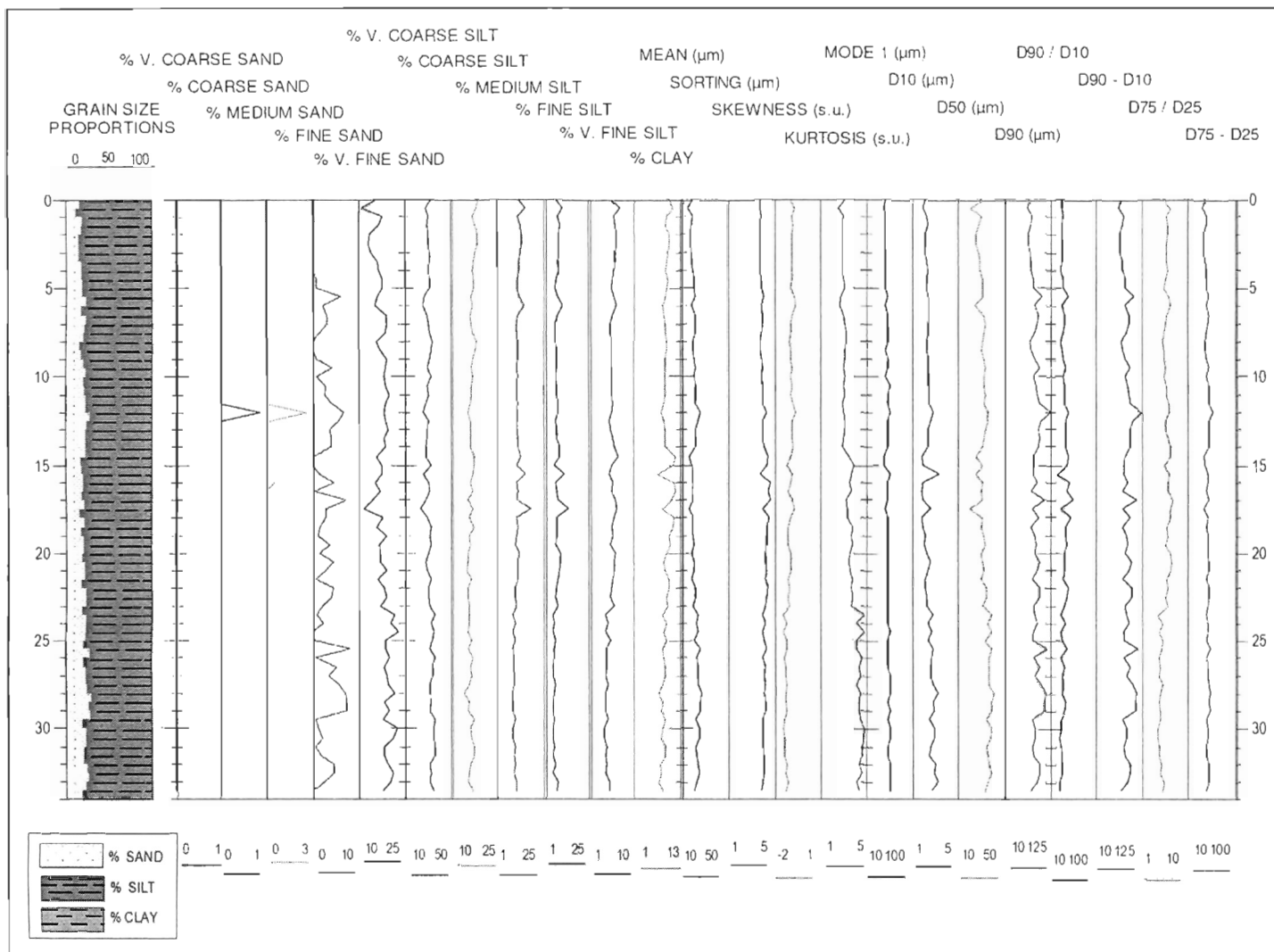


Figure 58BC-2 : Distribution granulométrique de la carotte 58BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm)



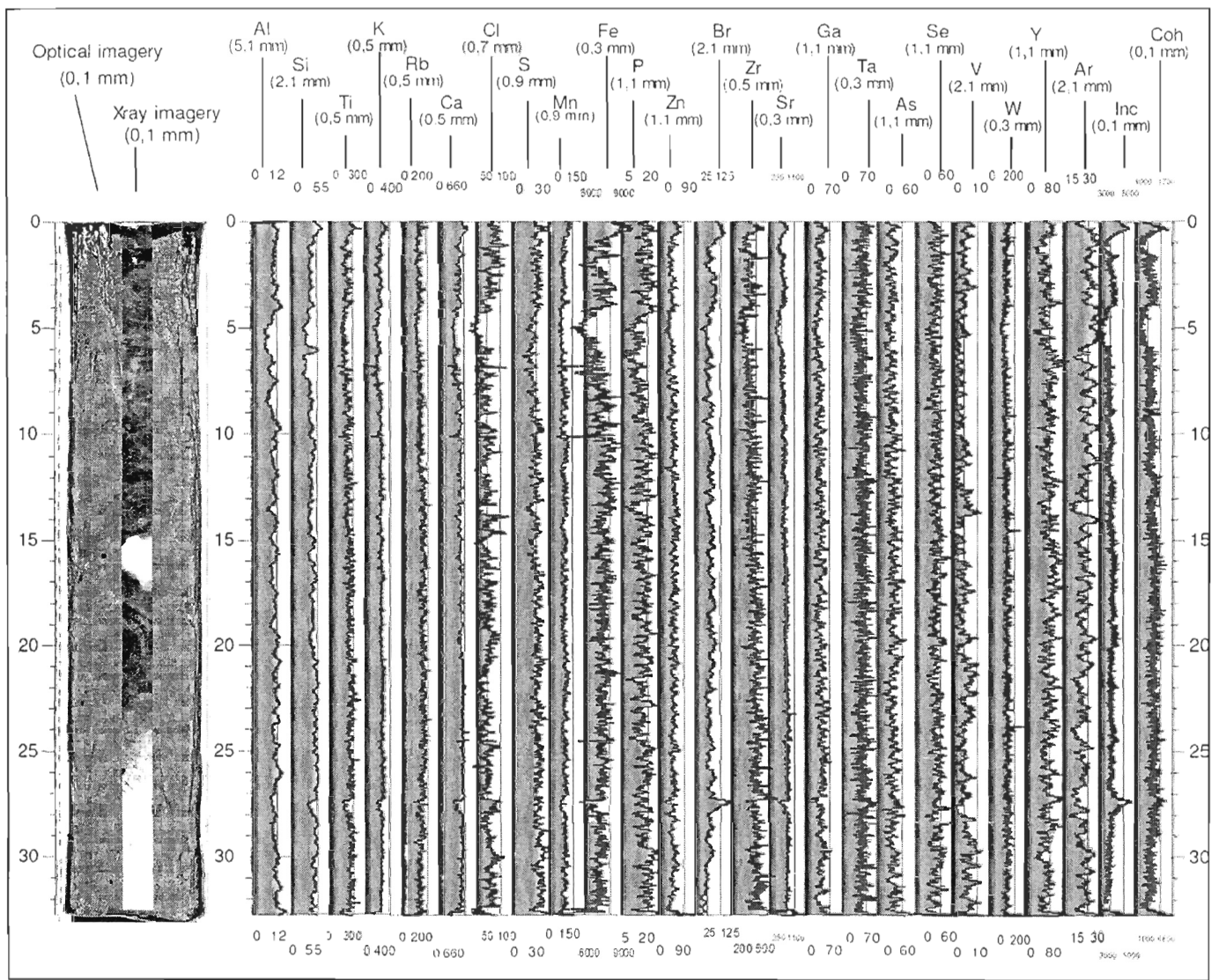


Figure 58BC-3 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 58BC selon la profondeur (cm)

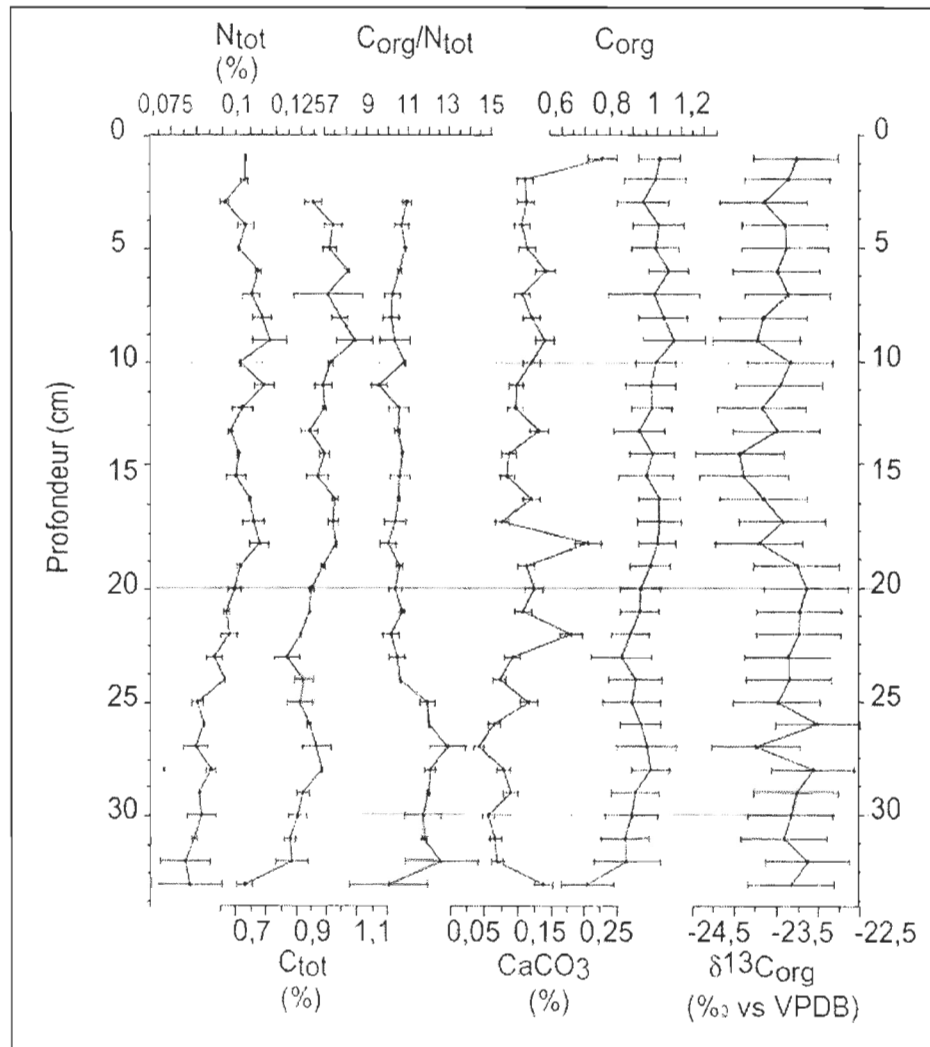


Figure 58BC-4 : Profils de  $N_{tot}$ ,  $C_{tot}$ ,  $C_{org}/N_{tot}$ ,  $CaCO_3$ ,  $C_{org}$  et  $\delta^{13}C_{org}$  de la carotte 58BC

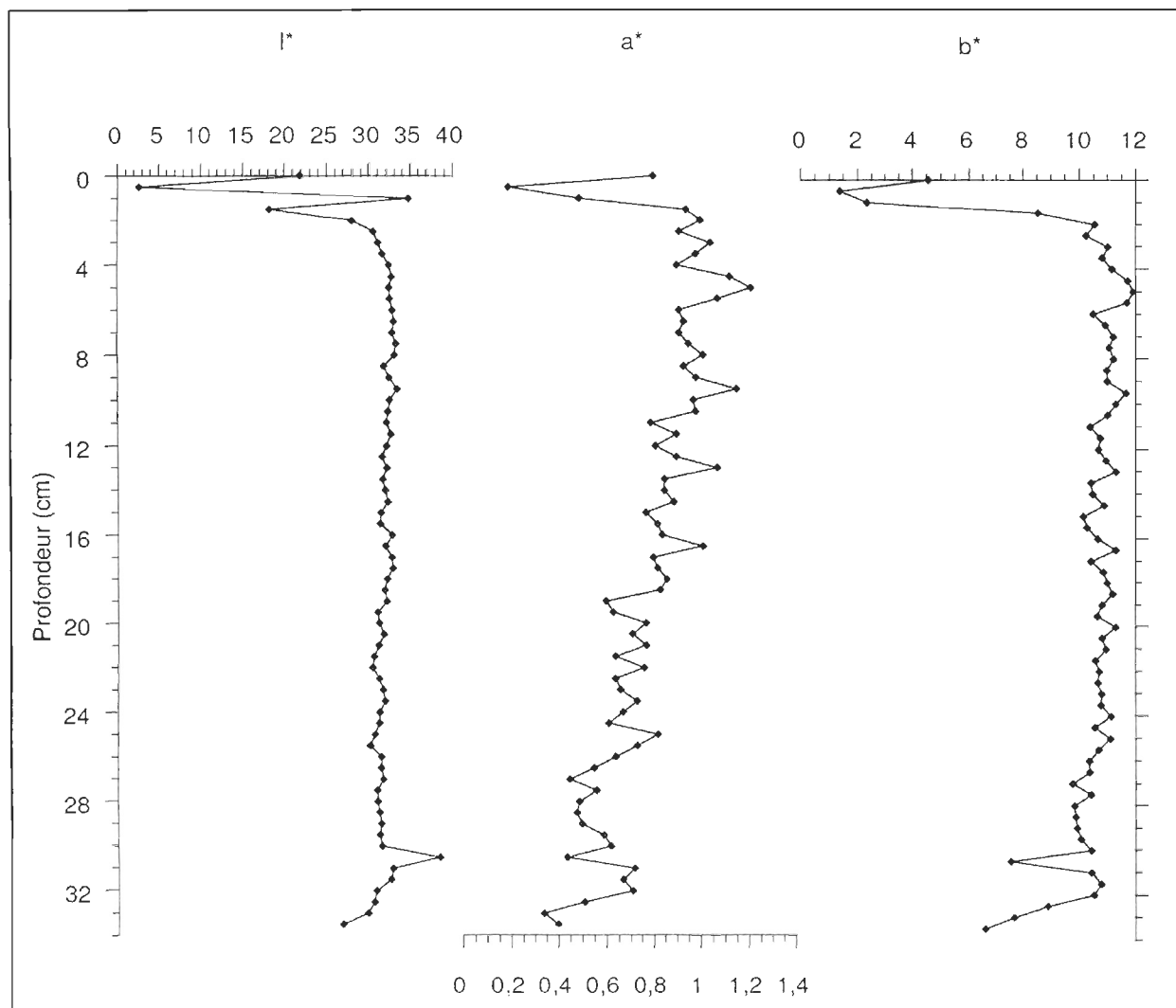


Figure 58BC-5 : Profils optiques  $l^*$  (noir-blanc),  $a^*$  (vert-rouge) et  $b^*$  (jaune-bleu) pour la carotte 58BC



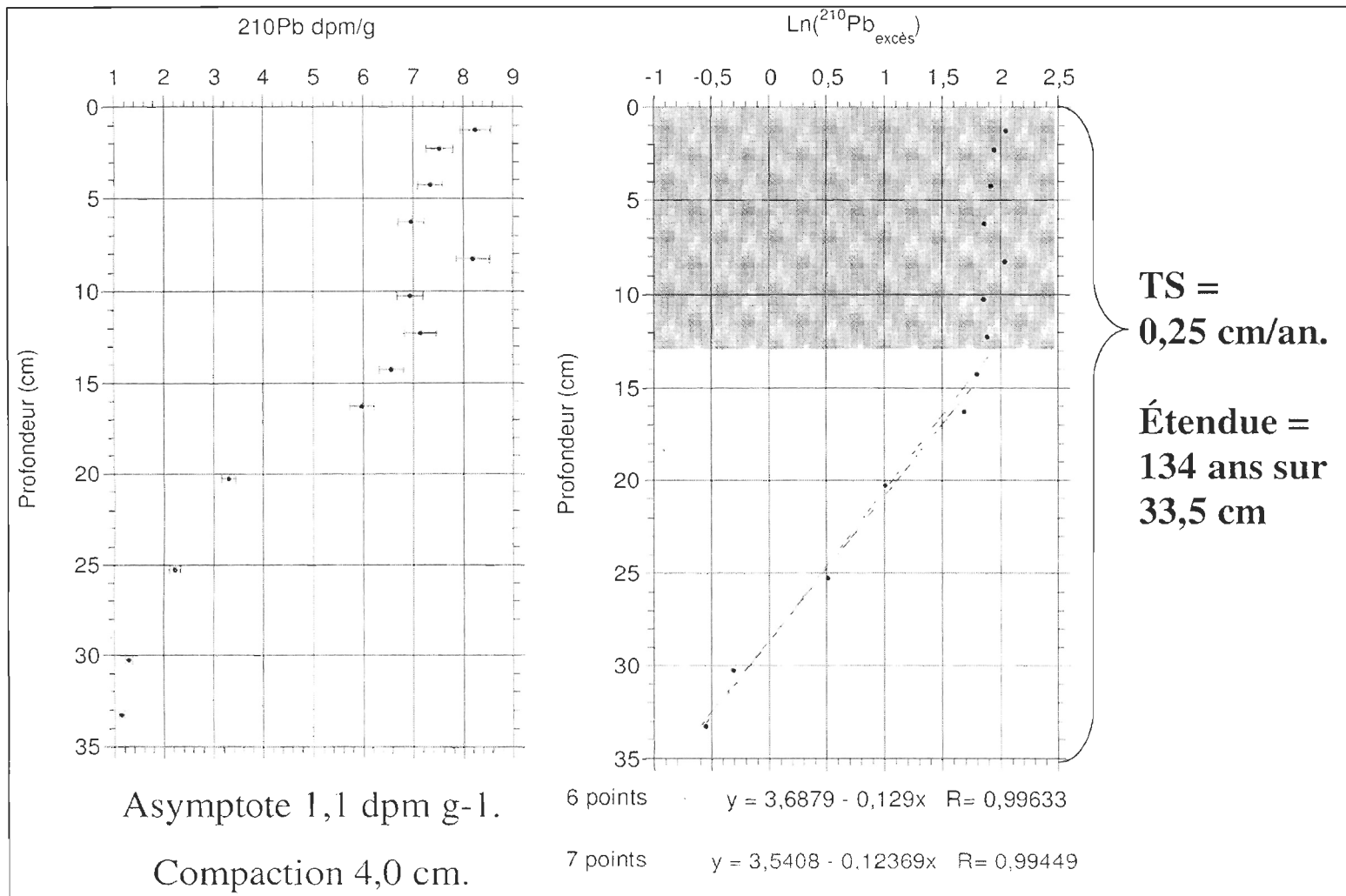


Figure 58BC-6 : Taux de sédimentation pour la carotte 58BC d'après les profils de  ${}^{210}\text{Pb}$  corrigé et de  $\text{Ln}({}^{210}\text{Pb}$  en excès

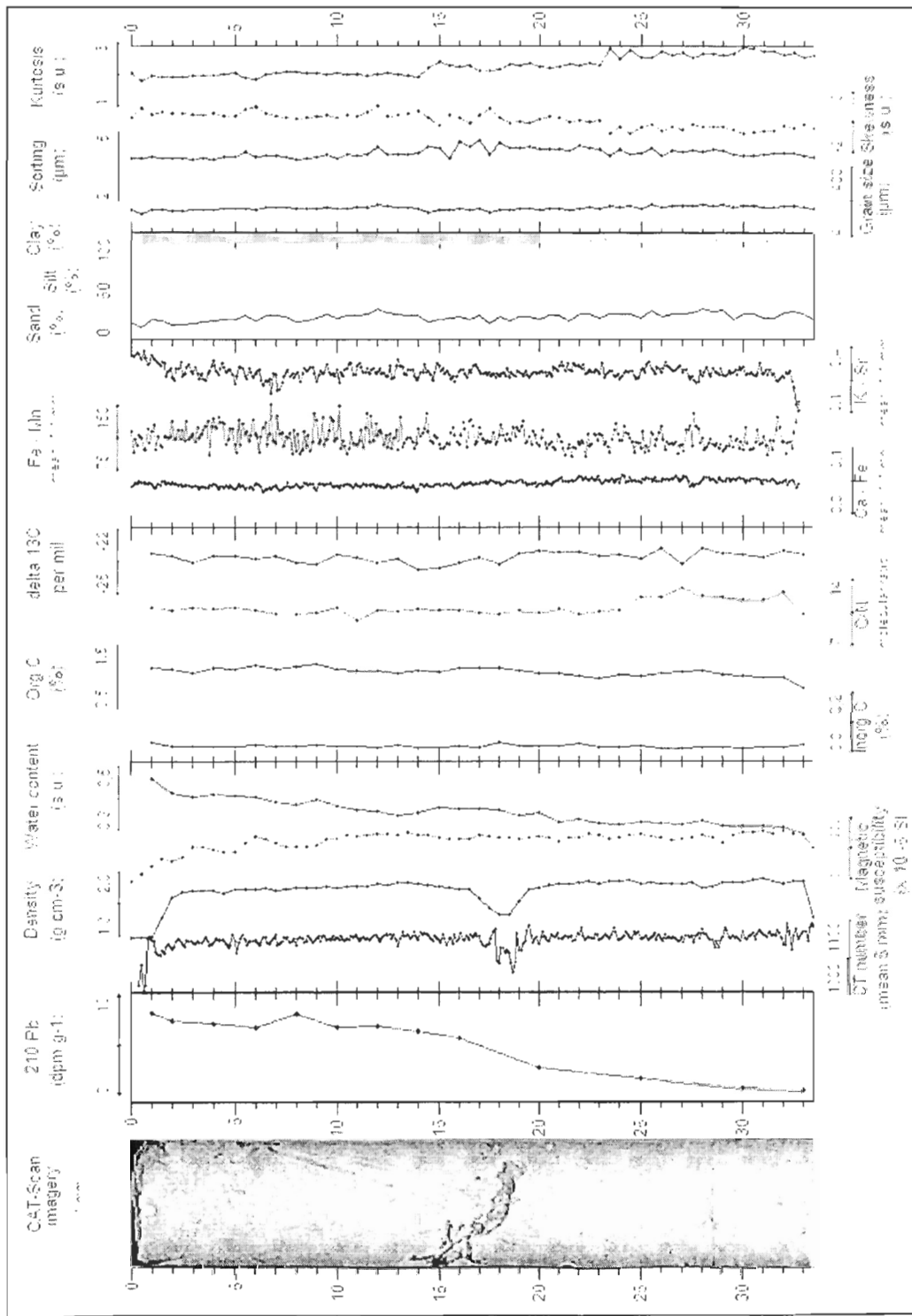


Figure 58BC-7 : Figure synthèse de la carote 58BC selon la profondeur (cm)

Tableau 58BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 58BC

58BC	Al 1	Si 1	P 1	S 1	Cl 1	Ar 1	K 1	Ca 1	Ti 1	V 1	Mn 1	Fe 1	Zn 1
Moyenne	7.11885	31.7302	13.8549	20.1387	66.6685	24.3083	181.463	376.928	167.933	3.31622	68.3251	7408.45	34.7018
Variance	34.2301	77.6757	42.5074	53.4966	170.352	57.8466	891.543	3409.11	1169.44	33.6631	364.251	489371	274.596
Écart-type	5.85065	8.81338	6.51977	7.31414	13.0519	7.60569	29.8587	58.3876	34.197	5.80199	19.0854	699.551	16.5709
Médiane	7	32	14	20	66	24	183	380	166	0	68	7443	35
Quantile	0	18	0	9	46	12	131.6	276	114.6	0	37	6214.8	8
Skewness	0.40762	0.08851	0.11894	0.33305	0.27628	0.05949	-0.3253	-0.3708	0.48675	1.85203	0.07046	-0.4961	0.18291
Kurtose	-0.4824	-0.0147	0.58638	1.16211	0.43555	0.14531	0.6041	0.92205	1.28796	3.08868	0.42133	2.47125	-0.1241
Max	27	68	48	64	132	53	296	646	365	35	161	10010	100
Min	0	0	0	0	26	0	51	124	54	0	0	3763	0
n	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273
% zéros	0.28842	0.00031	0.05744	0.00917	0.00031	0.00306	0.00031	0.00031	0.00031	0.68775	0.00214	0.00031	0.02872
58BC	Ga 1	As 1	Se 1	Br 1	Rb 1	Sr 1	Y 1	Zr 1	Ta 1	W 1	inc 1	coh 1	
Moyenne	29.1244	25.4754	34.3981	68.4806	104.412	635.677	50.2133	382.179	40.6969	97.4895	3712.12	1320.77	
Variance	360.454	389.379	516.106	695.33	904.183	5664.69	831.732	4833.76	238.13	392.433	163247	10330	
Écart-type	18.9856	19.7327	22.718	26.3691	30.0696	75.2641	28.8398	69.5253	15.4315	19.8099	404.039	101.637	
Médiane	28	24	33	68	104	641	50	377	40	96	3699	1325	
Quantile	0	0	0	27	56	505.6	0	279	19	69.6	3317.6	1141.6	
Skewness	1.2859	1.40683	1.10791	0.22598	0.09506	0.19538	0.25904	0.72063	2.78646	1.71845	14.0437	0.77223	
Kurtose	10.0007	8.93101	8.07117	0.24563	0.00608	2.87826	-0.2766	1.61617	31.3737	12.3893	308.885	9.76497	
Max	264	233	308	182	206	1164	174	741	267	303	14529	2317	
Min	0	0	0	0	0	389	0	153	0	41	2919	964	
n	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	3273	
% zéros	0.09716	0.16071	0.10021	0.00519	0.00031	0.00031	0.05836	0.00031	0.00214	0.00031	0.00031	0.00031	

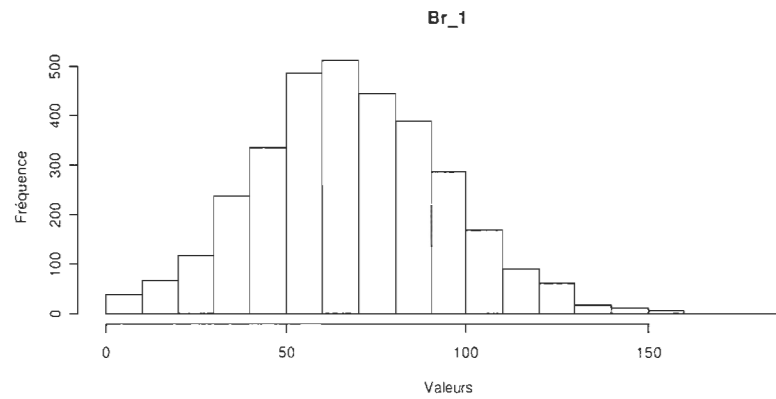
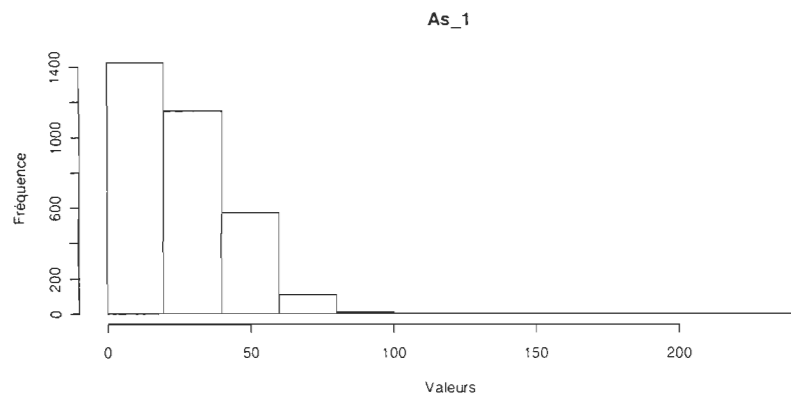
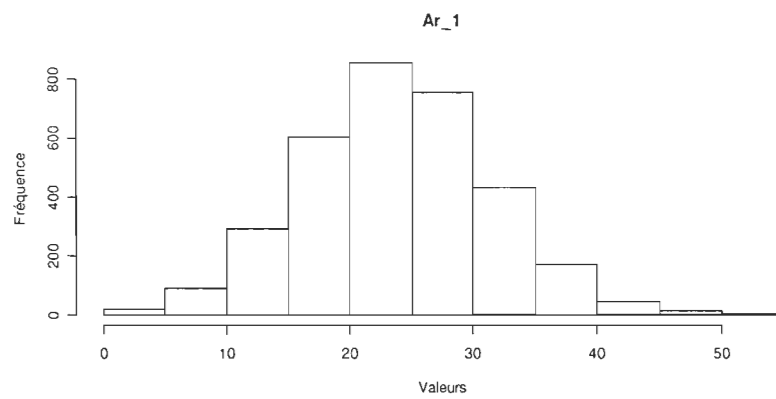
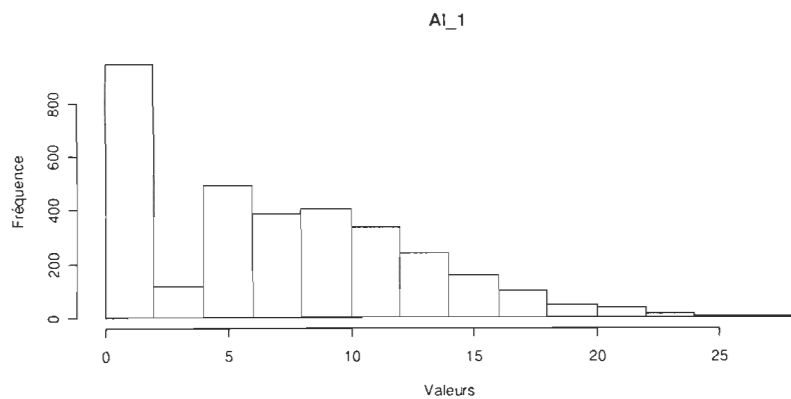
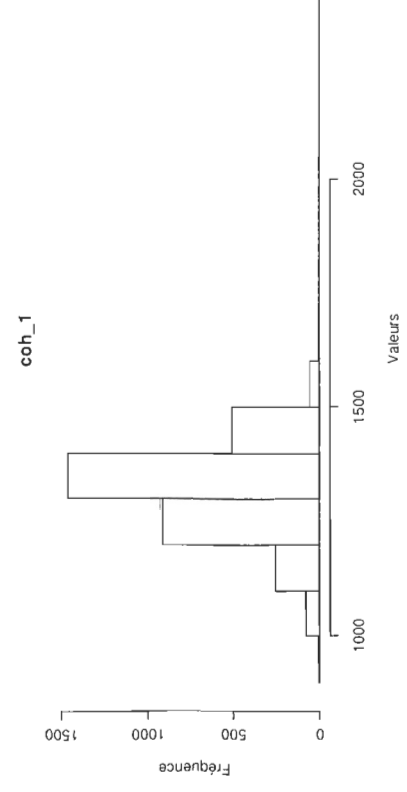
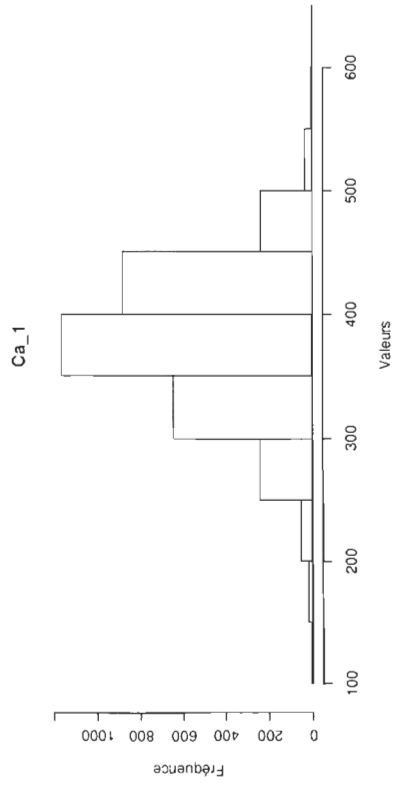
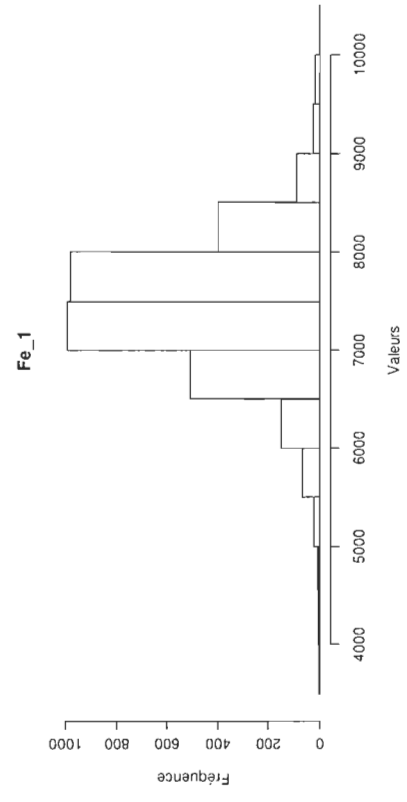
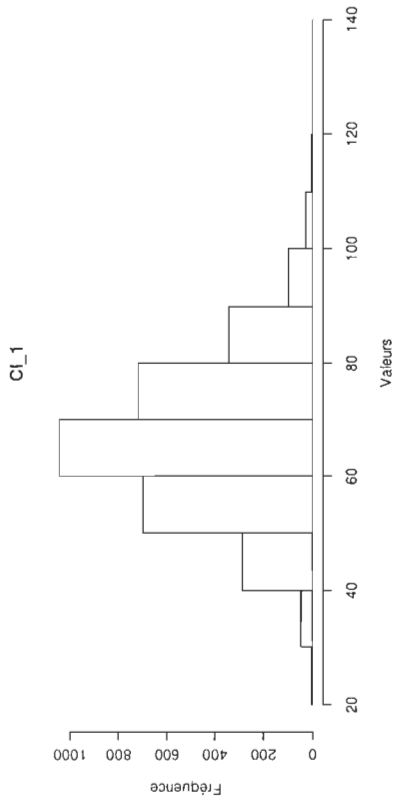
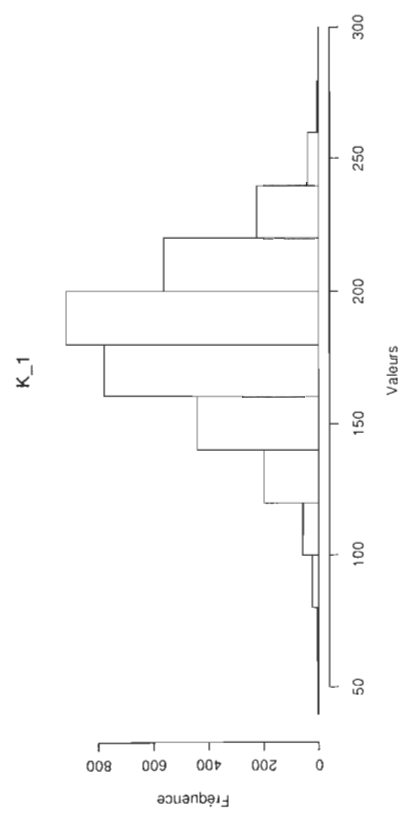
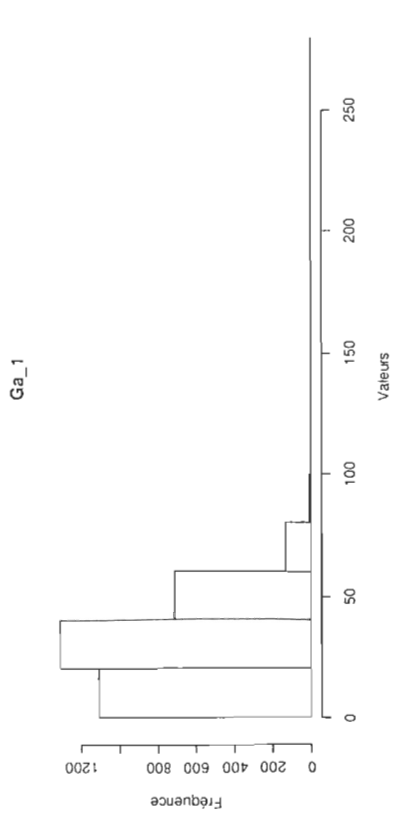
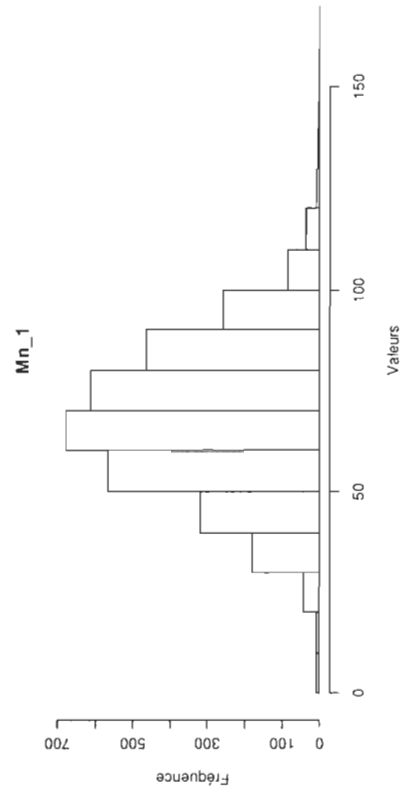
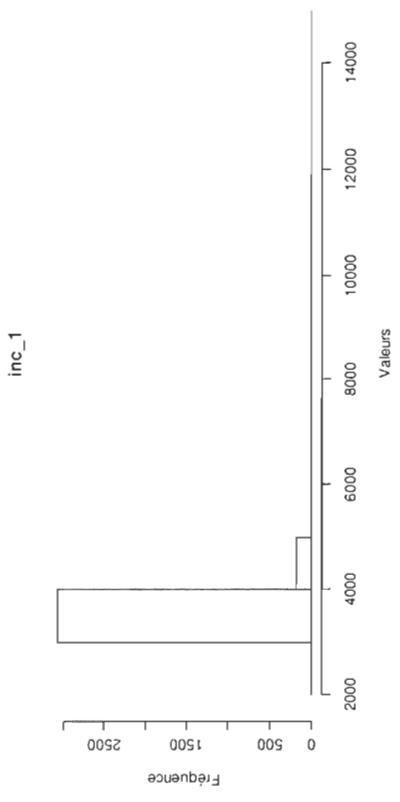
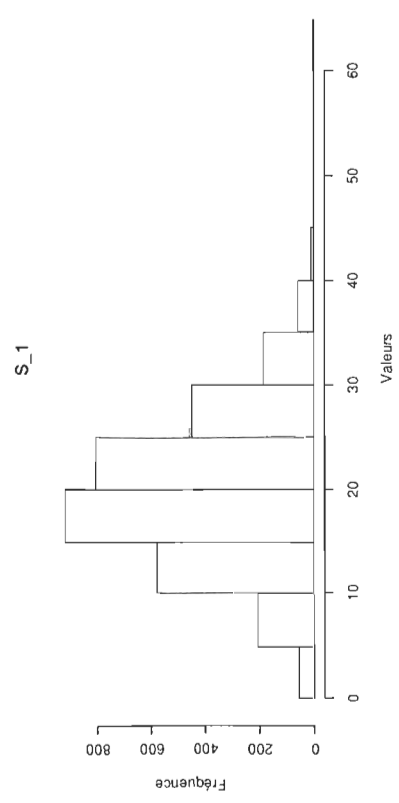
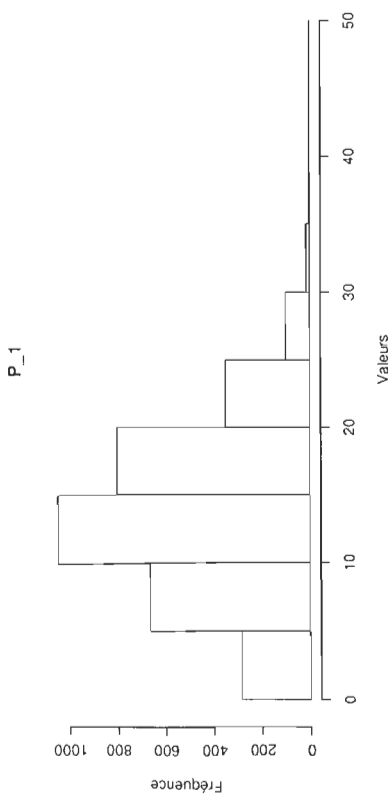
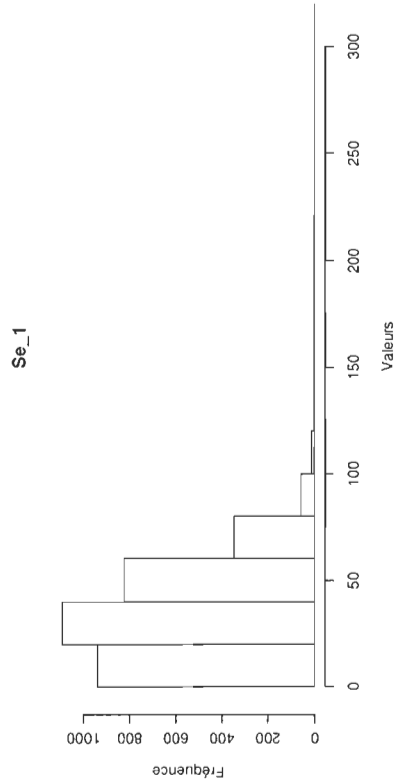
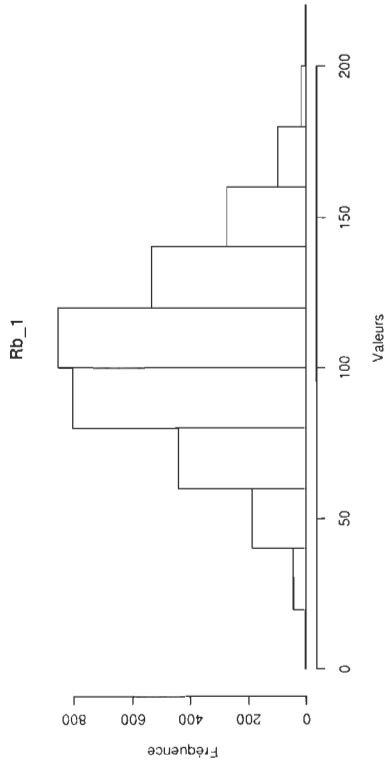
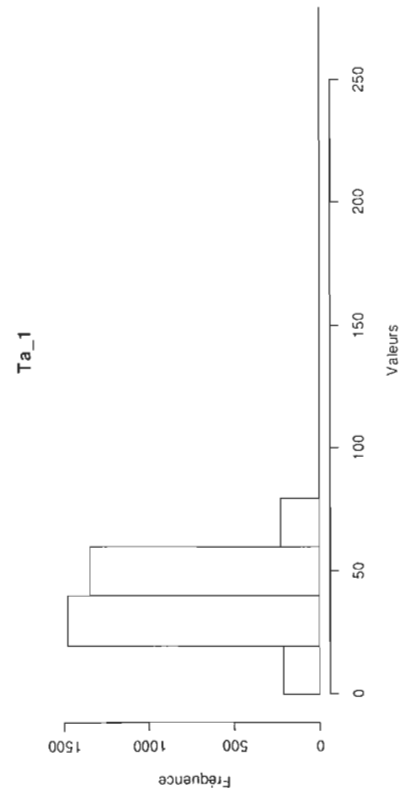
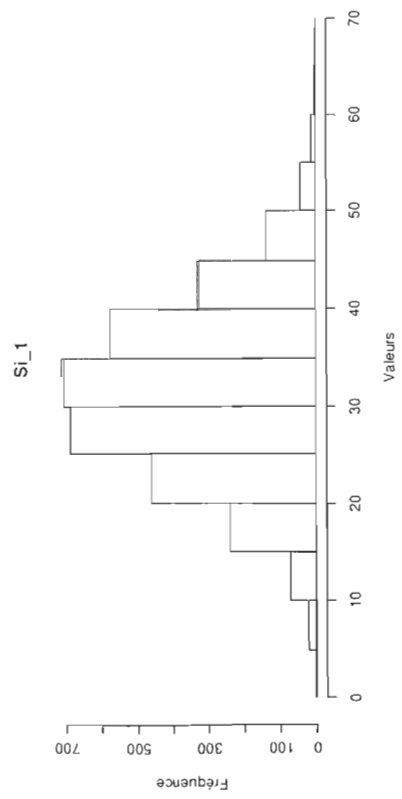
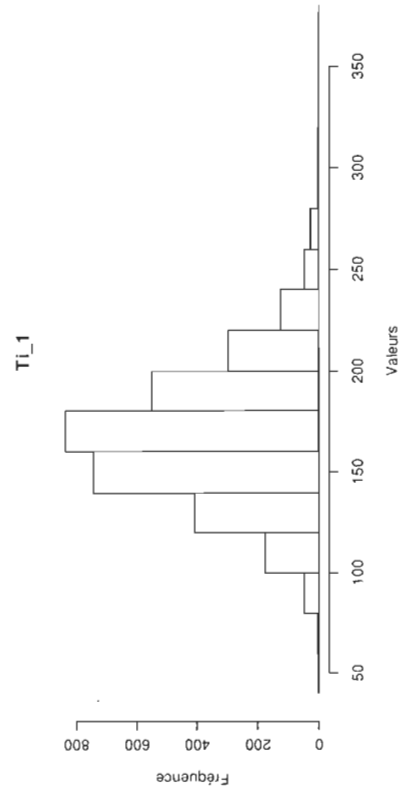
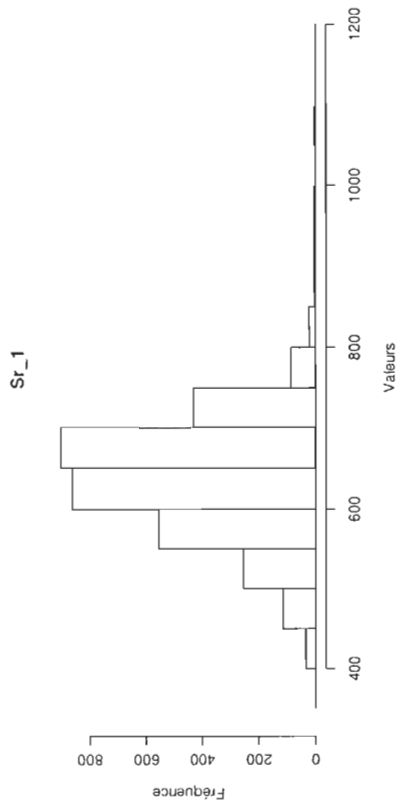


Figure 58BC-8 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 58BC

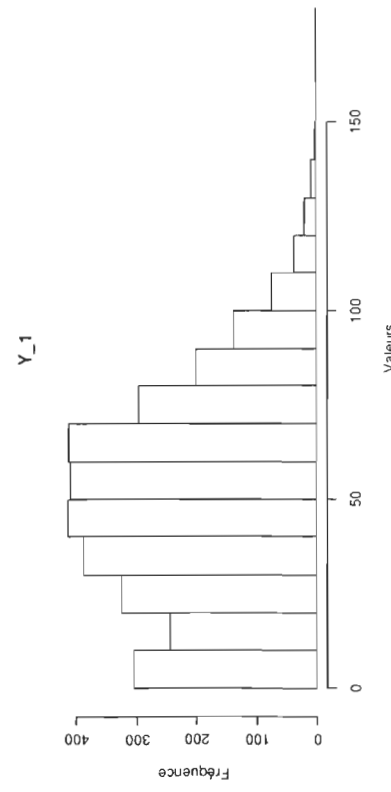
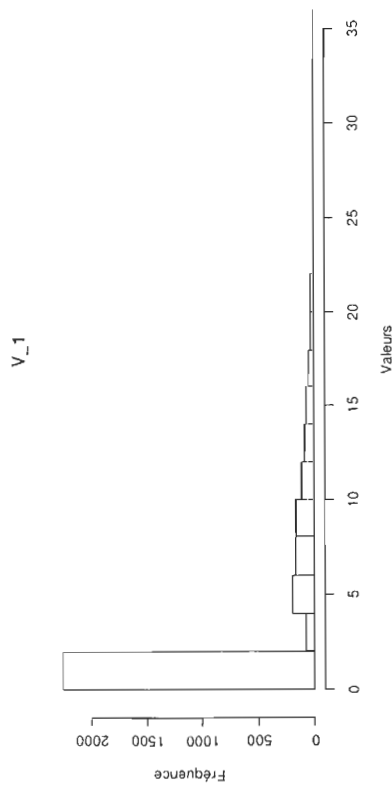
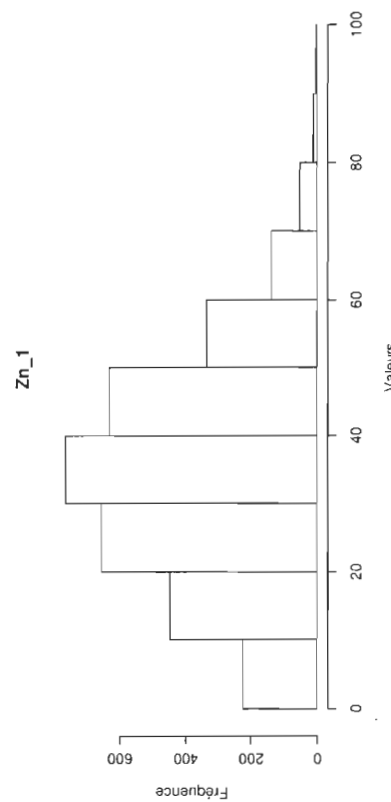
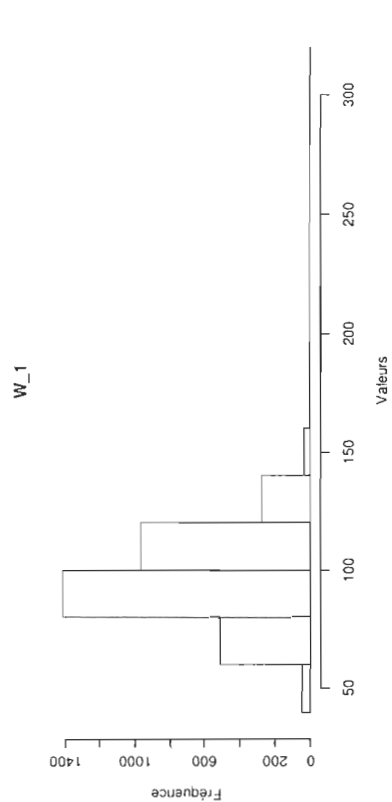












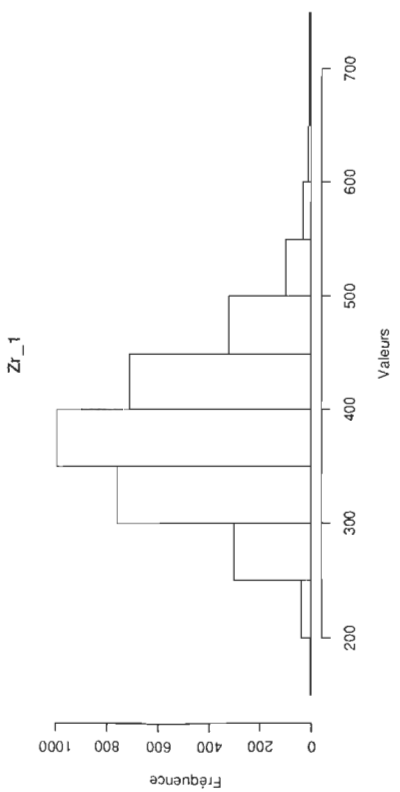


Tableau 58BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 58BC

58BC	Méthode	Indice	valeur P	58BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Al 1	Al 1	Al 1	element	Ga 1	Ga 1	Ga 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.92307709	5.12E-38	W	Shapiro-Wilk normality test	0.93293739	4.71E-36
X-squared	Jarque Bera Test	122.261326	0	X-squared	Jarque Bera Test	14563.93	0
LM	Jarque Bera Test	122.261	0	LM	Jarque Bera Test	14563.93	0
ALM	Jarque Bera Test	122.332	0	ALM	Jarque Bera Test	14633.35	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	139.992809	0	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1140.04455	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.1906696	0	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	23.6497531	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-7.45146973	9.24E-14	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	24.0984175	0
A	Anderson - Darling Normality Test	73.4750854	9.46E-139	A	Anderson - Darling Normality Test	12.2198919	2.91E-29
D	Lilliefors Test	0.17657325	9.26E-286	D	Lilliefors Test	0.06251231	1.64E-33
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	16841.3346	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1360.07424	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	16841.3346	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1360.07424	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.92342965	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9319792	0
element	Si 1	Si 1	Si 1	element	As 1	As 1	As 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99832638	0.00169763	W	Shapiro-Wilk normality test	0.91164028	4.68E-40
X-squared	Jarque Bera Test	4.30024659	0.1164698	X-squared	Jarque Bera Test	11976.0721	0
LM	Jarque Bera Test	4.3	0.116	LM	Jarque Bera Test	11976.072	0
ALM	Jarque Bera Test	4.302	0.116	ALM	Jarque Bera Test	12032.579	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.28821993	0.11717228	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1174.95909	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.06891768	0.03855381	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	25.1220444	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-0.08831506	0.92962627	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	23.3204196	0
A	Anderson - Darling Normality Test	2.07925883	2.76E-05	A	Anderson - Darling Normality Test	32.9703082	3.82E-73
D	Lilliefors Test	0.03000354	3.82E-07	D	Lilliefors Test	0.09834743	5.60E-86
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2373.78918	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4021.8396	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2373.78918	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4021.8396	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99826276	0.00117798	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.91090143	0
element	P 1	P 1	P 1	element	Se 1	Se 1	Se 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9846164	2.15E-18	W	Shapiro-Wilk normality test	0.94226678	5.70E-34
X-squared	Jarque Bera Test	54.9671313	1.16E-12	X-squared	Jarque Bera Test	9569.09348	0
LM	Jarque Bera Test	54.967	0	LM	Jarque Bera Test	9569.093	0
ALM	Jarque Bera Test	55.494	0	ALM	Jarque Bera Test	9615.247	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	37.4016591	7.56E-09	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	964.762497	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.77596995	0.00550373	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	21.2943411	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.44937152	5.05E-08	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	22.6122431	0
A	Anderson - Darling Normality Test	8.45619019	1.47E-20	A	Anderson - Darling Normality Test	15.0299521	1.30E-35
D	Lilliefors Test	0.04109818	7.13E-14	D	Lilliefors Test	0.06499556	2.34E-36
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4823.19157	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1541.78185	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4823.19157	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1541.78185	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98458833	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.94134078	0

58BC	Méthode	Indice	valeur P
element	S 1	S 1	S 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98834434	9.13E-16
X-squared	Jarque Bera Test	245.543281	0
LM	Jarque Bera Test	245.543	0
ALM	Jarque Bera Test	247.089	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	137.573705	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	7.59952155	2.98E-14
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.93425863	0
A	Anderson - Darling Normality Test	5.43294791	2.12E-13
D	Lilliefors Test	0.04606475	1.20E-17
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3629.6077	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3629.6077	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98809003	3.33E-15
element	Cl 1	Cl 1	Cl 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99470708	1.72E-09
X-squared	Jarque Bera Test	67.7965966	1.89E-15
LM	Jarque Bera Test	67.797	0
ALM	Jarque Bera Test	68.213	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	58.85558	1.66E-13
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.35356823	2.10E-10
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.29973844	1.71E-05
A	Anderson - Darling Normality Test	3.3224114	2.58E-08
D	Lilliefors Test	0.03921161	1.46E-12
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	994.934922	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	994.934922	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99456678	2.38E-09
element	Ar 1	Ar 1	Ar 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99760443	5.72E-05
X-squared	Jarque Bera Test	4.88845384	0.08679321
LM	Jarque Bera Test	4.888	0.087
ALM	Jarque Bera Test	4.98	0.087
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.73492447	0.09371826
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.39201934	0.16391654
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.67248516	0.09442869
A	Anderson - Darling Normality Test	2.76292789	5.91E-07
D	Lilliefors Test	0.03845285	4.69E-12
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3273.96334	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3273.96334	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99765076	7.65E-05

58BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Br 1	Br 1	Br 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99618371	2.06E-07
X-squared	Jarque Bera Test	36.2434089	1.35E-08
LM	Jarque Bera Test	36.243	0
ALM	Jarque Bera Test	36.458	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	34.3617221	3.45E-08
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.22739444	1.72E-07
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.65255904	0.00798842
A	Anderson - Darling Normality Test	2.07175245	2.88E-05
D	Lilliefors Test	0.02956985	6.27E-07
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	420.643446	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	420.643446	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99622722	3.61E-07
element	Rb 1	Rb 1	Rb 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9989182	0.03592129
X-squared	Jarque Bera Test	4.94195953	0.08450203
LM	Jarque Bera Test	4.942	0.085
ALM	Jarque Bera Test	4.955	0.085
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.95823302	0.08381724
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.22122246	0.0263359
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.1562172	0.87586182
A	Anderson - Darling Normality Test	1.05840075	0.00883309
D	Lilliefors Test	0.02263836	0.00056188
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	191.961503	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	191.961503	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99898945	0.04419187
element	Sr 1	Sr 1	Sr 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.97183887	6.86E-25
X-squared	Jarque Bera Test	1153.44623	0
LM	Jarque Bera Test	1153.446	0
ALM	Jarque Bera Test	1160.133	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	247.159212	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.53353336	5.80E-06
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.0534477	0
A	Anderson - Darling Normality Test	10.0909048	2.29E-24
D	Lilliefors Test	0.03568996	2.67E-10
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	165.814849	6.99E-15
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	165.814849	2.48E-14
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.97135606	0

58BC	Méthode	Indice	valeur P
element	K_1	K_1	K_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99268051	7.47E-12
X-squared	Jarque Bera Test	107.911889	0
LM	Jarque Bera Test	107.912	0
ALM	Jarque Bera Test	108.553	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	86.3221125	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-7.43127736	1.07E-13
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.57657864	2.45E-08
A	Anderson - Darling Normality Test	4.9227686	3.54E-12
D	Lilliefors Test	0.03576944	2.39E-10
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	372.557287	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	372.557287	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99253264	1.56E-11
element	Ca_1	Ca_1	Ca_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98876679	1.97E-15
X-squared	Jarque Bera Test	191.627453	0
LM	Jarque Bera Test	191.627	0
ALM	Jarque Bera Test	192.765	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	128.917702	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-8.41230967	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	7.62566379	2.42E-14
A	Anderson - Darling Normality Test	7.84776531	3.96E-19
D	Lilliefors Test	0.03865339	3.45E-12
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	145.246563	1.03E-11
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	145.246563	3.19E-11
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98850685	6.55E-15
element	Ti_1	Ti_1	Ti_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98559218	9.38E-18
X-squared	Jarque Bera Test	356.511069	0
LM	Jarque Bera Test	356.511	0
ALM	Jarque Bera Test	358.44	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	208.313752	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	10.8170528	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.55537137	0
A	Anderson - Darling Normality Test	6.81761956	1.07E-16
D	Lilliefors Test	0.04387338	6.34E-16
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	214.493126	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	214.493126	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98531154	0

58BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Y_1	Y_1	Y_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98574774	1.19E-17
X-squared	Jarque Bera Test	46.9444275	6.40E-11
LM	Jarque Bera Test	46.944	0
ALM	Jarque Bera Test	46.921	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	49.1855109	2.09E-11
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.96979268	2.38E-09
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-3.68063666	0.00023265
A	Anderson - Darling Normality Test	5.41717969	2.32E-13
D	Lilliefors Test	0.04083197	1.10E-13
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	718.509624	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	718.509624	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98594367	1.11E-16
element	Zr_1	Zr_1	Zr_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9740986	6.27E-24
X-squared	Jarque Bera Test	641.000428	0
LM	Jarque Bera Test	641	0
ALM	Jarque Bera Test	643.976	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	352.94012	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.2264856	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	11.0042835	0
A	Anderson - Darling Normality Test	10.6924978	9.31E-26
D	Lilliefors Test	0.0427939	4.15E-15
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	194.890926	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	194.890926	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.97390591	0
element	Ta_1	Ta_1	Ta_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.86981947	4.70E-46
X-squared	Jarque Bera Test	138654.296	0
LM	Jarque Bera Test	138654.296	0
ALM	Jarque Bera Test	139295.125	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	2343.02877	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	37.1808266	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	30.9937881	0
A	Anderson - Darling Normality Test	27.365623	5.60E-62
D	Lilliefors Test	0.05121557	4.64E-22
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	703.157654	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	703.157654	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.86830651	0

58BC	Méthode	Indice	valeur P
element	V 1	V 1	V 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.64219419	9.49E-64
X-squared	Jarque Bera Test	3176.94855	0
LM	Jarque Bera Test	3176.949	0
ALM	Jarque Bera Test	3187.927	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1131.73368	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	29.8204338	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.571622	0
A	Anderson - Darling Normality Test	511.245842	NA
D	Lilliefors Test	0.40394035	0
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	77265.879	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	77265.879	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.64216818	0
element	Mn 1	Mn 1	Mn 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9973547	1.94E-05
X-squared	Jarque Bera Test	27.1609704	1.26E-06
LM	Jarque Bera Test	27.161	0
ALM	Jarque Bera Test	27.491	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	20.2281811	4.05E-05
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.64809129	0.09933394
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.18473132	2.86E-05
A	Anderson - Darling Normality Test	0.84534844	0.02959342
D	Lilliefors Test	0.02035533	0.0033198
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	317.022915	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	317.022915	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99717754	1.12E-05
element	Fe 1	Fe 1	Fe 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.96925793	6.41E-26
X-squared	Jarque Bera Test	969.491895	0
LM	Jarque Bera Test	969.492	0
ALM	Jarque Bera Test	974.817	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	315.603244	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-11.0049587	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	13.9461152	0
A	Anderson - Darling Normality Test	18.3590621	5.70E-43
D	Lilliefors Test	0.04949595	1.57E-20
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	208.540788	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	208.540788	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.96897285	0

58BC	Méthode	Indice	valeur P
element	W 1	W 1	W 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9159387	2.57E-39
X-squared	Jarque Bera Test	22577.2	0
LM	Jarque Bera Test	22577.2	0
ALM	Jarque Bera Test	22682.663	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1464.86242	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	28.5156688	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	25.5287887	0
A	Anderson - Darling Normality Test	25.1256687	2.26E-57
D	Lilliefors Test	0.05654239	3.72E-27
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	495.303391	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	495.303391	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.91501241	0
element	inc 1	inc 1	inc 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.44610393	2.58E-72
X-squared	Jarque Bera Test	13135253.9	0
LM	Jarque Bera Test	13135253.9	0
ALM	Jarque Bera Test	13195434.4	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	6166.0271	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	67.8162429	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	39.5851526	0
A	Anderson - Darling Normality Test	265.401613	4.25E-89
D	Lilliefors Test	0.19464953	0
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1846.0275	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1846.0275	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.44364781	0
element	coh 1	coh 1	coh 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.93301646	4.90E-36
X-squared	Jarque Bera Test	13350.3924	0
LM	Jarque Bera Test	13350.392	0
ALM	Jarque Bera Test	13415.713	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	832.752703	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	16.1195366	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	23.9356062	0
A	Anderson - Darling Normality Test	28.0904387	1.89E-63
D	Lilliefors Test	0.0507686	1.17E-21
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	241.534372	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	241.534372	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.93205323	0

58BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Zn_1	Zn_1	Zn_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99412567	3.22E-10
X-squared	Jarque Bera Test	20.3066434	3.89E-05
LM	Jarque Bera Test	20.307	0
ALM	Jarque Bera Test	20.289	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	20.1918882	4.12E-05
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.24884507	2.15E-05
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-1.46260173	0.14357639
A	Anderson - Darling Normality Test	2.03811371	3.48E-05
D	Lilliefors Test	0.02823728	2.73E-06
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	400.573786	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	400.573786	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99430239	1.17E-09

Tableau 58BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 58C

Spearman ranked correlation (QRMLib) using R 2.6.2

bc58	Age	Si_1	P_1	S_1	Cl_1	Ar_1	K_1	Ca_1	Ti_1	Mn_1	Fe_1	Zn_1	Ga_1	As_1	Se_1	Br_1	Rb_1	Sr_1	Y_1	Zr_1	Ta_1	W_1	inc_1	coh_1
n=3272	1	0.238	0.068	0.154	0.043	-0.126	0.330	0.388	0.273	0.053	-0.069	0.039	0.085	0.069	0.034	-0.094	0.153	0.642	0.015	0.378	0.051	0.216	0.125	0.320
Si_1	0.238	1	0.297	0.326	0.196	0.156	0.434	0.428	0.252	0.049	0.214	0.051	0.041	0.057	0.047	0.050	0.088	0.274	0.000	0.160	0.009	0.109	0.153	0.172
P_1	0.068	0.297	1	0.444	0.364	0.389	0.126	0.082	0.031	-0.157	0.001	-0.009	-0.026	-0.004	0.003	0.037	0.017	0.072	-0.007	0.031	0.009	0.017	0.058	0.039
S_1	0.154	0.326	0.444	1	0.356	0.391	0.177	0.160	0.093	-0.125	0.023	-0.011	-0.017	0.000	0.010	0.030	0.012	0.143	0.007	0.100	0.047	0.053	0.074	0.089
Cl_1	0.043	0.196	0.364	0.356	1	0.242	0.064	0.080	0.061	-0.040	0.072	0.030	-0.011	0.022	0.040	0.085	-0.011	0.052	-0.013	0.043	0.089	0.096	0.148	0.051
Ar_1	-0.126	0.156	0.389	0.391	0.242	1	-0.029	-0.055	-0.047	-0.160	-0.092	-0.044	-0.045	-0.025	-0.002	0.049	-0.033	-0.105	0.005	-0.071	-0.023	-0.055	-0.080	-0.092
K_1	0.330	0.434	0.126	0.177	0.064	-0.029	1	0.621	0.472	0.242	0.442	0.122	0.078	0.043	0.039	0.049	0.151	0.413	0.019	0.215	0.028	0.186	0.235	0.248
Ca_1	0.388	0.428	0.082	0.160	0.080	-0.055	0.621	1	0.494	0.287	0.455	0.116	0.094	0.021	0.015	0.039	0.130	0.465	0.025	0.250	0.025	0.179	0.224	0.275
Ti_1	0.273	0.252	0.031	0.093	0.061	-0.047	0.472	0.494	1	0.281	0.437	0.100	0.054	0.028	0.012	0.007	0.114	0.330	0.025	0.200	0.006	0.133	0.177	0.213
Mn_1	0.053	0.049	-0.157	-0.125	-0.040	-0.160	0.242	0.287	0.281	1	0.402	0.087	0.033	0.003	0.001	0.048	0.053	0.114	0.012	0.057	0.035	0.044	0.099	0.087
Fe_1	-0.069	0.214	0.001	0.023	0.072	-0.092	0.442	0.455	0.437	0.402	1	0.140	0.052	0.036	-0.001	0.100	0.116	0.155	0.069	0.078	0.044	0.112	0.286	0.235
Zn_1	0.039	0.051	-0.009	-0.011	0.030	-0.044	0.122	0.116	0.100	0.087	0.140	1	0.074	0.122	0.056	0.035	0.026	0.103	0.054	0.038	0.150	0.052	0.123	0.102
Ga_1	0.085	0.041	-0.026	-0.017	-0.011	-0.045	0.078	0.094	0.054	0.033	0.052	0.074	1	0.075	0.098	0.033	0.043	0.119	-0.001	0.067	-0.185	0.141	0.055	0.045
As_1	0.069	0.057	-0.004	0.000	0.022	-0.025	0.043	0.021	0.028	0.003	0.036	0.092	0.075	1	0.114	0.031	0.073	0.082	0.042	0.067	0.062	0.082	0.051	0.041
Se_1	0.034	0.047	0.003	0.010	0.040	-0.002	0.039	0.015	0.012	0.001	-0.001	0.056	0.098	0.114	1	0.128	0.082	0.091	0.037	0.051	0.044	0.019	0.033	0.011
Br_1	-0.094	0.050	0.037	0.030	0.085	0.049	0.049	0.039	0.007	0.048	0.100	0.035	0.033	0.031	0.128	1	-0.065	0.003	0.072	-0.020	0.046	0.037	0.162	0.064
Rb_1	0.153	0.088	0.017	0.012	-0.011	-0.033	0.151	0.130	0.114	0.053	0.116	0.026	0.043	0.073	0.082	-0.065	1	0.225	-0.043	0.152	0.036	0.093	0.176	0.205
Sr_1	0.642	0.274	0.072	0.143	0.052	-0.105	0.413	0.465	0.330	0.114	0.155	0.103	0.119	0.082	0.091	0.003	0.225	1	0.114	0.367	0.054	0.243	0.347	0.474
Y_1	0.015	0.000	-0.007	0.007	-0.013	0.005	0.019	0.025	0.025	0.012	0.069	0.054	-0.001	0.042	0.037	0.072	-0.043	0.114	1	0.083	0.031	0.030	0.214	0.220
Zr_1	0.378	0.160	0.031	0.100	0.043	-0.071	0.215	0.250	0.200	0.057	0.078	0.038	0.067	0.067	0.051	-0.020	0.152	0.367	0.083	1	0.048	0.120	0.267	0.359
Ta_1	0.051	0.009	0.009	0.047	0.089	-0.023	0.028	0.025	0.006	0.035	0.044	0.150	-0.185	0.062	0.044	0.046	0.036	0.054	0.031	0.048	1	0.049	0.150	0.119
W_1	0.216	0.109	0.017	0.053	0.096	-0.055	0.186	0.179	0.133	0.044	0.112	0.052	0.141	0.082	0.019	0.037	0.093	0.243	0.030	0.120	0.049	1	0.234	0.195
inc_1	0.125	0.153	0.058	0.074	0.148	-0.080	0.235	0.224	0.177	0.099	0.286	0.123	0.055	0.051	0.033	0.162	0.176	0.347	0.214	0.267	0.150	0.234	1	0.656
coh_1	0.320	0.172	0.039	0.089	0.051	-0.092	0.248	0.275	0.213	0.087	0.235	0.102	0.045	0.041	0.011	0.064	0.205	0.474	0.220	0.359	0.119	0.195	0.656	1



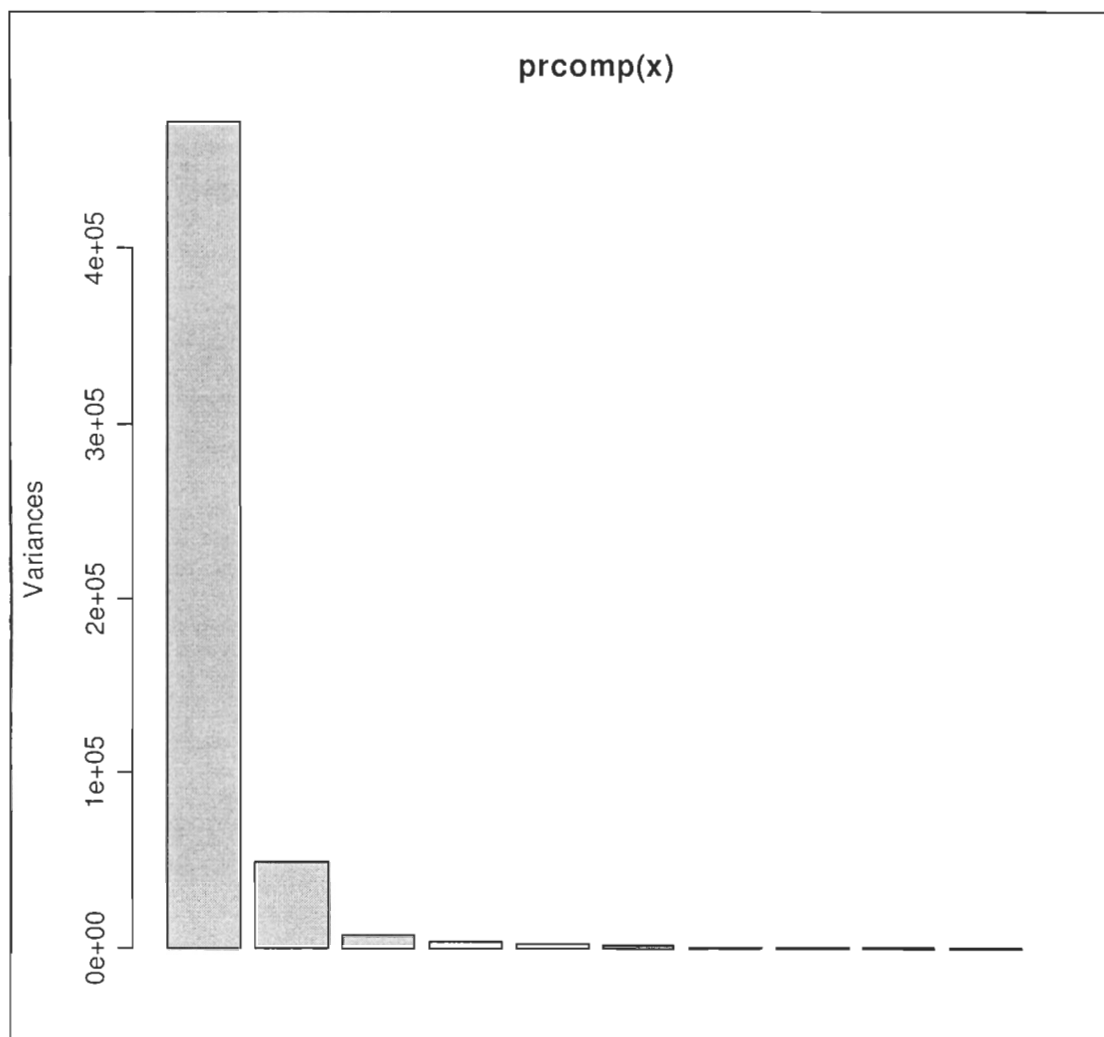


Figure 58BC-9 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 58BC

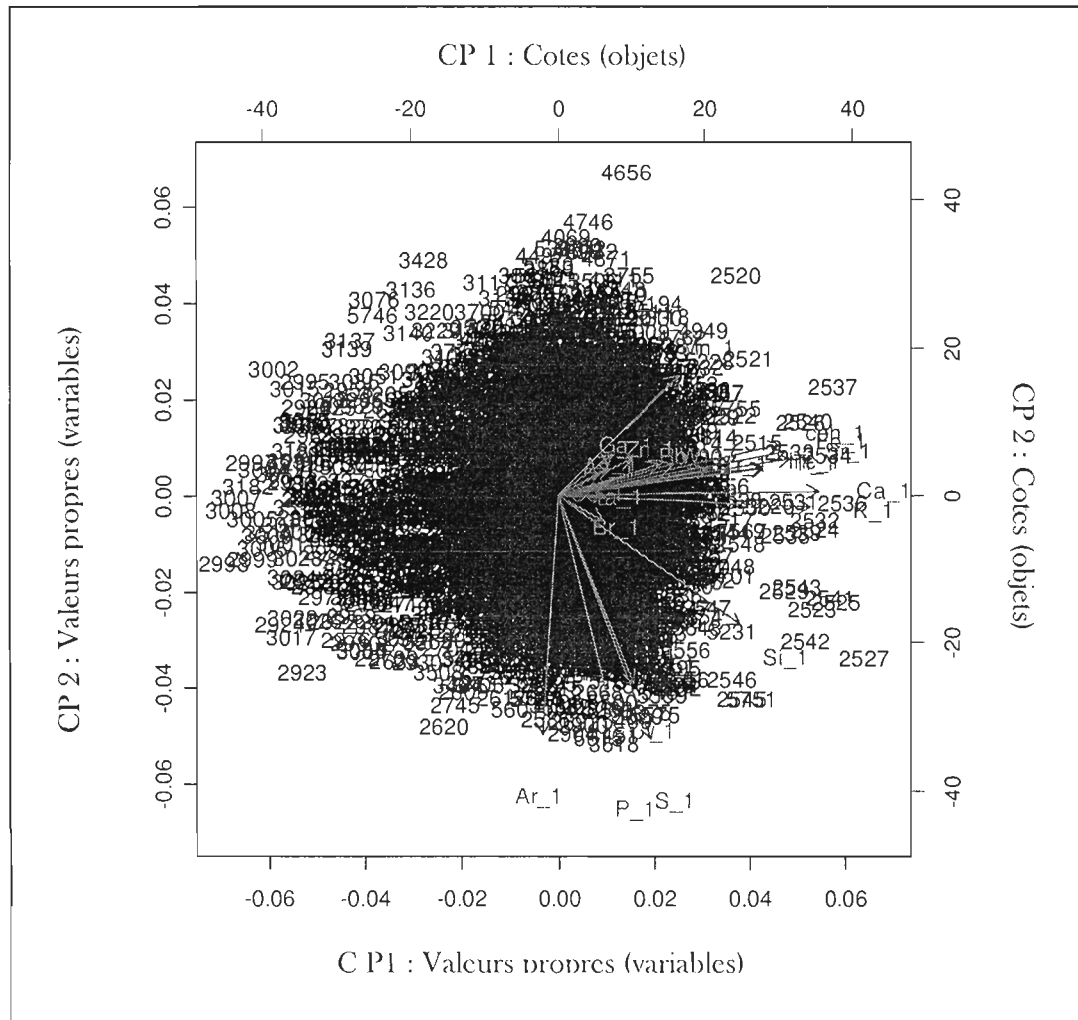


Figure 58BC-10 : Cotes (scores) et valeurs propres (eigenvalues) des deux premières composantes principales de l'ACP sur les données XRF pour la carotte 58BC

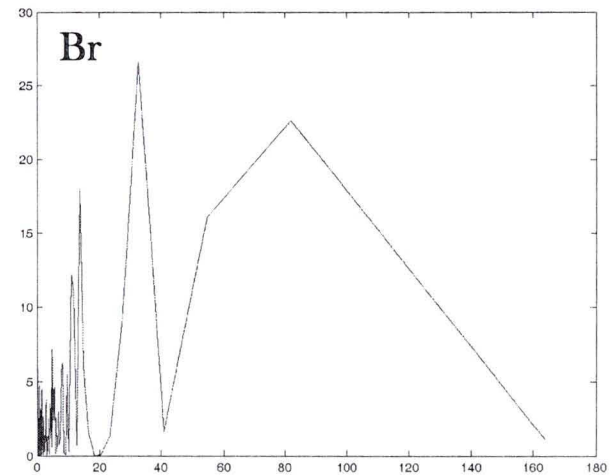
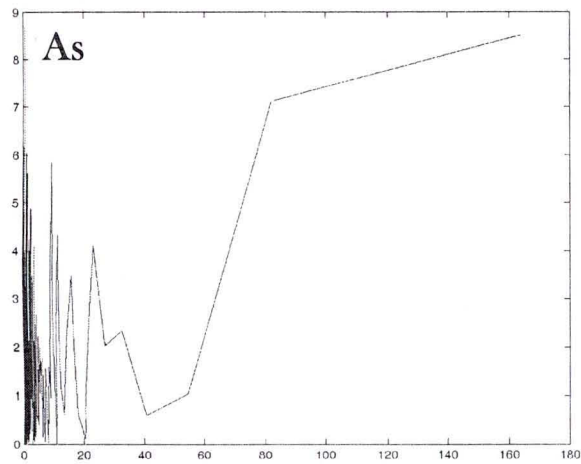
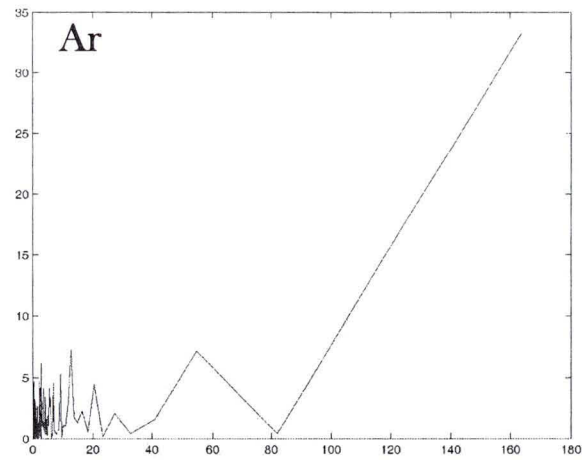
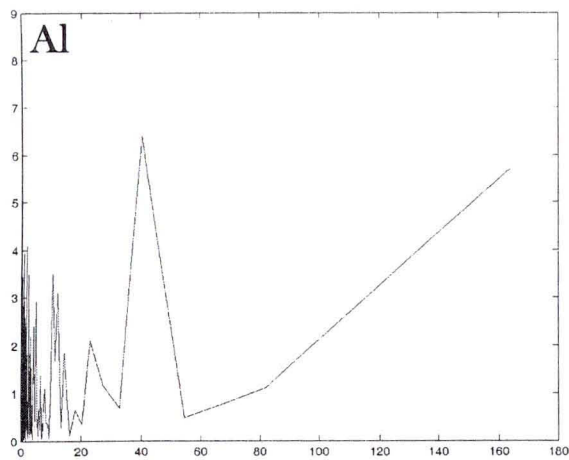
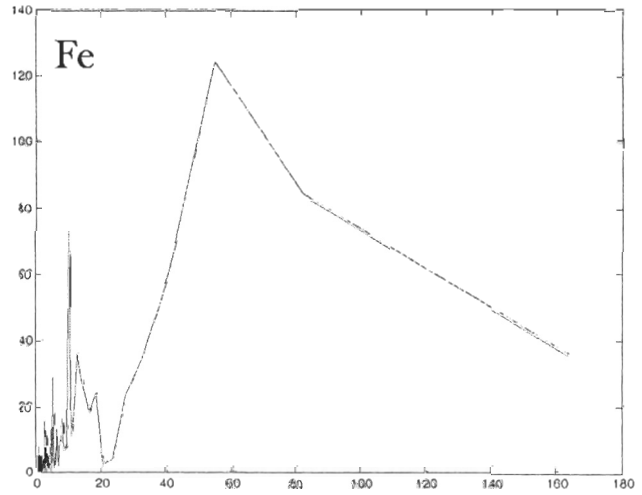
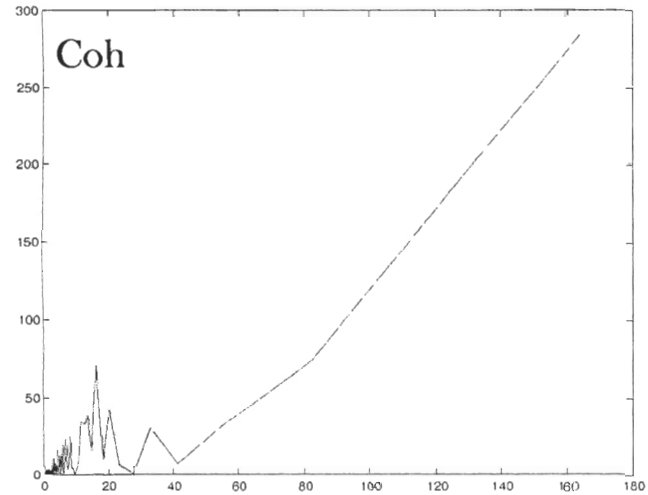
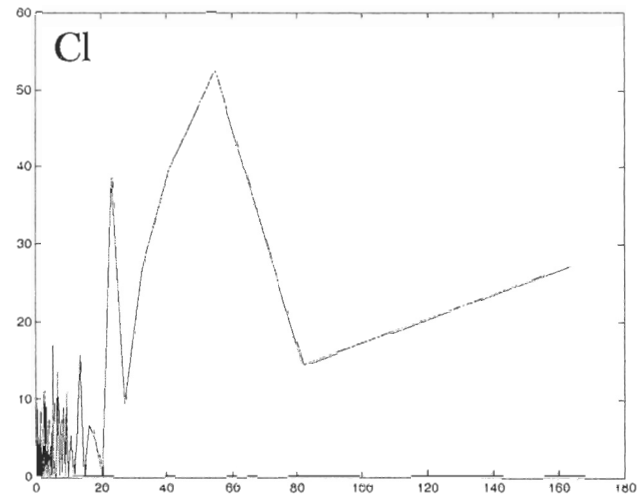
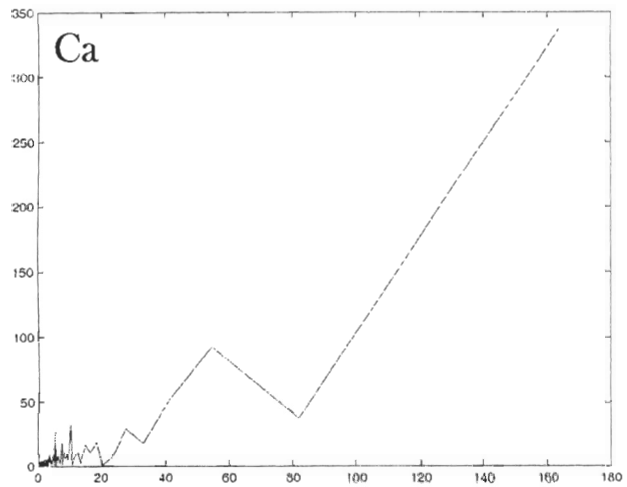
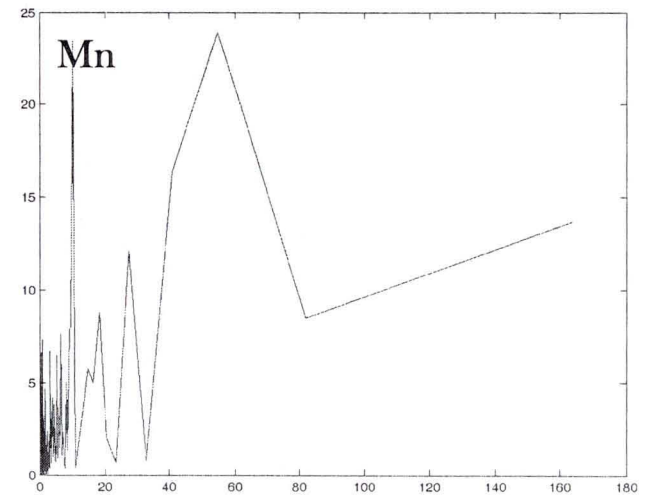
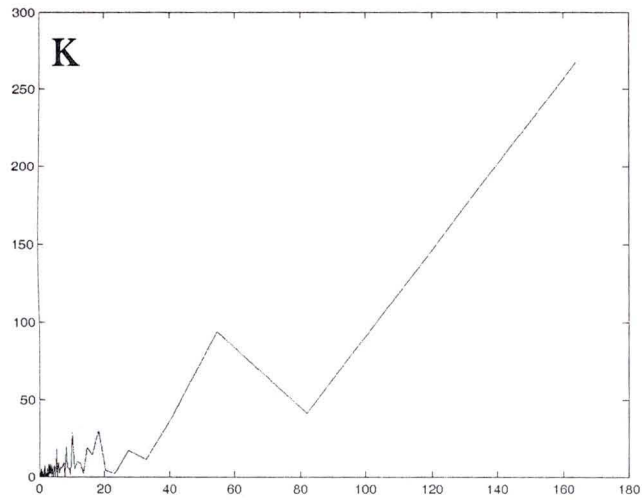
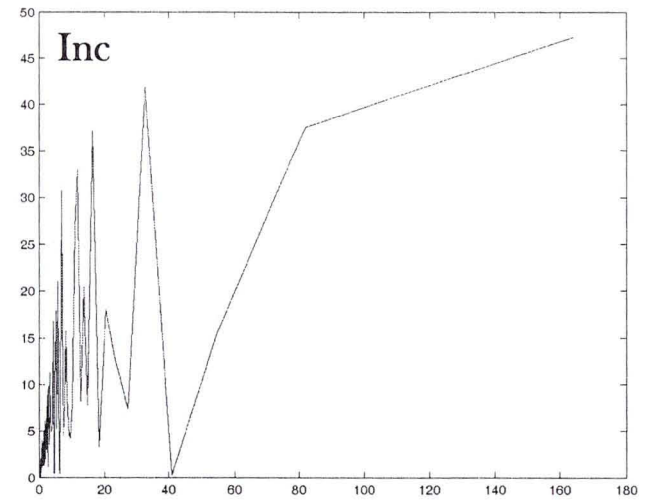
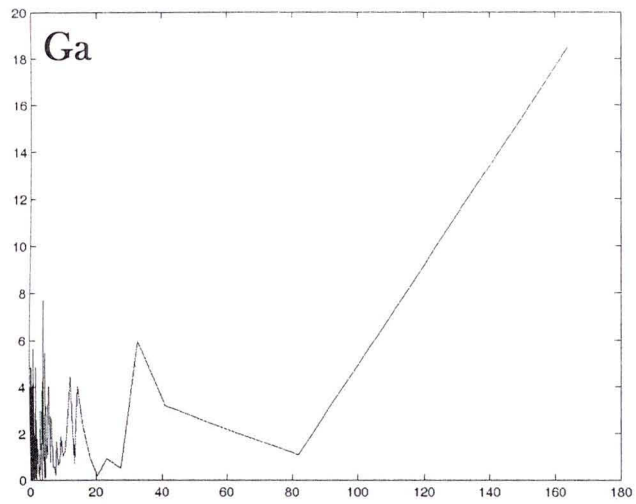
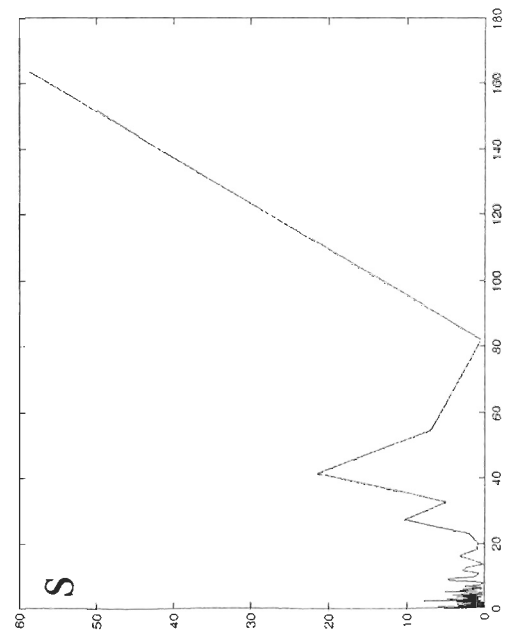
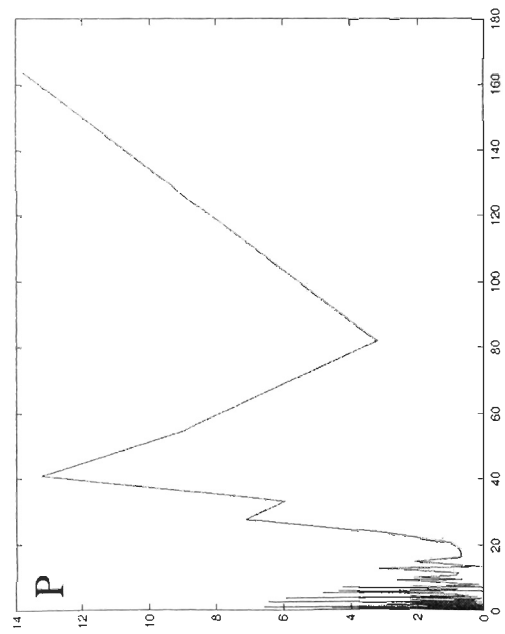
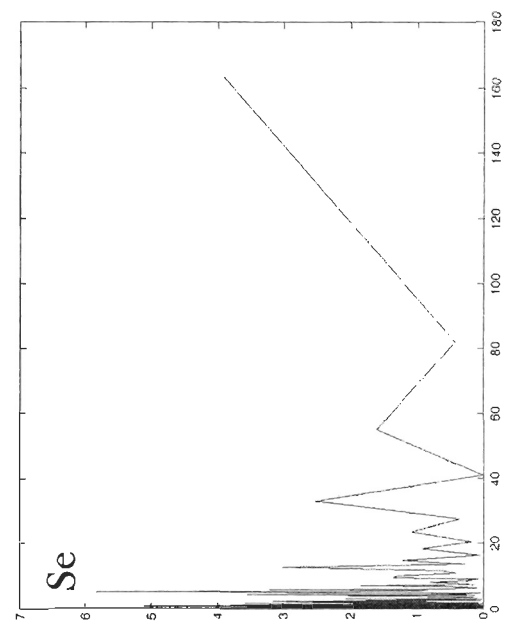
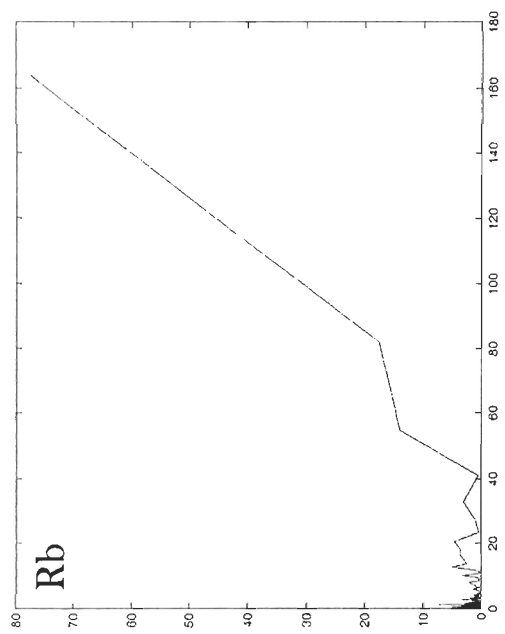
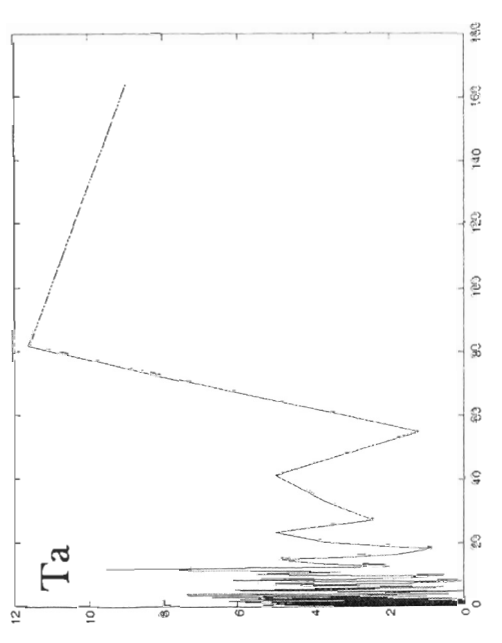
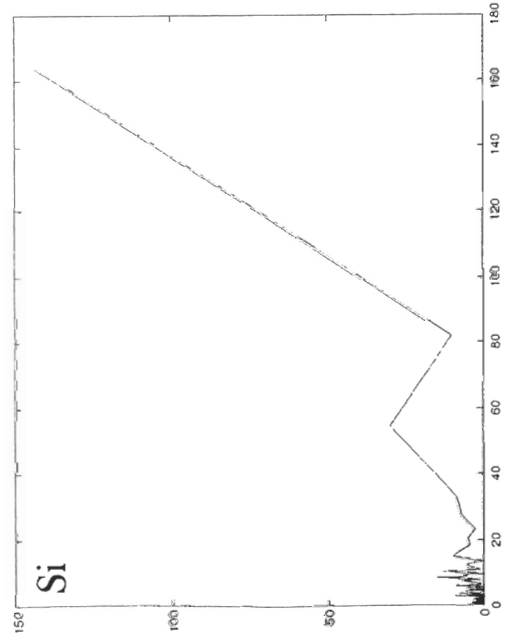
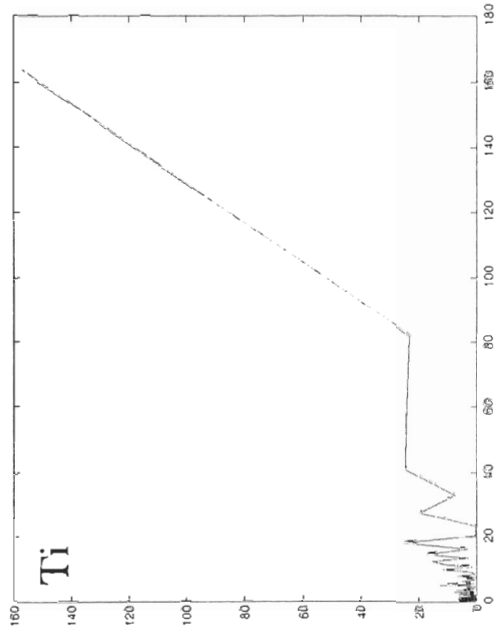
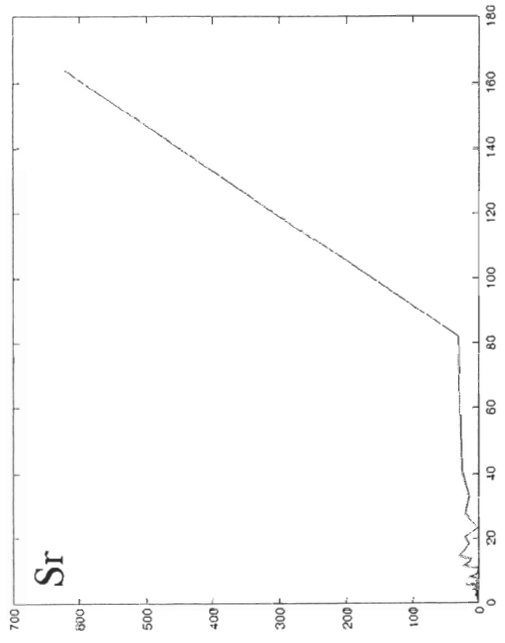


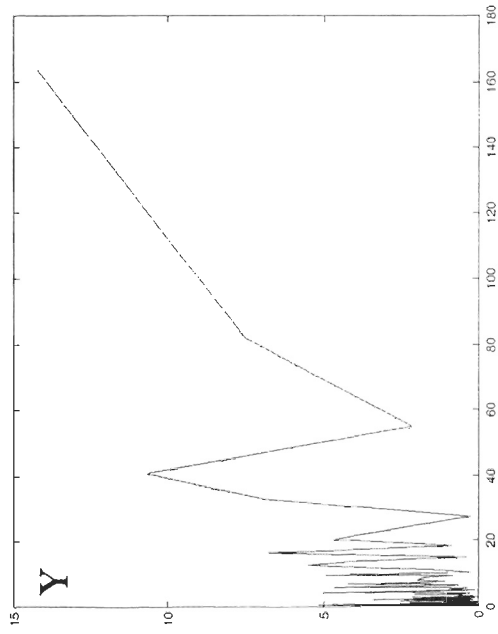
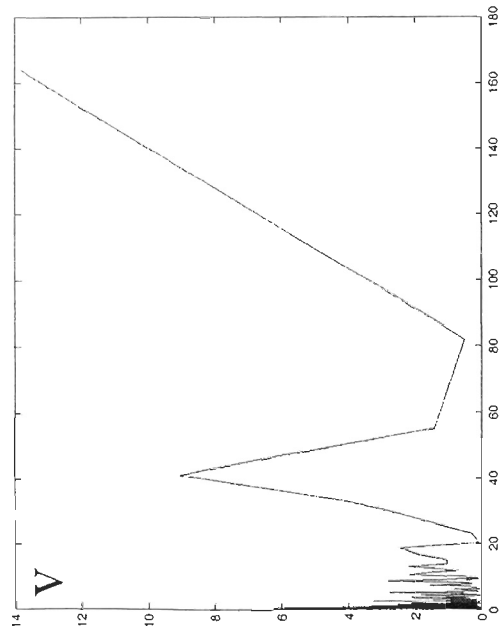
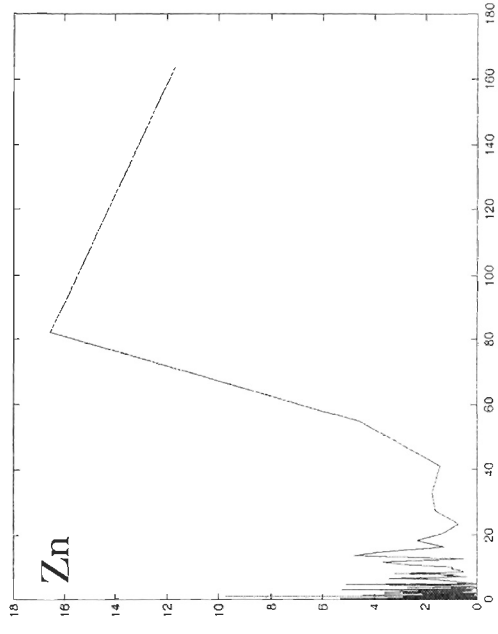
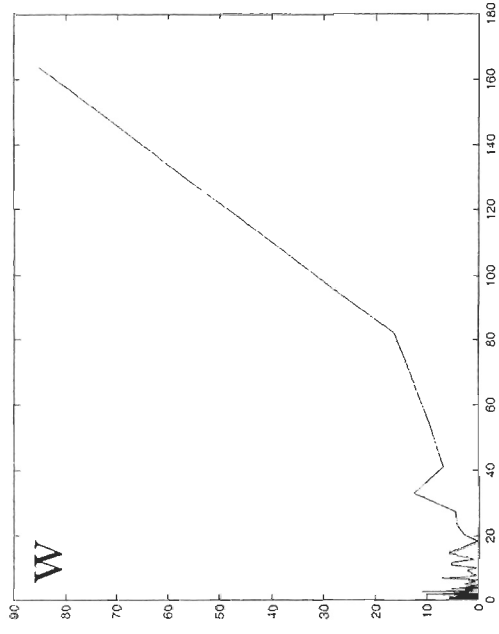
Figure 58BC-11 : Transformées rapides de Fourier (FFT) pour les données XRF normalisées de la carotte 58BC



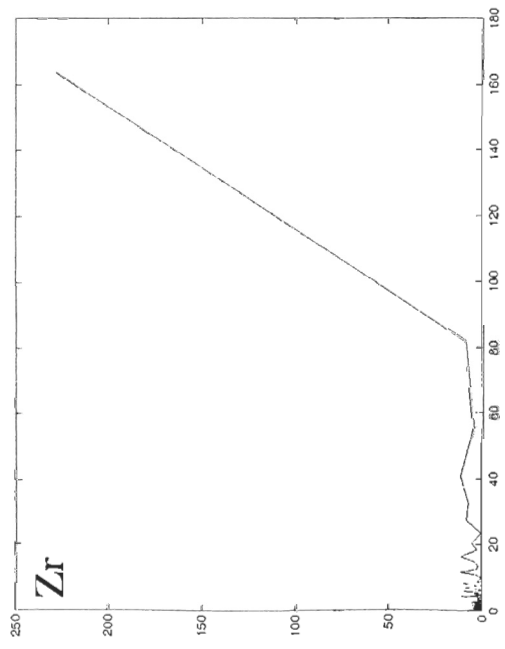












### 1.3 62BC

Voir le fichier [UBV\\_memoire\\_62BC.pdf](#) contenant les figures 62BC-1 à 62BC-9 et tableaux 62BC-1 à 62BC-3.

#### Liste des figures 62BC

Figure 62BC-2 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 62BC.....	XCI
Figure 62BC-3 : Distribution granulométrique de la carotte 62BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm) .....	XCII
Figure 62BC-4 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 62BC selon la profondeur (cm).....	XCIII
Figure 62BC-5 : Profils de $N_{tot}$ , $C_{tot}$ , $C_{org}/N_{tot}$ , $CaCO_3$ , $C_{org}$ et $\delta^{13}C_{org}$ de la carotte 62BC	XCIV
Figure 62BC-6 : Profils optiques $l^*$ (noir-blanc), $a^*$ (vert-rouge) et $b^*$ (jaune-bleu) pour la carotte 62BC .....	XCV
Figure 62BC-7 : Figure synthèse de la carotte 62BC selon la profondeur (cm).....	XCVI
Figure 62BC-8 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 62BC	XCVIII
Figure 62BC-9 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 62BC .....	CXI
Figure 62BC-10 : Cotes ( <i>scores</i> ) et valeurs propres ( <i>eigenvalues</i> ) des deux premières composantes principales de l'ACP sur les données XRF pour la carotte 62BC ....	CXII

#### Liste des tableaux 62BC

Tableau 62BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 62BC ..	XCVII
Tableau 62BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 62BC.....	CV
Tableau 62BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 62BC	CX

## Analyse sommaire

La carotte 62BC est très homogène, sauf une fissure au sommet de la carotte entre 4 et 9 cm de profondeur révélée par l'imagerie CAT-Scan, mais absente de l'imagerie aux rayons-X. Elle comporte une seule unité sédimentaire, un mélange de sable et de silt, avec une tendance graduelle à la diminution vers le sommet, alors que des argiles s'ajoutent au mélange. Une telle tendance est aussi observée dans les analyses géochimiques, en particulier l'augmentation du C/N et du contenu en  $C_{org}$  vers le sommet. Dans les données XRF, plusieurs variables ont des formes d'histogramme suggérant une distribution normale ; seuls le fer, l'argon, les collisions cohérentes, le calcium et le strontium ont des tests qui le confirme. Les corrélations entre les éléments sont toutes inférieures à 0,45, mis à part le couple S et P (0,46). Un fait marquant est que trois éléments dépassent le seuil de 0,50 en corrélation avec le temps, dont Sr à 0,61 et Br et Inc dans les 0,50 mais dans le négatif. La composante principale 1 a une variance nettement supérieure à celle des autres, surtout en corrélation avec Fe, Ca et K. Comme la carotte n'a pas été datée, l'analyse spectrale n'a pas été réalisée.

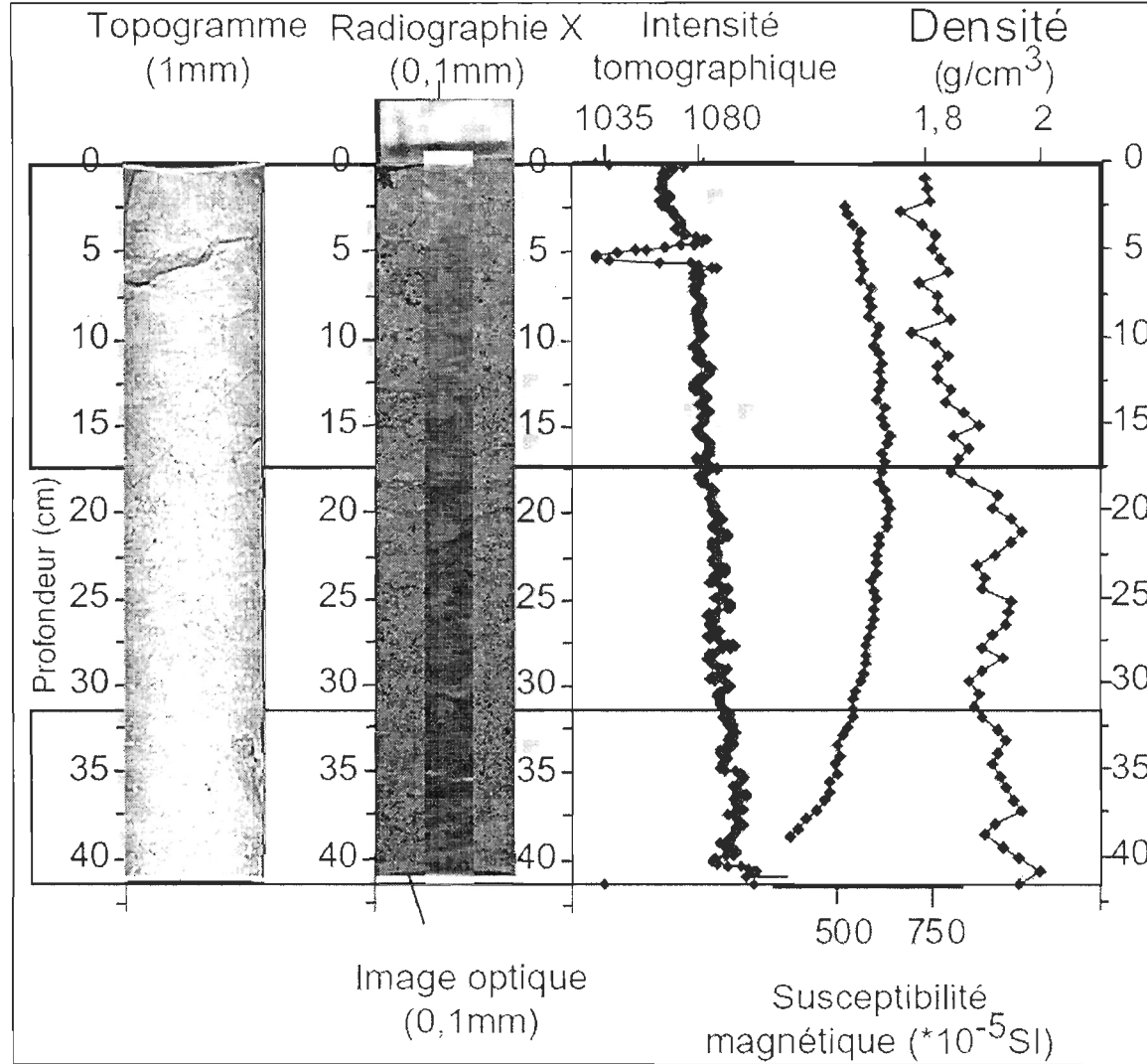


Figure 62BC-2 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 62BC

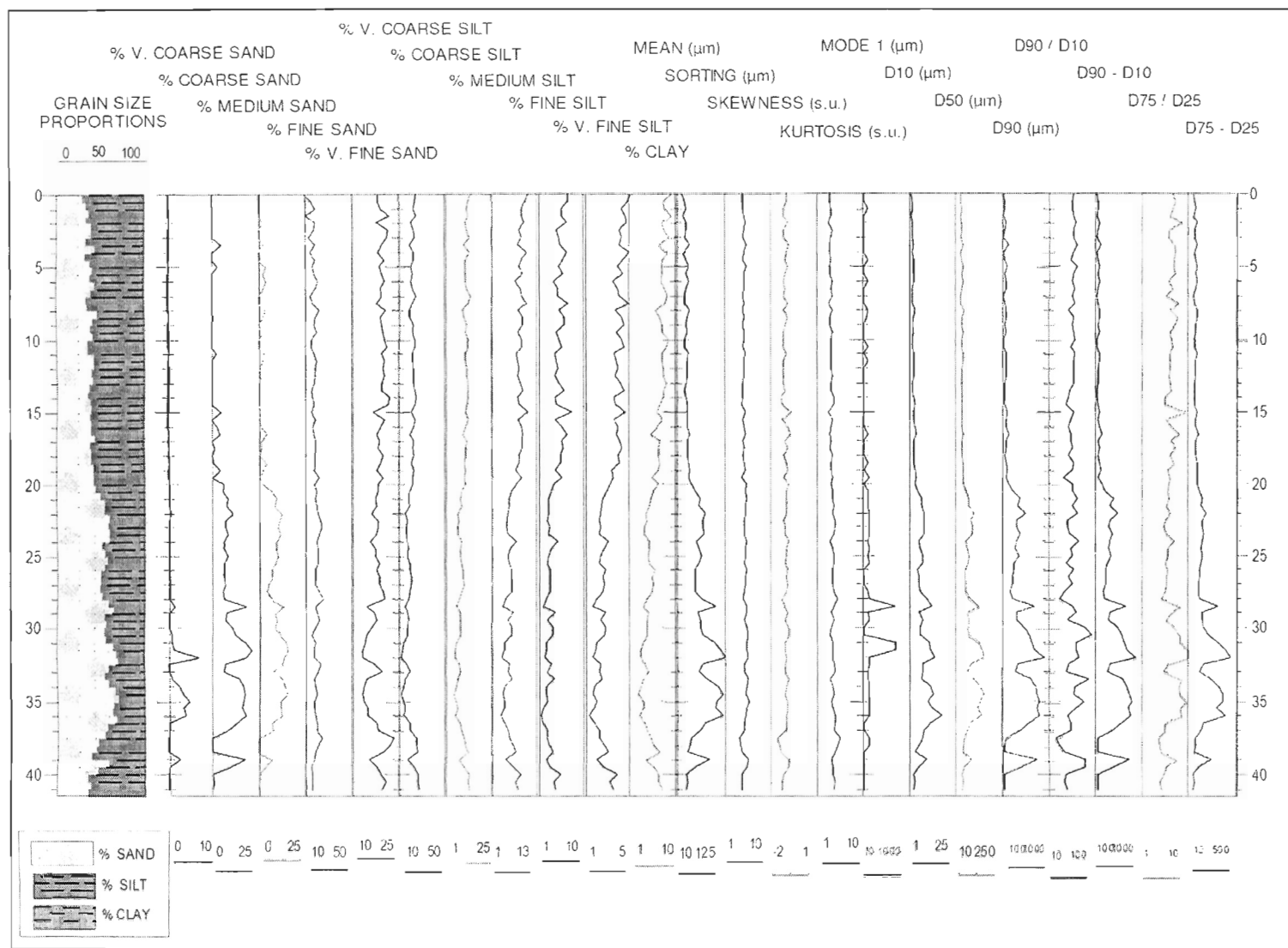


Figure 62BC-3 : Distribution granulométrique de la carotte 62BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm)

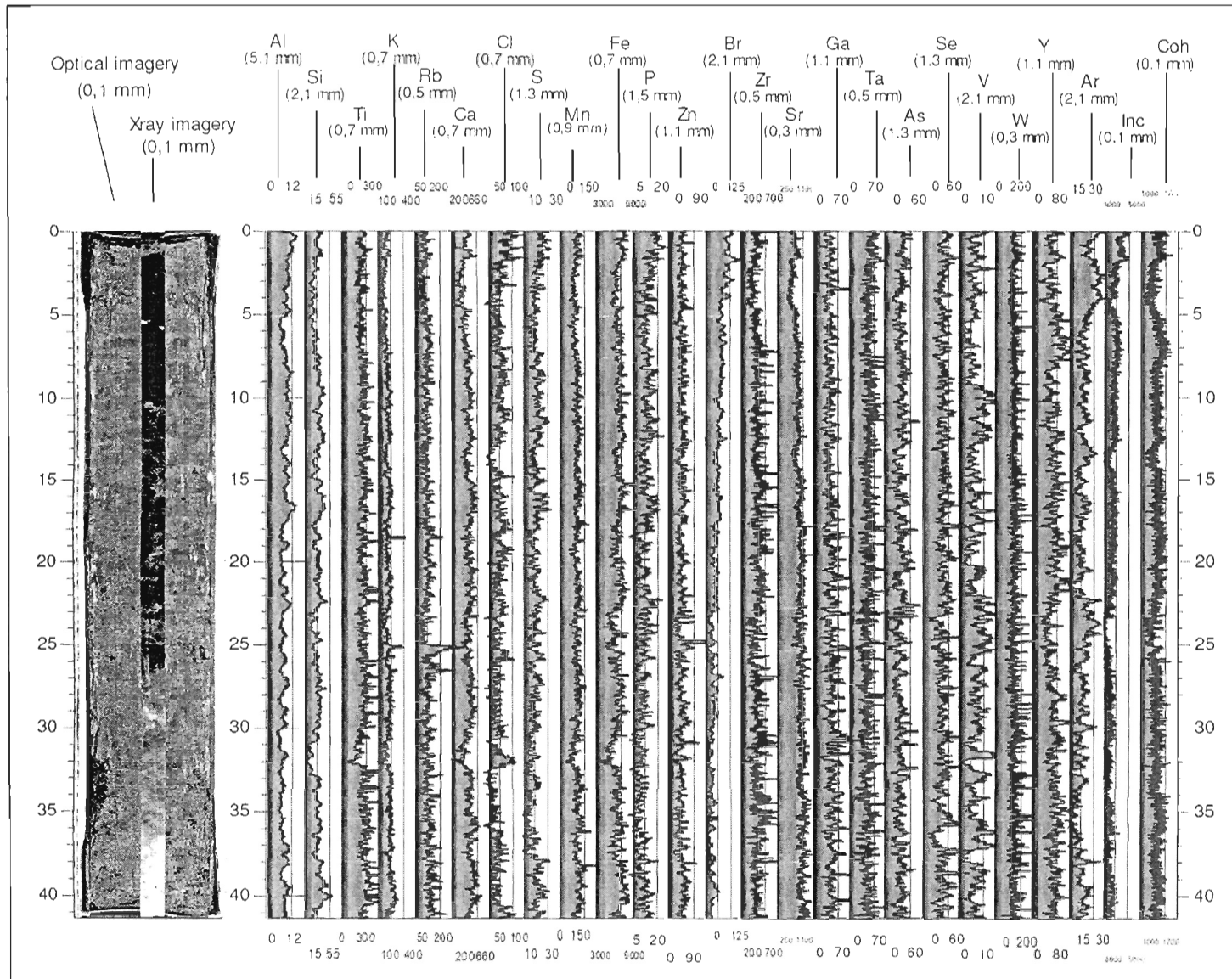


Figure 62BC-4 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 62BC selon la profondeur (cm)

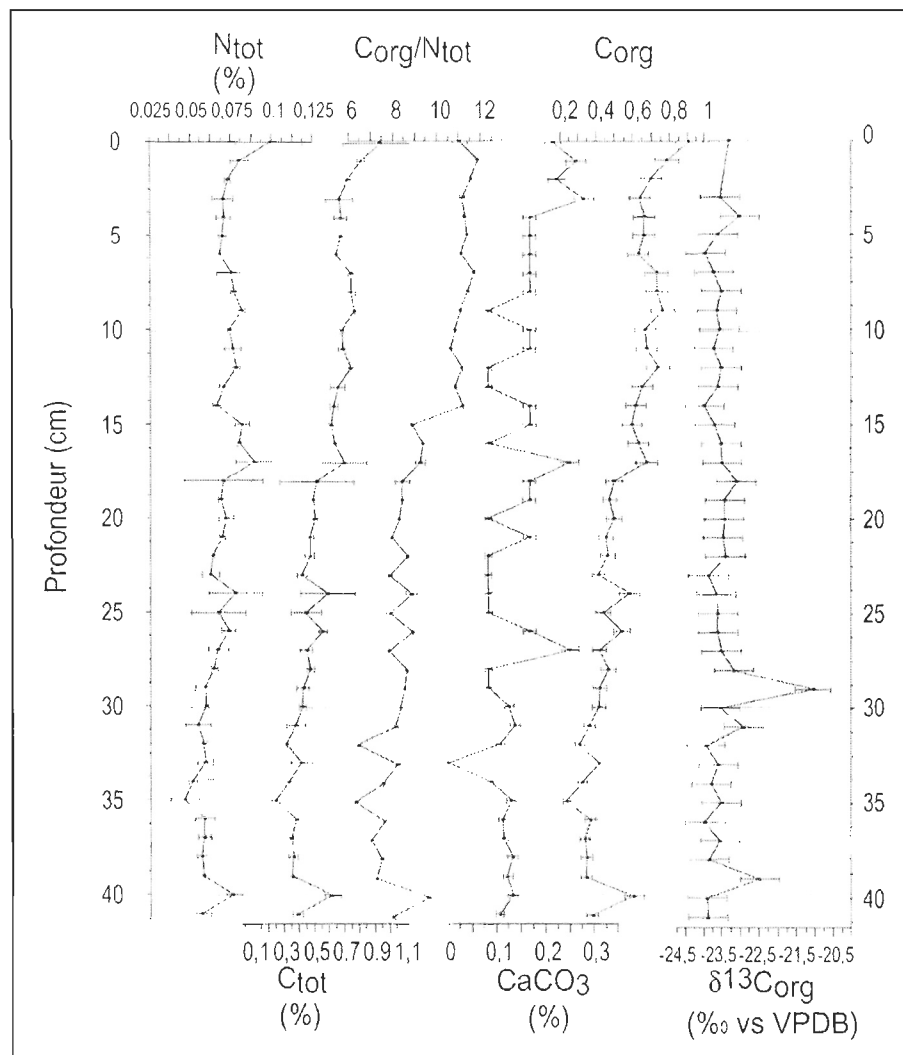


Figure 62BC-5 : Profils de N<sub>tot</sub>, C<sub>tot</sub>, C<sub>org</sub>/N<sub>tot</sub>, CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub> et δ<sup>13</sup>C<sub>org</sub> de la carotte 62BC

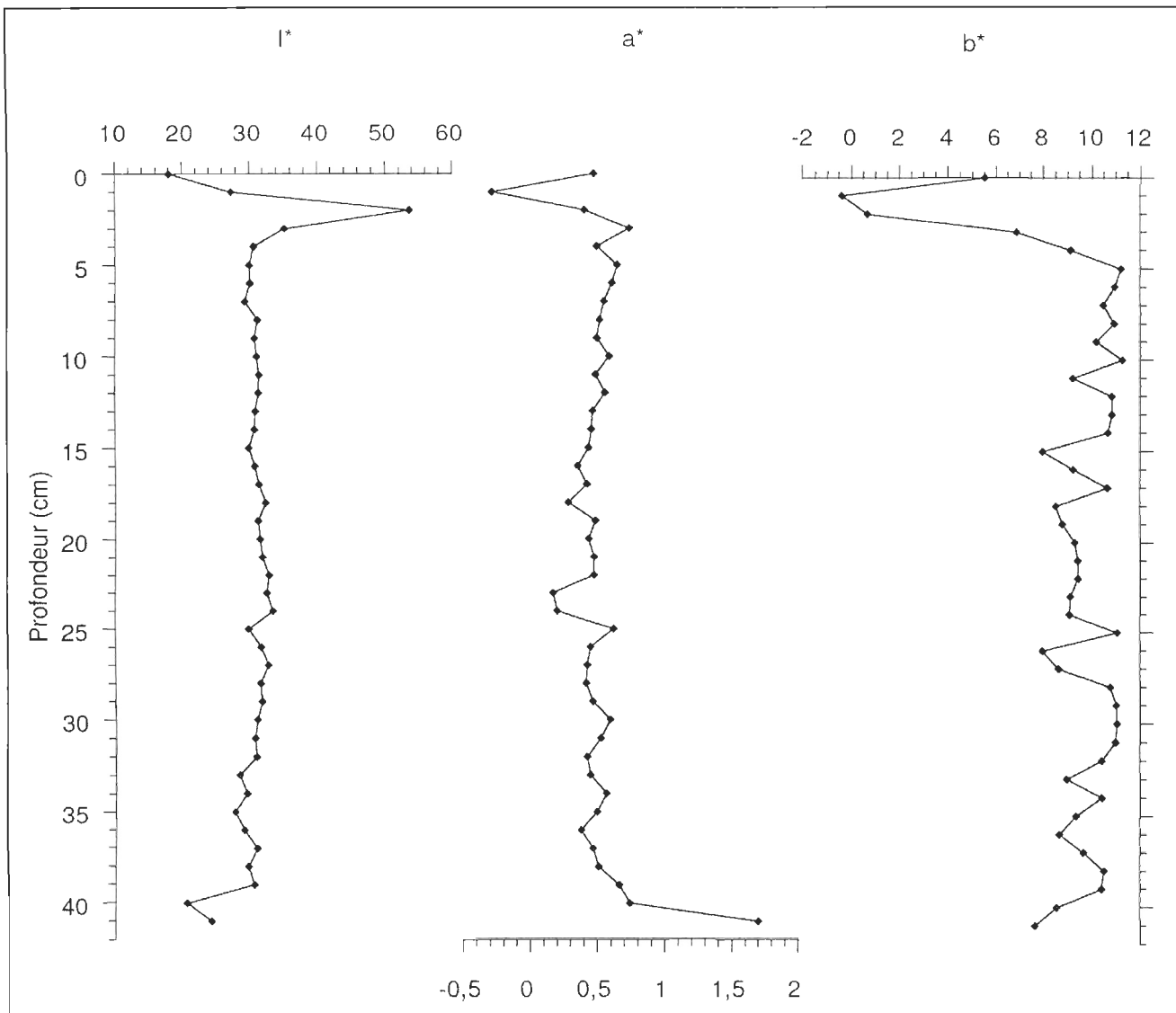


Figure 62BC-6 : Profils optiques  $l^*$  (noir-blanc),  $a^*$  (vert-rouge) et  $b^*$  (jaune-bleu) pour la carotte 62BC



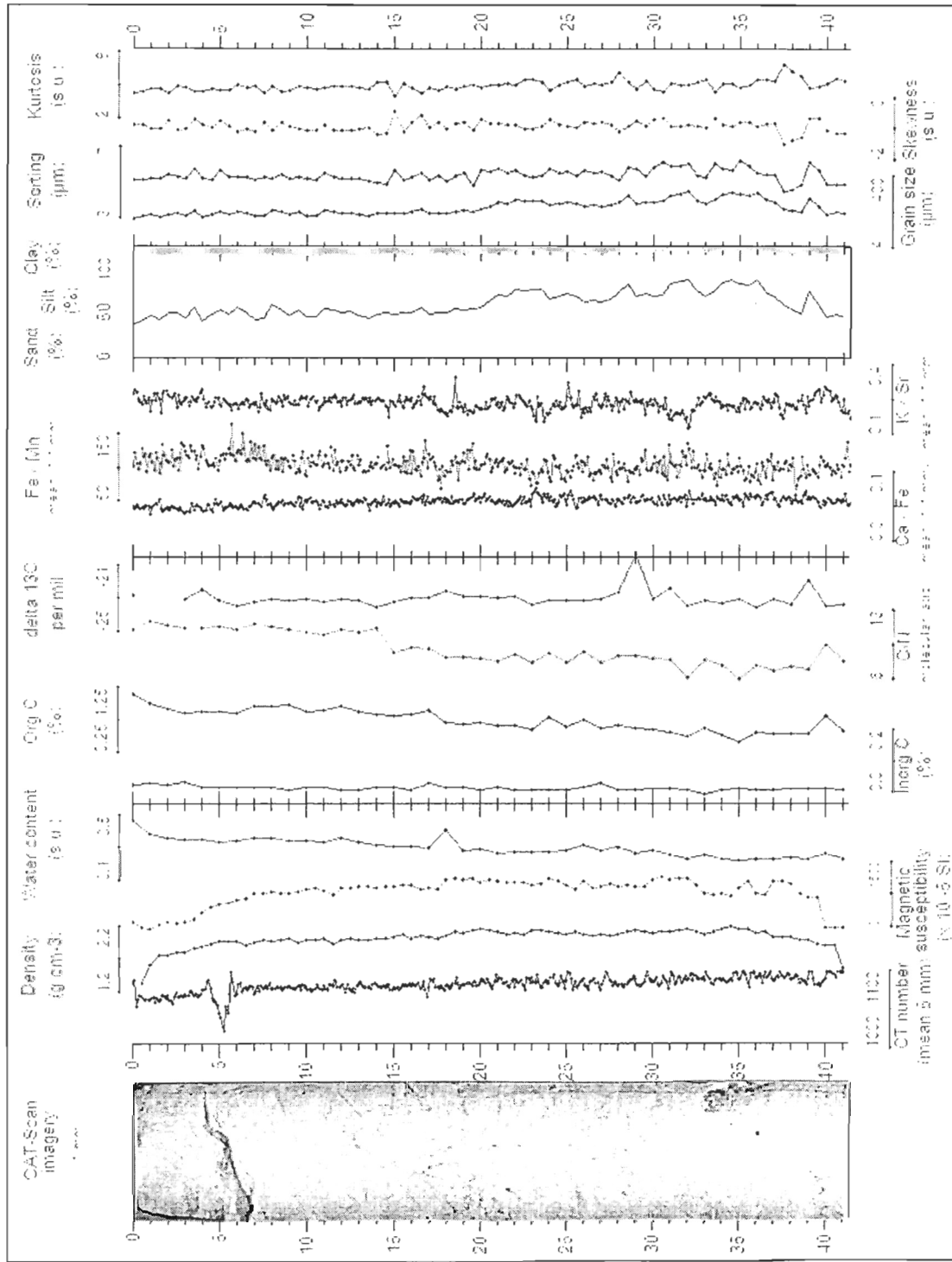


Figure 62BC-7 : Figure synthèse de la carotte 62BC selon la profondeur (cm)

Tableau 62BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 62BC

62BC	Al 1	Si 1	P 1	S 1	Cl 1	Ar 1	K 1	Ca 1	Ti 1	V 1	Mn 1	Fe 1	Zn 1
Moyenne	5.61217	29.2857	10.2557	16.879	64.6433	21.0444	181.855	413.719	183.418	4.75972	73.2012	6665.52	31.4062
Variance	30.1404	73.3824	43.2638	51.4721	161.618	57.2188	940.367	3662.87	3572.49	50.0217	592.279	927549	421.196
Écart-type	5.49002	8.56635	6.57752	7.1744	12.7129	7.56431	30.6654	60.5216	59.7703	7.0726	24.3368	963.094	20.5231
Médiane	5	29	10	17	64	21	181	414	173	0	72	6657	30
Quantile	0	16	0	6	45	9	134	312	113	0	37	5081	0
Skewness	0.61342	0.18737	0.1856	0.13356	0.25971	0.06321	0.47754	-0.0109	2.03618	1.57496	0.90904	0.21085	1.59813
Kurtose	-0.4132	0.00135	-0.3481	0.01945	0.22299	0.12632	2.21986	0.14248	9.76575	2.28458	3.76055	1.33793	8.92534
Max	31	63	33	43	122	52	432	616	775	45	269	12093	226
Min	0	0	0	0	23	0	60	169	37	0	0	3027	0
n	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141
% zéros	0.39435	0.00048	0.1589	0.02705	0.00024	0.01014	0.00024	0.00024	0.00024	0.59527	0.00024	0.00024	0.07245
62BC	Ga 1	As 1	Se 1	Br 1	Rb 1	Sr 1	Y 1	Zr 1	Ta 1	W 1	inc 1	coh 1	
Moyenne	33.5344	26.7658	33.7947	40.148	102.934	763.291	46.5996	431.509	38.3581	104.892	3441.3	1309.36	
Variance	543.91	427.683	544.626	869.252	1101.17	9650.92	879.838	15333.2	280.983	1055.37	49011.4	6828.9	
Écart-type	23.3219	20.6805	23.3372	29.4831	33.1839	98.2391	29.6621	123.827	16.7625	32.4864	221.385	82.6372	
Médiane	31	25	32	38	101	766	45	411	38	100	3432	1312	
Quantile	0	0	0	0	52	594	0	286	13	69	3098	1167	
Skewness	1.23588	0.63291	0.62909	0.60306	0.44729	-0.0817	0.51421	2.29351	0.65093	6.2654	0.37409	-0.1204	
Kurtose	4.07816	0.13846	0.64886	0.18094	1.12243	0.05805	0.3552	11.7507	2.6333	111.452	0.92954	0.01655	
Max	209	122	160	187	300	1069	215	1599	172	842	4385	1615	
Min	0	0	0	0	0	463	0	183	0	35	2736	1027	
n	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	4141	
% zéros	0.08911	0.17025	0.11398	0.13861	0.00097	0.00024	0.08042	0.00024	0.01739	0.00024	0.00024	0.00024	

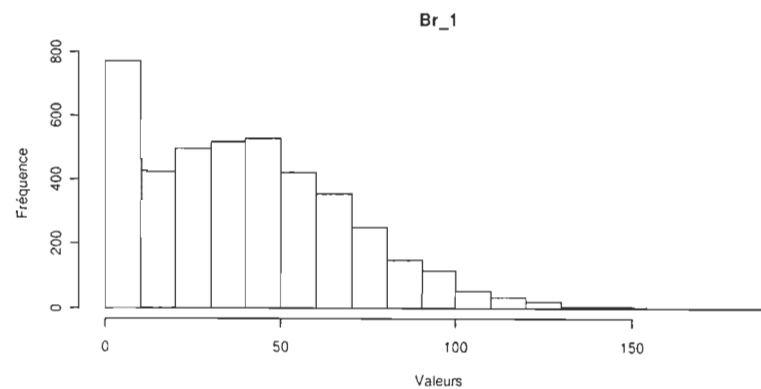
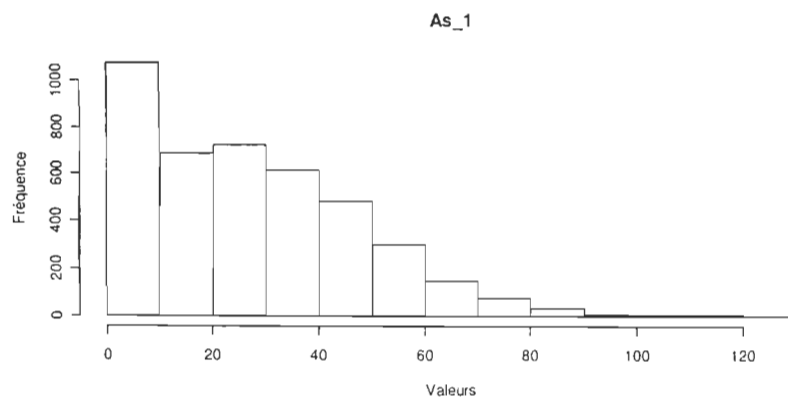
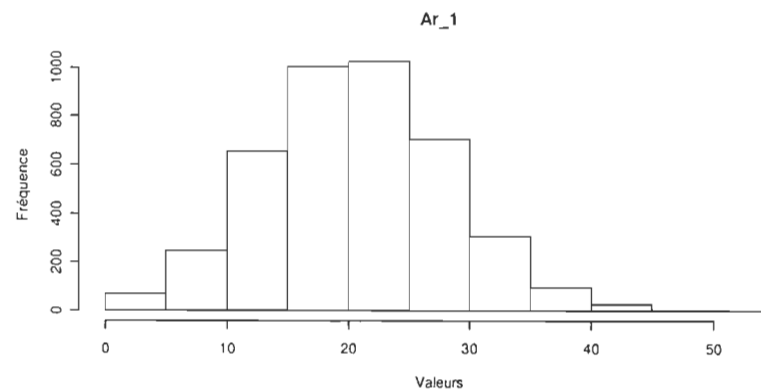
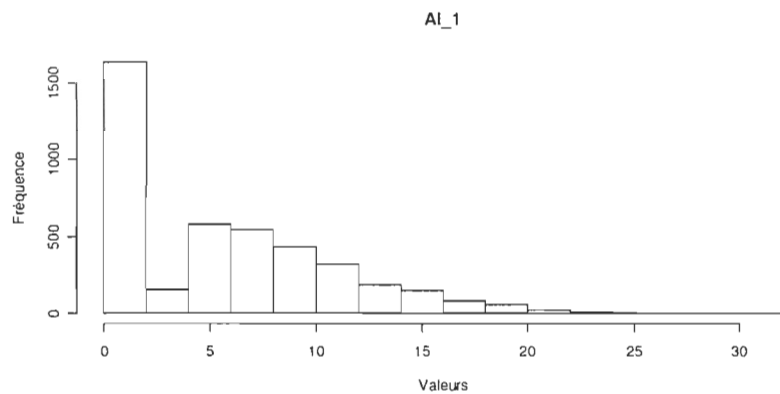
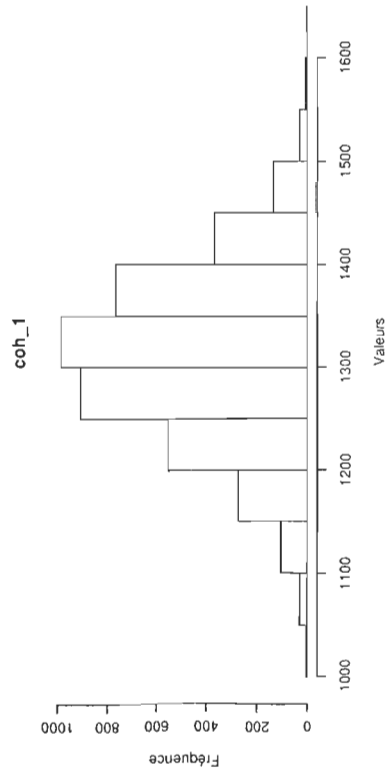
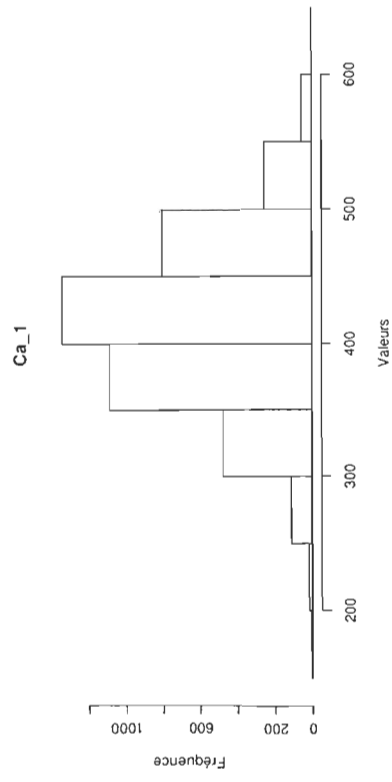
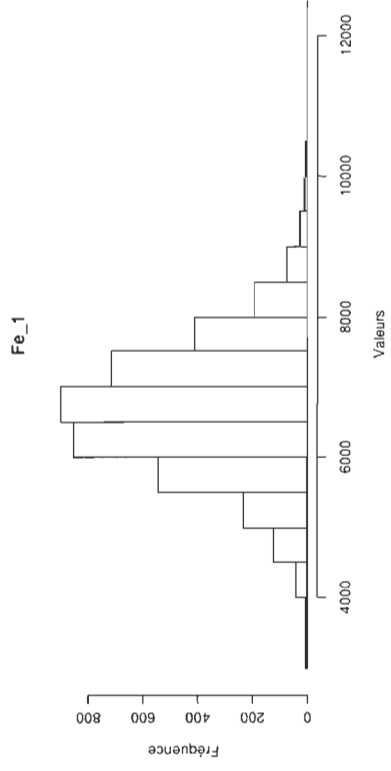
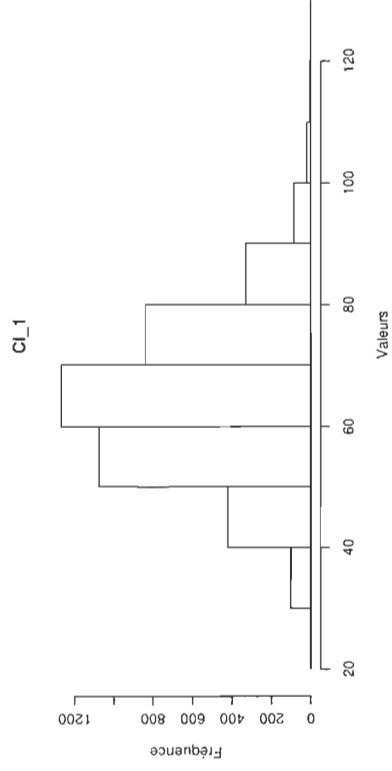
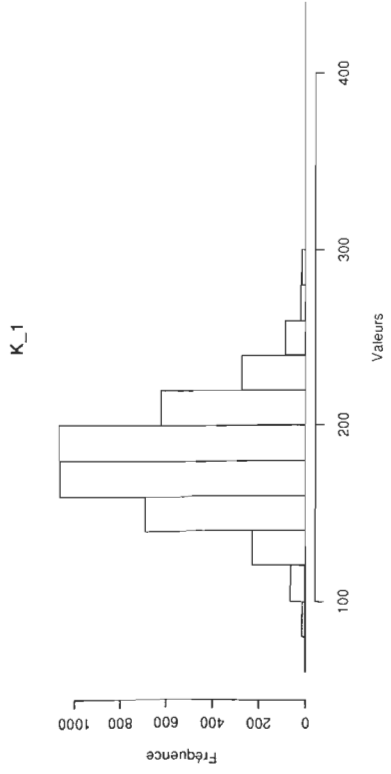
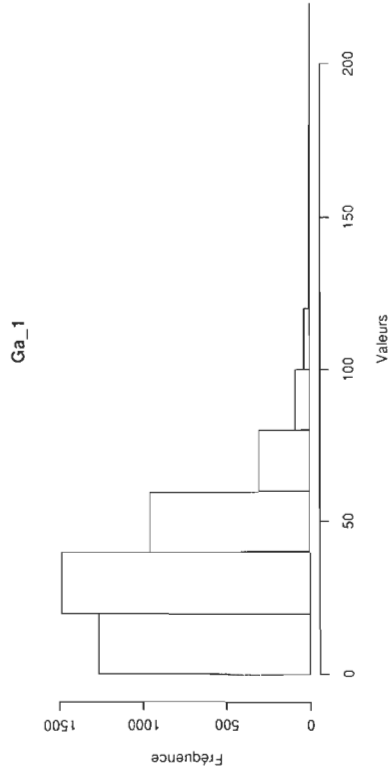
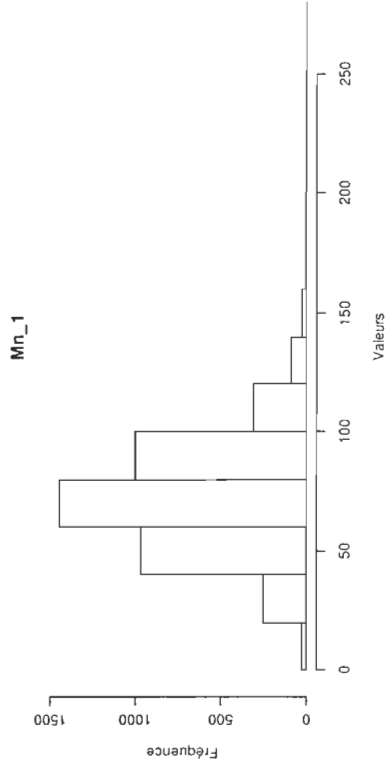
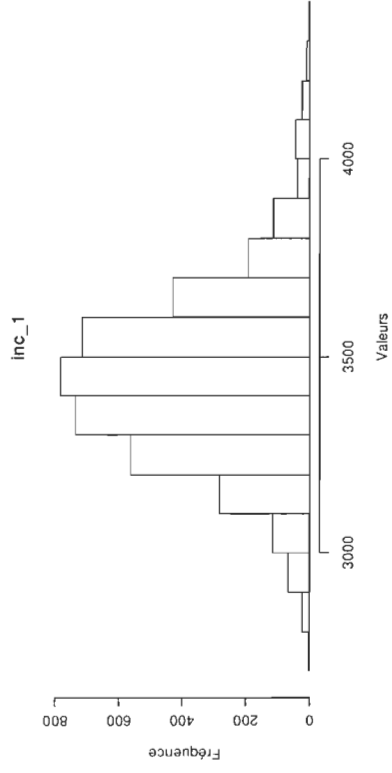
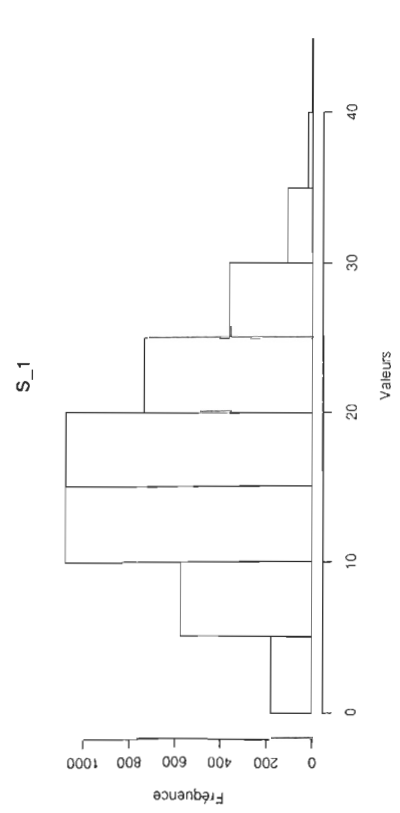
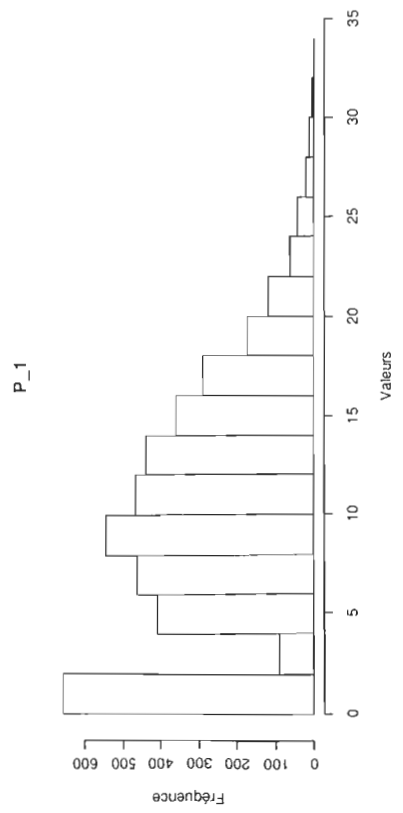
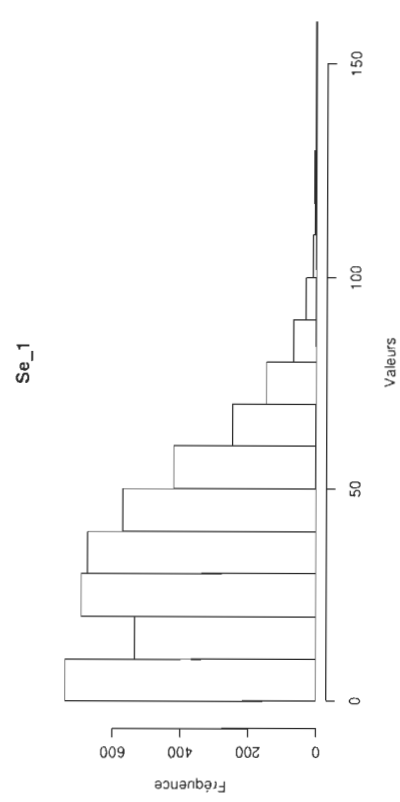
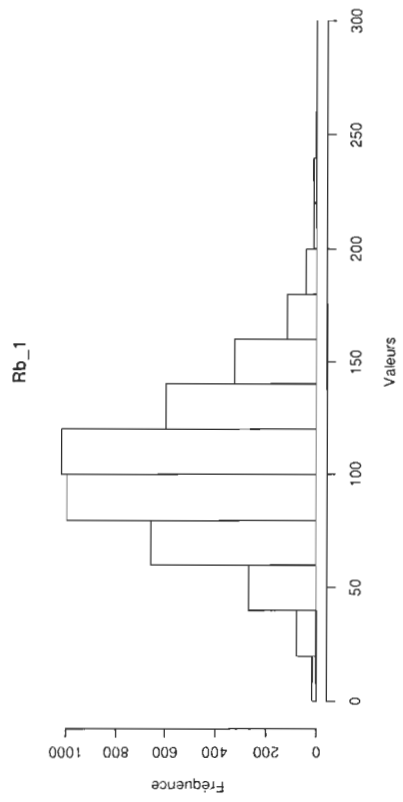
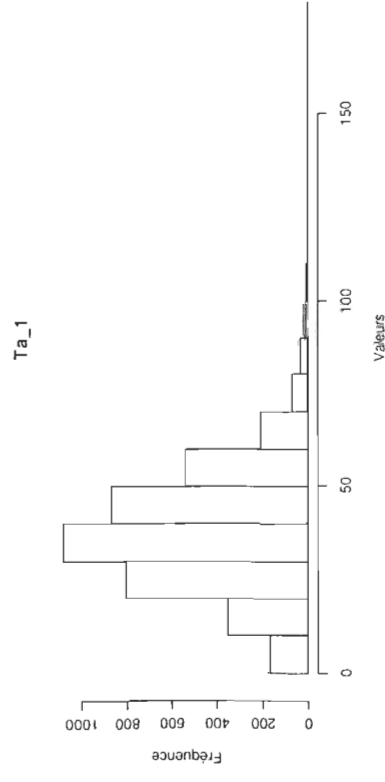
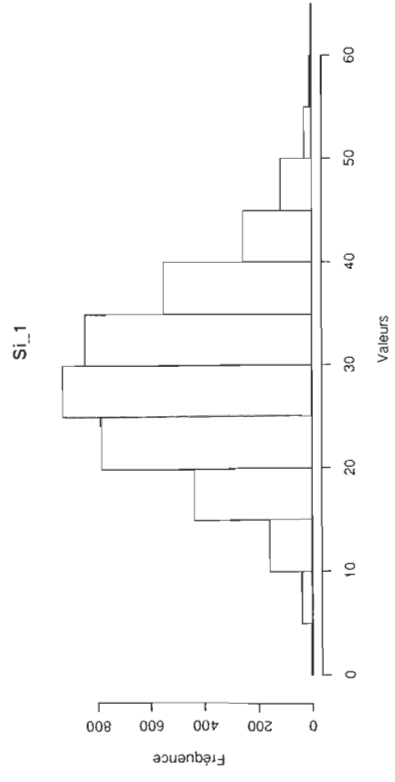
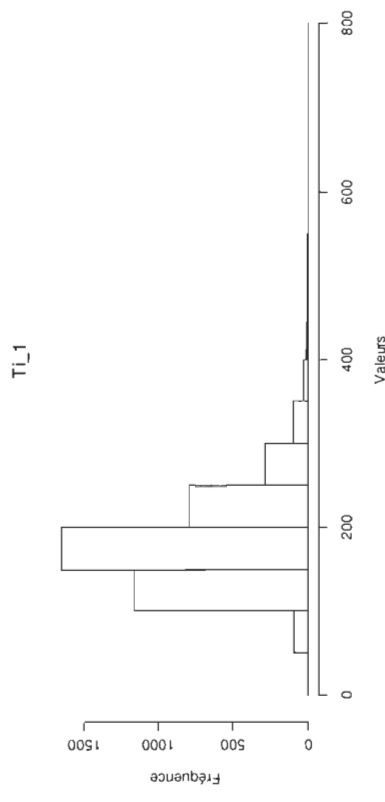
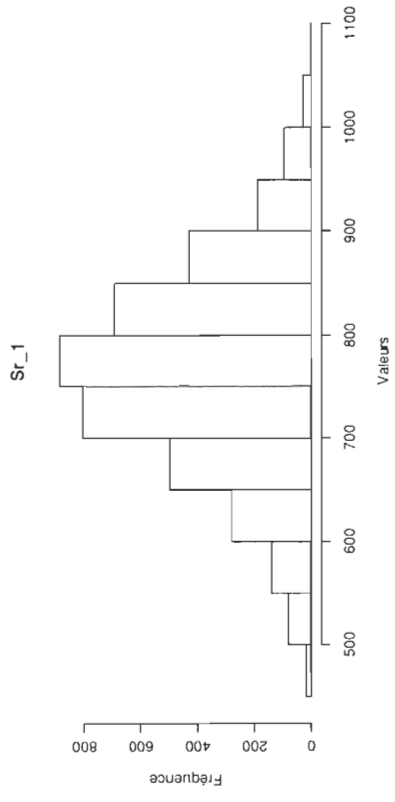


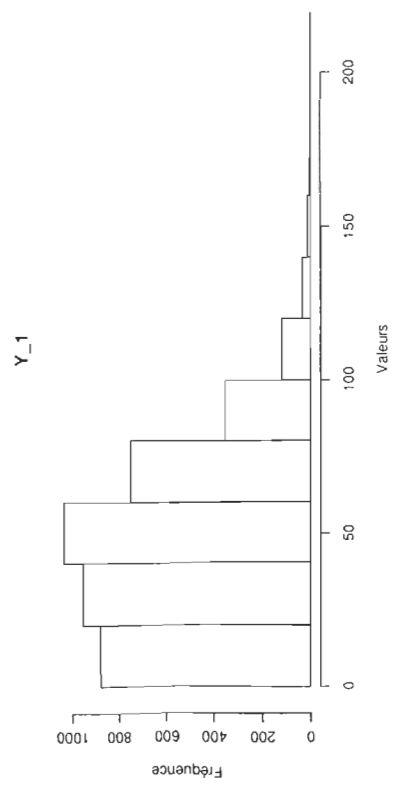
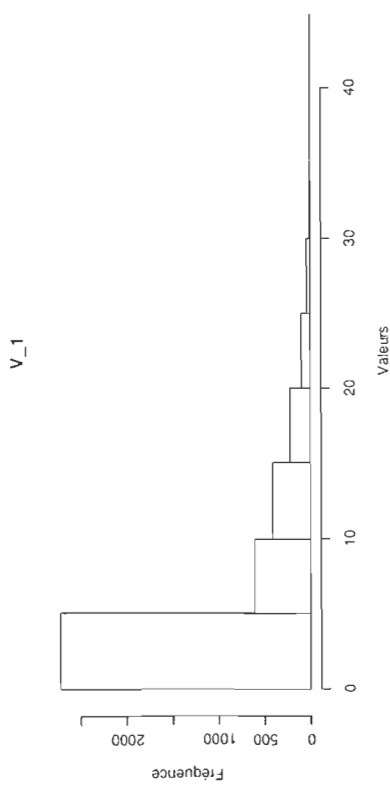
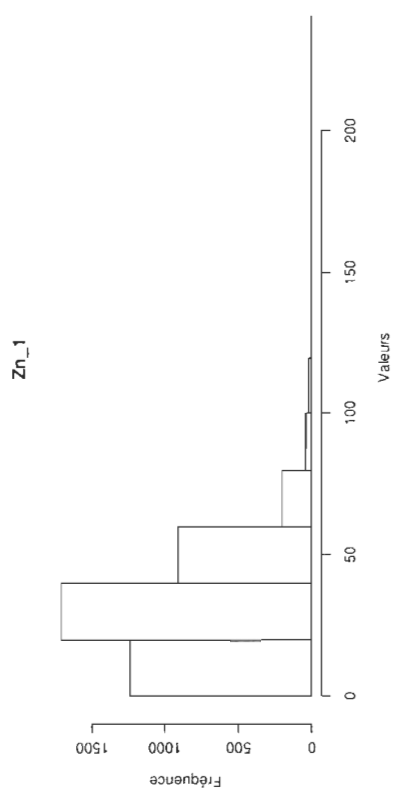
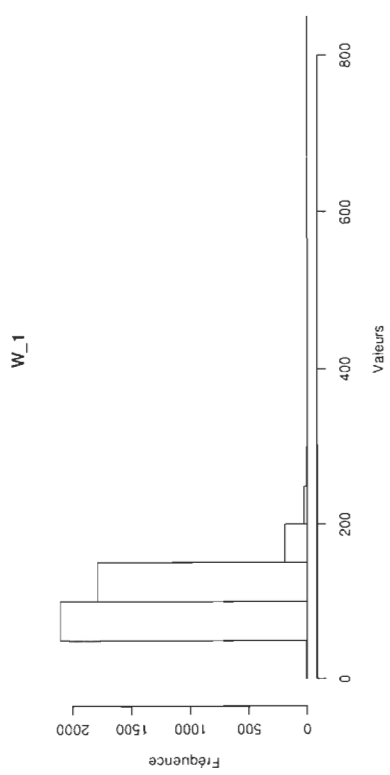
Figure 62BC-8 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 62BC













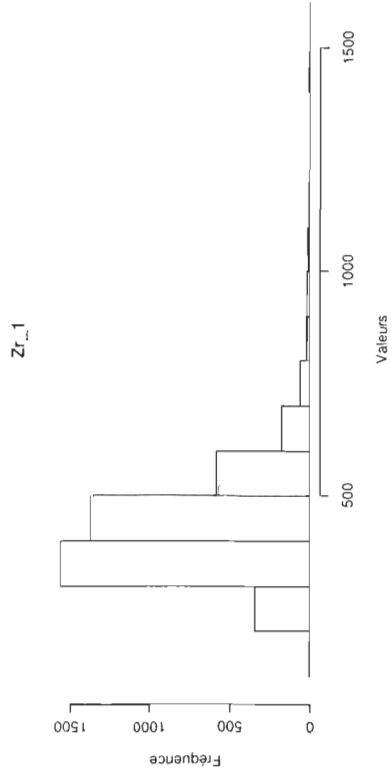


Tableau 62BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 62BC

62BC	Méthode	Indice	valeur P	62BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Al_1	Al_1	Al_1	element	Ga_1	Ga_1	Ga_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.87557174	1.73E-49	W	Shapiro-Wilk normality test	0.92968668	2.15E-40
X-squared	Jarque Bera Test	289.164347	0	X-squared	Jarque Bera Test	3929.34336	0
LM	Jarque Bera Test	289.164	0	LM	Jarque Bera Test	3929.343	0
ALM	Jarque Bera Test	289.441	0	ALM	Jarque Bera Test	3943.35	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	269.551699	0	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1060.35432	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.9271571	0	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	25.8640775	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-6.83605746	8.14E-12	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	19.7839283	0
A	Anderson - Darling Normality Test	180.278866	1.35E-184	A	Anderson - Darling Normality Test	31.0945783	1.84E-69
D	Lilliefors Test	0.24101759	0	D	Lilliefors Test	0.07523197	1.12E-62
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	39089.0391	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2002.13644	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	39089.0391	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2002.13644	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.87572984	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.92947243	0
element	Si_1	Si_1	Si_1	element	As_1	As_1	As_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99658496	4.07E-08	W	Shapiro-Wilk normality test	0.9475077	4.17E-36
X-squared	Jarque Bera Test	24.2477783	5.43E-06	X-squared	Jarque Bera Test	280.048353	0
LM	Jarque Bera Test	24.248	0	LM	Jarque Bera Test	280.048	0
ALM	Jarque Bera Test	24.285	0	ALM	Jarque Bera Test	280.532	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	23.9290985	6.37E-06	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	238.350285	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.89084008	1.00E-06	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.335477	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.09371168	0.92533819	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.78141255	0.07484508
A	Anderson - Darling Normality Test	4.29371964	1.16E-10	A	Anderson - Darling Normality Test	42.9865183	7.84E-92
D	Lilliefors Test	0.04215965	1.14E-18	D	Lilliefors Test	0.09778943	8.62E-108
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3924.52813	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	6193.5221	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3924.52813	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	6193.5221	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99657602	4.95E-08	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.94767502	0
element	P_1	P_1	P_1	element	Se_1	Se_1	Se_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.96633133	4.52E-30	W	Shapiro-Wilk normality test	0.96185753	1.04E-31
X-squared	Jarque Bera Test	44.5391816	2.13E-10	X-squared	Jarque Bera Test	346.375431	0
LM	Jarque Bera Test	44.539	0	LM	Jarque Bera Test	346.375	0
ALM	Jarque Bera Test	44.475	0	ALM	Jarque Bera Test	347.363	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	53.7167042	2.17E-12	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	276.313822	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.84545446	1.26E-06	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.2558142	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-5.49893401	3.82E-08	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.6010571	4.08E-11
A	Anderson - Darling Normality Test	29.8726902	4.94E-67	A	Anderson - Darling Normality Test	21.5282695	8.33E-50
D	Lilliefors Test	0.09942539	1.54E-111	D	Lilliefors Test	0.07379401	3.24E-60
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	11145.1338	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2841.44675	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	11145.1338	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2841.44675	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.96659235	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.96190299	0

62BC	Méthode	Indice	valeur P
element	S 1	S 1	S 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99321709	4.22E-13
X-squared	Jarque Bera Test	12.3961013	0.00203339
LM	Jarque Bera Test	12.396	0.002
ALM	Jarque Bera Test	12.425	0.002
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	12.3653787	0.00206487
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	3.5009854	0.00046354
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.32936283	0.74188146
A	Anderson - Darling Normality Test	6.73797621	1.66E-16
D	Lilliefors Test	0.04594949	2.24E-22
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	5427.69742	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	5427.69742	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99337855	1.47E-12
element	Cl 1	Cl 1	Cl 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99555126	7.07E-10
X-squared	Jarque Bera Test	55.2836366	9.89E-13
LM	Jarque Bera Test	55.284	0
ALM	Jarque Bera Test	55.496	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	52.6685629	3.66E-12
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.72769333	1.72E-11
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.72152629	0.00649812
A	Anderson - Darling Normality Test	3.45092976	1.26E-08
D	Lilliefors Test	0.03055692	1.82E-09
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1669.27385	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1669.27385	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99550515	9.27E-10
element	Ar 1	Ar 1	Ar 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99679708	1.01E-07
X-squared	Jarque Bera Test	5.57918059	0.06144638
LM	Jarque Bera Test	5.579	0.061
ALM	Jarque Bera Test	5.658	0.061
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.4556991	0.06535969
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.66260484	0.09639156
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.64056217	0.10088833
A	Anderson - Darling Normality Test	3.61755335	4.97E-09
D	Lilliefors Test	0.03506499	1.18E-12
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4871.15938	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4871.15938	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99685918	1.59E-07

62BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Br 1	Br 1	Br 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.95613466	1.35E-33
X-squared	Jarque Bera Test	256.928229	0
LM	Jarque Bera Test	256.928	0
ALM	Jarque Bera Test	257.405	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	221.450853	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.7082169	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.26256657	0.02366242
A	Anderson - Darling Normality Test	31.7528993	9.27E-71
D	Lilliefors Test	0.08664132	5.78E-84
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4072.87877	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4072.87877	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.95625461	0
element	Rb 1	Rb 1	Rb 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98785345	2.09E-18
X-squared	Jarque Bera Test	356.331054	0
LM	Jarque Bera Test	356.331	0
ALM	Jarque Bera Test	357.887	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	222.565614	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	11.2571376	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.78991657	0
A	Anderson - Darling Normality Test	6.72519032	1.78E-16
D	Lilliefors Test	0.03718214	2.53E-14
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	320.94639	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	320.94639	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98764683	0
element	Sr 1	Sr 1	Sr 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99793932	2.60E-05
X-squared	Jarque Bera Test	5.22051968	0.07351544
LM	Jarque Bera Test	5.221	0.074
ALM	Jarque Bera Test	5.26	0.074
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.2800983	0.07135776
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-2.14722019	0.03177576
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.81825654	0.41321072
A	Anderson - Darling Normality Test	2.22620642	1.21E-05
D	Lilliefors Test	0.02342762	2.04E-05
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	113.201401	2.95E-06
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	113.201401	6.49E-06
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99808955	5.49E-05

62BC	Méthode	Indice	valeur P
element	K 1	K 1	K 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9842477	4.32E-21
X-squared	Jarque Bera Test	1009.68743	0
LM	Jarque Bera Test	1009.687	0
ALM	Jarque Bera Test	1014.123	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	361.485211	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	11.9505137	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.7875094	0
A	Anderson - Darling Normality Test	5.68934431	5.19E-14
D	Lilliefors Test	0.03172309	3.04E-10
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	364.410287	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	364.410287	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9836867	0
element	Ca 1	Ca 1	Ca 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9993956	0.19841047
X-squared	Jarque Bera Test	3.66033656	0.16038658
LM	Jarque Bera Test	3.66	0.16
ALM	Jarque Bera Test	3.746	0.16
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	3.42363118	0.18053771
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-0.28773731	0.77354783
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.82779606	0.06758017
A	Anderson - Darling Normality Test	0.51084152	0.19615677
D	Lilliefors Test	0.01367688	0.07318547
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	91.2936489	0.00084652
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	91.2936489	0.00152404
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99940297	0.16975934
element	Ti 1	Ti 1	Ti 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.87688101	2.60E-49
X-squared	Jarque Bera Test	19339.5746	0
LM	Jarque Bera Test	19339.575	0
ALM	Jarque Bera Test	19408.408	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1974.35892	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	35.3965922	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	26.8596385	0
A	Anderson - Darling Normality Test	88.0648192	7.01E-156
D	Lilliefors Test	0.09668806	2.65E-105
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	812.218063	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	812.218063	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.87626911	0

62BC	Methode	Indice	valeur P
element	Y 1	Y 1	Y 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9733919	4.15E-27
X-squared	Jarque Bera Test	204.58904	0
LM	Jarque Bera Test	204.589	0
ALM	Jarque Bera Test	205.113	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	179.744435	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	12.7762061	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.06361824	4.83E-05
A	Anderson - Darling Normality Test	13.3117343	9.61E-32
D	Lilliefors Test	0.05808934	1.40E-36
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1472.80729	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1472.80729	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.97340886	0
element	Zr 1	Zr 1	Zr 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.85632796	6.23E-52
X-squared	Jarque Bera Test	27486.3792	0
LM	Jarque Bera Test	27486.379	0
ALM	Jarque Bera Test	27584.091	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	2226.82914	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	37.7943899	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	28.256207	0
A	Anderson - Darling Normality Test	95.1031893	6.45E-163
D	Lilliefors Test	0.09590135	1.52E-103
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	730.278918	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	730.278918	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.85579698	0
element	Ta 1	Ta 1	Ta 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.97489833	2.12E-26
X-squared	Jarque Bera Test	1491.56823	0
LM	Jarque Bera Test	1491.568	0
ALM	Jarque Bera Test	1497.665	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	507.995921	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.7087533	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	16.1626419	0
A	Anderson - Darling Normality Test	9.24893312	2.08E-22
D	Lilliefors Test	0.0400736	8.95E-17
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	859.768896	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	859.768896	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9745507	0

62BC	Méthode	Indice	valeur P
element	V 1	V 1	V 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.72253153	6.88E-64
X-squared	Jarque Bera Test	2615.75302	0
LM	Jarque Bera Test	2615.753	0
ALM	Jarque Bera Test	2622.659	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1147.62181	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	30.3665579	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.0164568	0
A	Anderson - Darling Normality Test	463.074654	NA
D	Lilliefors Test	0.3447868	0
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	80757.9346	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	80757.9346	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.72252457	0
element	Mn 1	Mn 1	Mn 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9626192	1.93E-31
X-squared	Jarque Bera Test	3015.01564	0
LM	Jarque Bera Test	3015.016	0
ALM	Jarque Bera Test	3026.6	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	790.797355	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	20.6323932	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	19.1076347	0
A	Anderson - Darling Normality Test	14.7763763	4.82E-35
D	Lilliefors Test	0.04392226	2.38E-20
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	441.114465	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	441.114465	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.96216156	0
element	Fe 1	Fe 1	Fe 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99036119	3.50E-16
X-squared	Jarque Bera Test	340.531068	0
LM	Jarque Bera Test	340.531	0
ALM	Jarque Bera Test	342.372	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	150.758391	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.49158733	3.98E-08
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	10.9818422	0
A	Anderson - Darling Normality Test	4.66361995	1.49E-11
D	Lilliefors Test	0.02499464	3.34E-06
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	77.0130403	0.01725914
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	77.0130403	0.02668235
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99010368	6.66E-16

62BC	Méthode	Indice	valeur P
element	W 1	W 1	W 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.73693027	7.13E-63
X-squared	Jarque Bera Test	2172489.67	0
LM	Jarque Bera Test	2172489.67	0
ALM	Jarque Bera Test	2180368.8	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	5144.62064	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	58.884522	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	40.9540439	0
A	Anderson - Darling Normality Test	127.644966	4.85E-185
D	Lilliefors Test	0.11246539	1.02E-143
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1289.25115	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1289.25115	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.73497025	0
element	inc 1	inc 1	inc 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98773544	1.68E-18
X-squared	Jarque Bera Test	246.346867	0
LM	Jarque Bera Test	246.347	0
ALM	Jarque Bera Test	247.498	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	164.848699	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.53475472	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.59867148	0
A	Anderson - Darling Normality Test	9.15477913	3.44E-22
D	Lilliefors Test	0.03345784	1.84E-11
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	148.605409	5.29E-11
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	148.605409	1.51E-10
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9877233	0
element	coh 1	coh 1	coh 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99865347	0.00165892
X-squared	Jarque Bera Test	10.0657566	0.00652002
LM	Jarque Bera Test	10.066	0.007
ALM	Jarque Bera Test	10.09	0.007
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	10.0594923	0.00654047
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-3.15821622	0.00158738
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.29182628	0.77041945
A	Anderson - Darling Normality Test	1.38298389	0.00140517
D	Lilliefors Test	0.01500769	0.03265546
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	91.0231828	0.00090133
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	91.0231828	0.00161831
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99868904	0.00172409

62BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Zn_1	Zn_1	Zn_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.91372371	1.52E-43
X-squared	Jarque Bera Test	15526.6958	0
LM	Jarque Bera Test	15526.696	0
ALM	Jarque Bera Test	15583.668	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1623.73602	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	30.6462369	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	26.1637954	0
A	Anderson - Darling Normality Test	31.5397995	2.44E-70
D	Lilliefors Test	0.06297287	2.71E-43
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1387.80898	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1387.80898	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9132526	0

Tableau 62BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 62BC

Spearman ranked correlation {QRMLib} using R 2.6.2

bc62	Age_y	Si_1	P_1	S_1	Cl_1	Ar_1	K_1	Ca_1	Ti_1	Mn_1	Fe_1	Zn_1	Ga_1	As_1	Se_1	Br_1	Rb_1	Sr_1	Y_1	Zr_1	Ta_1	W_1	inc_1	coh_1
n=4141	1	0.0344	-0.174	-0.112	-0.193	-0.159	0.358	0.3197	0.1605	0.136	-0.063	-0.017	0.0876	-0.031	-0.032	-0.531	0.1873	0.6063	0.0297	0.0586	-0.124	0.0521	-0.509	0.099
Si_1	0.0344	1	0.2673	0.3101	0.1182	0.1735	0.2983	0.3309	0.1826	0.0767	0.2632	0.0311	-0.022	0.0172	0.0143	0.0442	0.0277	0.0393	0.025	0.0748	0.0229	0.0731	0.1153	0.0734
P_1	-0.174	0.2673	1	0.4621	0.3324	0.3931	0.0504	0.0604	0.0067	-0.099	0.1116	-0.013	-0.05	0.0148	0.0133	0.1265	-0.031	-0.136	-0.012	0.0025	0.0308	-0.037	0.1249	-0.045
S_1	-0.112	0.3101	0.4621	1	0.3265	0.4108	0.1049	0.1087	0.0436	-0.075	0.1508	-0.01	-0.055	0.0404	0.0106	0.1255	-0.011	-0.082	-0.014	-0.016	0.0011	-0.03	0.1065	-0.023
Cl_1	-0.193	0.1182	0.3324	0.3265	1	0.2672	-0.031	-0.021	-0.049	-0.091	0.0485	-0.026	-0.012	0.0462	0.0268	0.131	-0.001	-0.008	-0.023	0.0023	0.0967	0.0267	0.225	0.0722
Ar_1	-0.159	0.1735	0.3931	0.4108	0.2672	1	-0.047	-0.016	-0.042	-0.096	0.0151	-0.008	-0.054	0.0011	-0.017	0.0983	-0.066	-0.182	-0.019	-0.067	-0.013	-0.082	0.0459	-0.127
K_1	0.358	0.2983	0.0504	0.1049	-0.031	-0.047	1	0.4025	0.2948	0.235	0.2797	0.065	0.0457	-0.008	0.0212	-0.139	0.1625	0.2499	0.0318	0.1068	-0.035	0.0767	-0.036	0.1706
Ca_1	0.3197	0.3309	0.0604	0.1087	-0.021	-0.016	0.4025	1	0.36	0.3242	0.4108	0.0488	0.0141	0.0127	-4E-04	-0.119	0.0857	0.2715	0.0583	0.1503	-0.018	0.0899	-0.019	0.1584
Ti_1	0.1605	0.1826	0.0067	0.0436	-0.049	-0.042	0.2948	0.36	1	0.3234	0.412	0.0436	-0.002	-0.016	0.0129	-0.041	0.0349	0.0631	0.0479	0.0649	-0.019	0.0329	0.0112	0.0572
Mn_1	0.136	0.0767	-0.099	-0.075	-0.091	-0.096	0.235	0.3242	0.3234	1	0.4219	0.0418	0.0002	0.0162	0.0019	-0.064	0.0189	0.0617	0.0077	0.0589	0.0013	0.0414	-0.024	0.0536
Fe_1	-0.063	0.2632	0.1116	0.1508	0.0485	0.0151	0.2797	0.4108	0.412	0.4219	1	0.1072	-0.033	0.0441	0.0273	0.1221	0.0108	-0.103	0.0468	0.0909	0.0474	0.0676	0.2457	0.1364
Zn_1	-0.017	0.0311	-0.013	-0.01	-0.026	-0.008	0.065	0.0488	0.0436	0.0418	0.1072	1	0.059	0.1074	-0.002	0.047	0.018	-0.024	0.0023	0.015	0.0789	0.0312	0.0465	0.0179
Ga_1	0.0876	-0.022	-0.05	-0.055	-0.012	-0.054	0.0457	0.0141	-0.002	0.0002	-0.033	0.059	1	0.0493	0.0597	-0.002	0.0299	0.0985	0.0192	0.0618	-0.24	0.0921	-0.029	0.0338
As_1	-0.031	0.0172	0.0148	0.0404	0.0462	0.0011	-0.008	0.0127	-0.016	0.0162	0.0441	0.1074	0.0493	1	0.1225	0.0617	0.0363	0.0118	0.0278	0.0359	0.0477	0.0968	0.0476	-0.019
Se_1	-0.032	0.0143	0.0133	0.0106	0.0268	-0.017	0.0212	-4E-04	0.0129	0.0019	0.0273	-0.002	0.0597	0.1225	1	0.1345	0.0798	0.0272	0.0363	0.0552	0.0401	0.0423	0.0281	-7E-04
Br_1	-0.531	0.0442	0.1265	0.1255	0.131	0.0983	-0.139	-0.119	-0.041	-0.064	0.1221	0.047	-0.002	0.0617	0.1345	1	-0.14	-0.334	0.0446	-0.028	0.0962	0.0296	0.378	-0.055
Rb_1	0.1873	0.0277	-0.031	-0.011	-0.001	-0.066	0.1625	0.0857	0.0349	0.0189	0.0108	0.018	0.0299	0.0363	0.0798	-0.14	1	0.1997	-0.058	0.0413	-0.032	0.04	0.0145	0.1598
Sr_1	0.6063	0.0393	-0.136	-0.082	-0.008	-0.182	0.2499	0.2715	0.0631	0.0617	-0.103	-0.024	0.0985	0.0118	0.0272	-0.334	0.1997	1	0.0793	0.106	-0.043	0.0845	-0.204	0.2808
Y_1	0.0297	0.025	-0.012	-0.014	-0.023	-0.019	0.0318	0.0583	0.0479	0.0077	0.0468	0.0023	0.0192	0.0278	0.0363	0.0446	-0.058	0.0793	1	0.0876	-0.005	0.0412	0.1499	0.2267
Zr_1	0.0586	0.0748	0.0025	-0.016	0.0023	-0.067	0.1068	0.1503	0.0649	0.0589	0.0909	0.015	0.0618	0.0359	0.0552	-0.028	0.0413	0.106	0.0876	1	-0.024	0.0579	0.0248	0.1791
Ta_1	-0.124	0.0229	0.0308	0.0011	0.0967	-0.013	-0.035	-0.018	-0.019	0.0013	0.0474	0.0789	-0.24	0.0477	0.0401	0.0962	-0.032	-0.043	-0.005	-0.024	1	0.0363	0.1629	0.0552
W_1	0.0521	0.0731	-0.037	-0.03	0.0267	-0.062	0.0767	0.0899	0.0329	0.0414	0.0676	0.0312	0.0921	0.0968	0.0423	0.0296	0.04	0.0845	0.0412	0.0579	0.0363	1	0.0508	0.0795
inc_1	-0.509	0.1153	0.1249	0.1065	0.225	0.0459	-0.036	-0.019	0.0112	-0.024	0.2457	0.0465	-0.029	0.0476	0.0281	0.378	0.0145	-0.204	0.1499	0.0248	0.1629	0.0508	1	0.4082
coh_1	0.099	0.0734	-0.045	-0.023	0.0722	-0.127	0.1706	0.1584	0.0572	0.0536	0.1364	0.0179	0.0338	-0.019	-7E-04	-0.055	0.1598	0.2808	0.2267	0.1791	0.0552	0.0795	0.4082	1

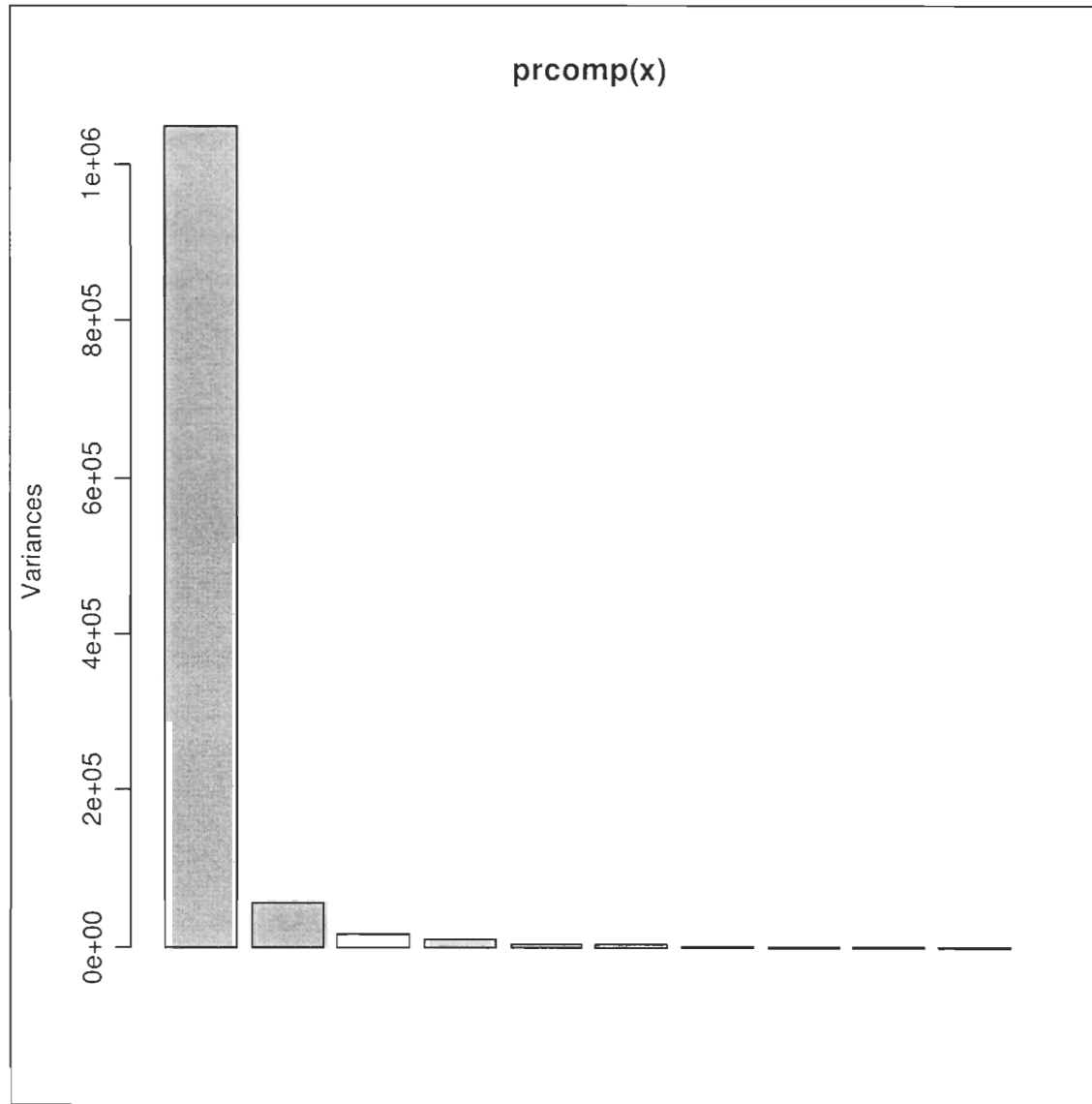


Figure 62BC-9 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 62BC



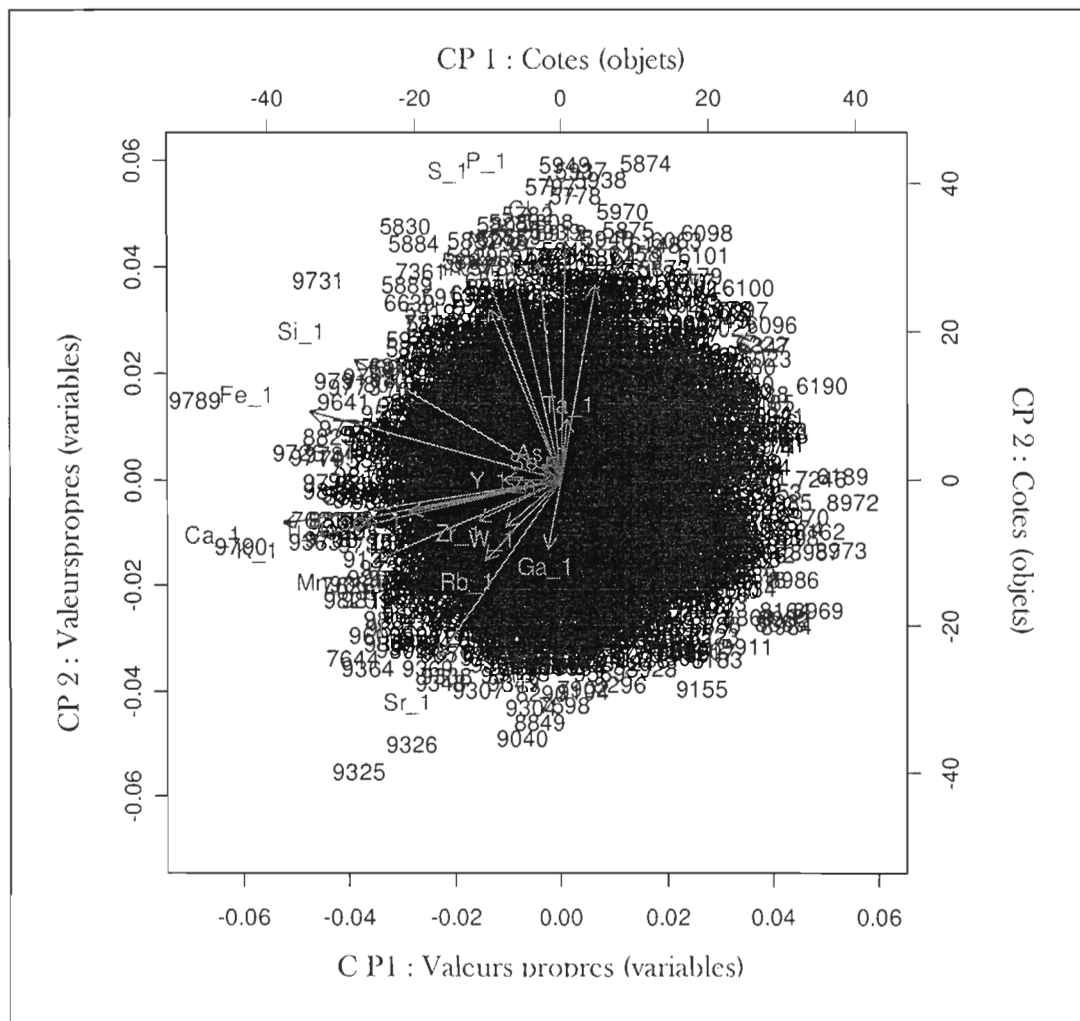


Figure 62BC-10 : Cotes (*scores*) et valeurs propres (*eigenvalues*) des deux premières composantes principales de l'ACP sur les données XRF pour la carotte 62BC

## 1.4 63BC

Voir le fichier [UBV memoire 63BC.pdf](#) contenant les figures 63BC-1 à 63BC-11 et tableaux 63BC-1 à 63BC-3.

### Listes des figures 63BC

Figure 63BC-1 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 63BC .....	CXV
Figure 63BC-2 : Distribution granulométrique de la carotte 63BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm) .....	CXVI
Figure 63BC-3 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 63BC selon la profondeur (cm).....	CXVII
Figure 63BC-4 : Profils de $N_{tot}$ , $C_{tot}$ , $C_{org}/N_{tot}$ , $CaCO_3$ , $C_{org}$ et $\delta^{13}C_{org}$ de la carotte 63BC.....	CXVIII
Figure 63BC-5 : Profils optiques $l^*$ (noir-blanc), $a^*$ (vert-rouge) et $b^*$ (jaune-bleu) pour la carotte 63BC .....	CXIX
Figure 63BC-5 : .....	CXX
Figure 63BC-6 : Unités sédimentologiques de la carotte 63BC.....	CXX
Figure 63BC-7 : Taux de sédimentation pour la carotte 63BC d'après les profils de $^{210}Pb$ corrigé et de $Ln^{210}Pb$ en excès.....	CXXI
Figure 63BC-8 : Figure synthèse de la carotte 63BC selon la profondeur (cm).....	CXXII
Figure 63BC-9 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 63BC. ....	CXXIV
Figure 63BC-10 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 63BC .....	CXXXVII
Figure 63BC-11 : Transformées rapides de Fourier (FFT) pour les données XRF normalisées de la carotte 63BC .....	CXXXVIII

### Liste des tableaux 63BC

Tableau 63BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 63BC ...	CXXIII
Tableau 63BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 63BC.....	CXXXI
Tableau 63BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 63BC .....	CXXXVI

## Analyse sommaire

Voir l'article pour la description en détail de la carotte 63BC. Il est à noter la légère augmentation aussi du % de sable autour de 8 cm. Les forts taux de zéros et l'asymétrie des histogrammes de Al et V dans les données V de XRF appuient leur retrait. Ca et Inc ont une distribution normale et Ar s'en approche. Les corrélations Fe - Ti, Fe - Mn, K - Ca, S - P, et coh - inc sont supérieures à 0,50. Fe, Ca, Ti, Mn et K ont d'ailleurs de fortes valeurs propres (*eigenvalues*) avec la composante principale 1, alors que S, P, coh, inc ont des valeurs propres élevées à la fois dans la CP1 et la CP2.

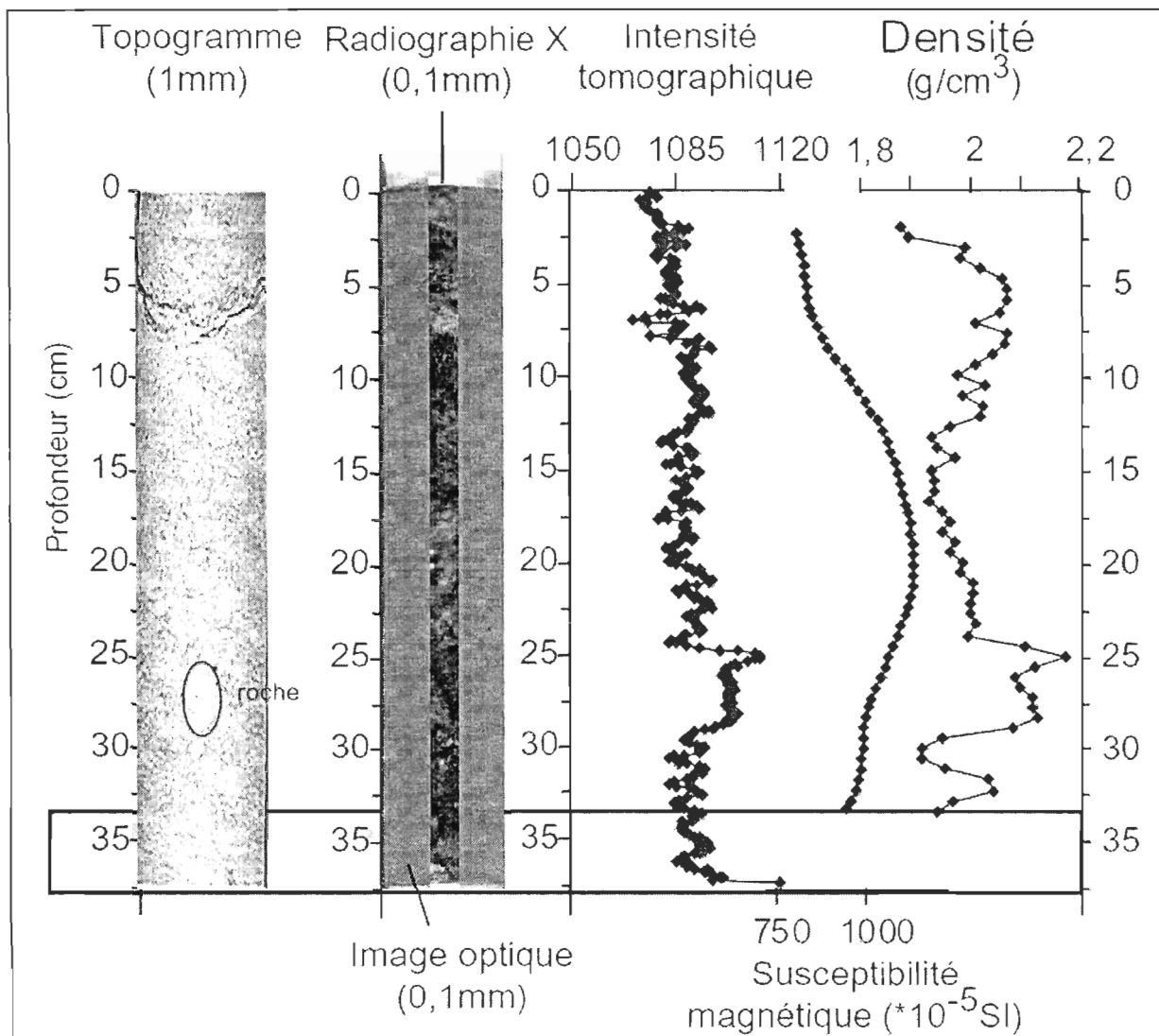


Figure 63BC-1 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 63BC

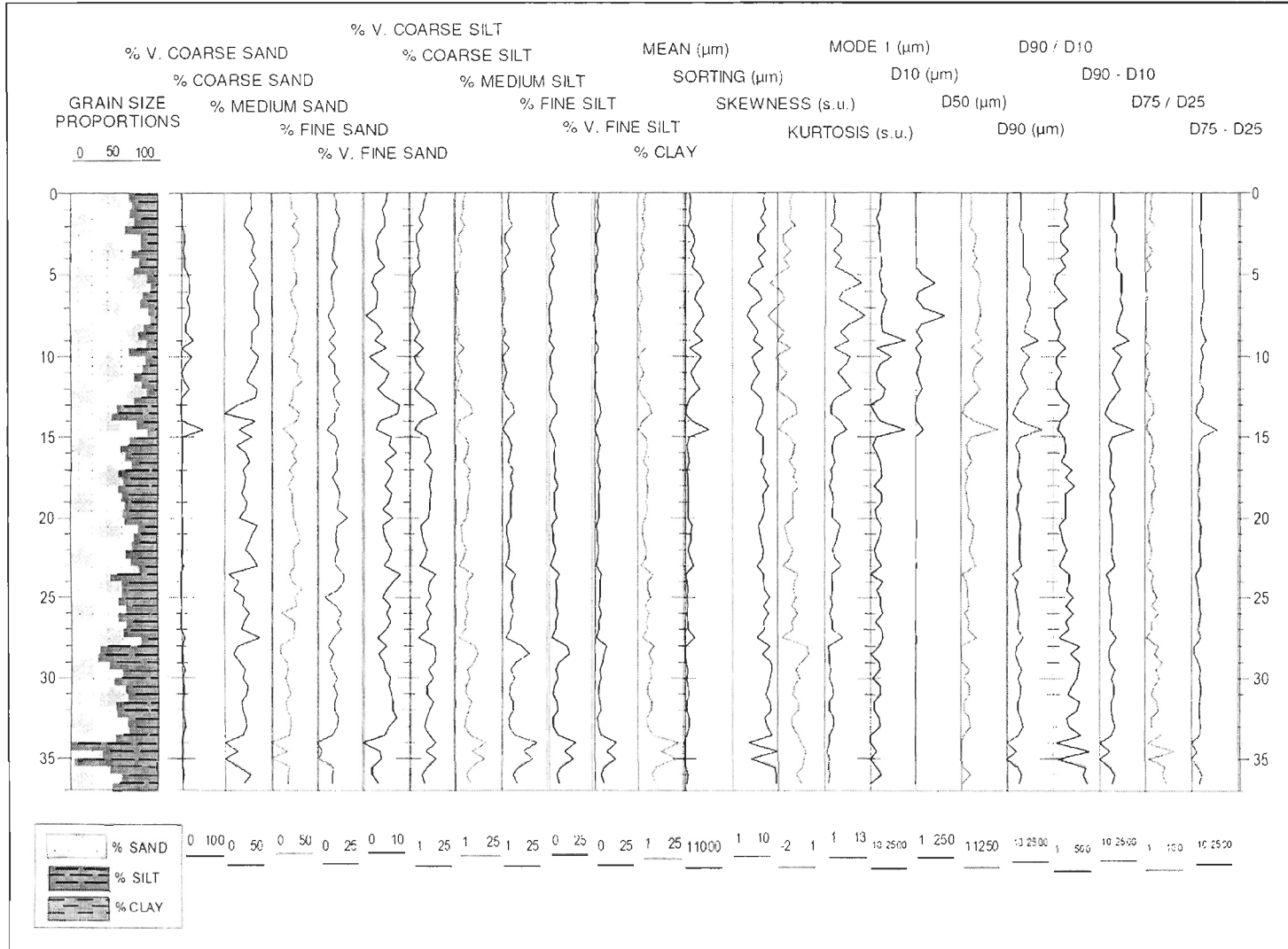


Figure 63BC-2 : Distribution granulométrique de la carotte 63BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm)

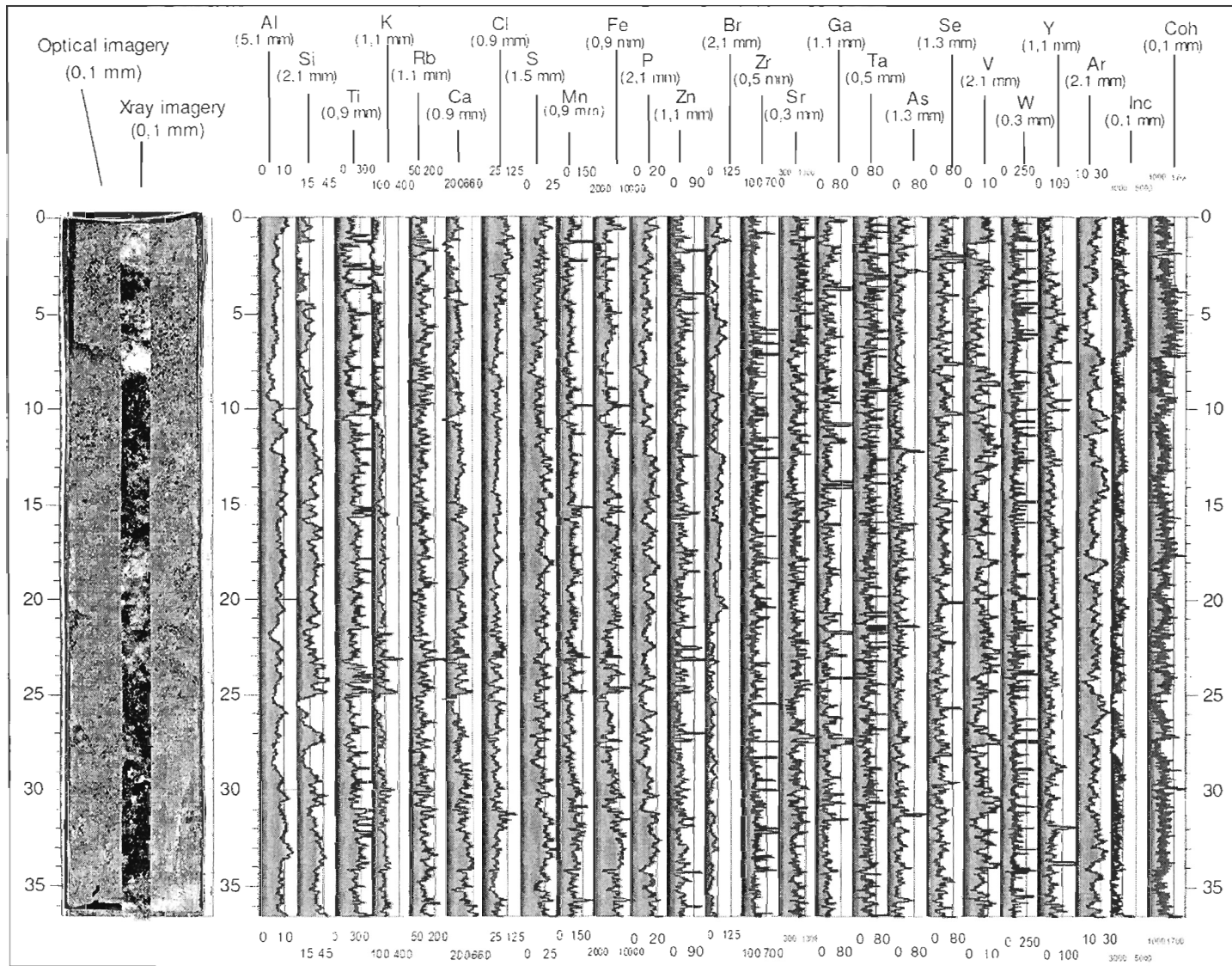


Figure 63BC-3 : Imagery rayon-X, imagery optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 63BC selon la profondeur (cm)

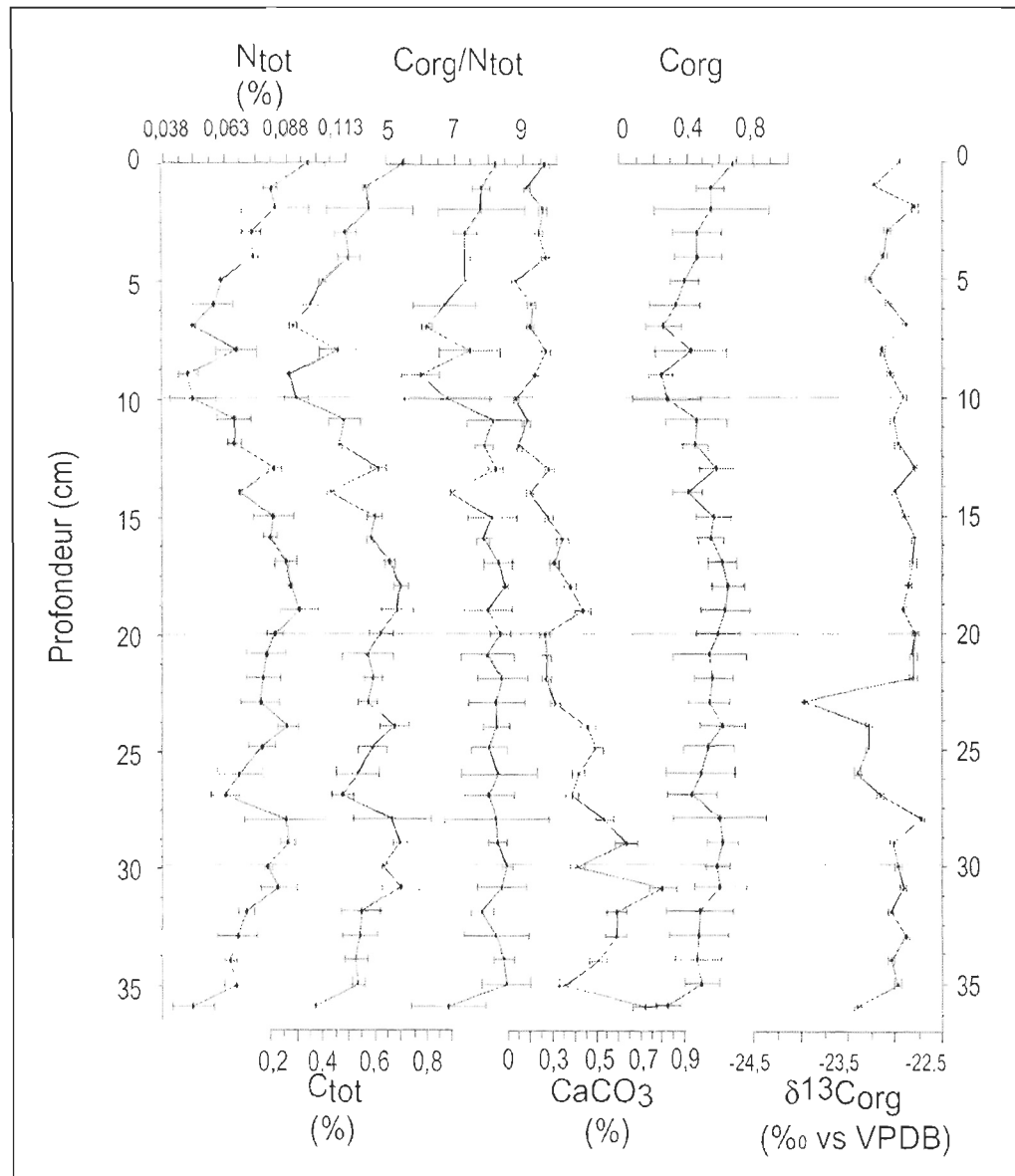


Figure 63BC-4 : Profils de N<sub>tot</sub>, C<sub>tot</sub>, C<sub>org</sub>/N<sub>tot</sub>, CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub> et δ<sup>13</sup>C<sub>org</sub> de la carotte 63BC

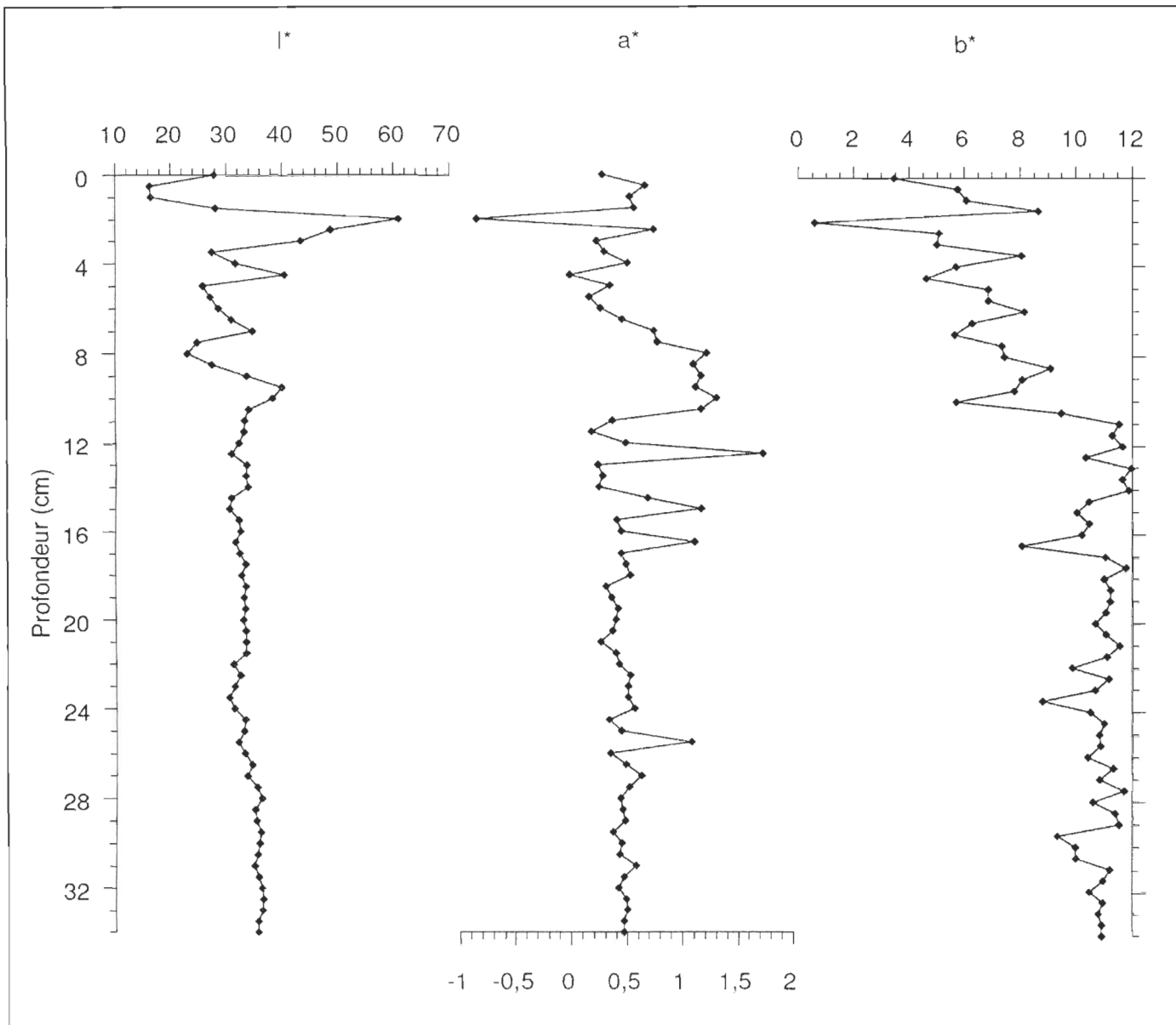


Figure 63BC-5 : Profils optiques  $l^*$  (noir-blanc),  $a^*$  (vert-rouge) et  $b^*$  (jaune-bleu) pour la carotte 63BC



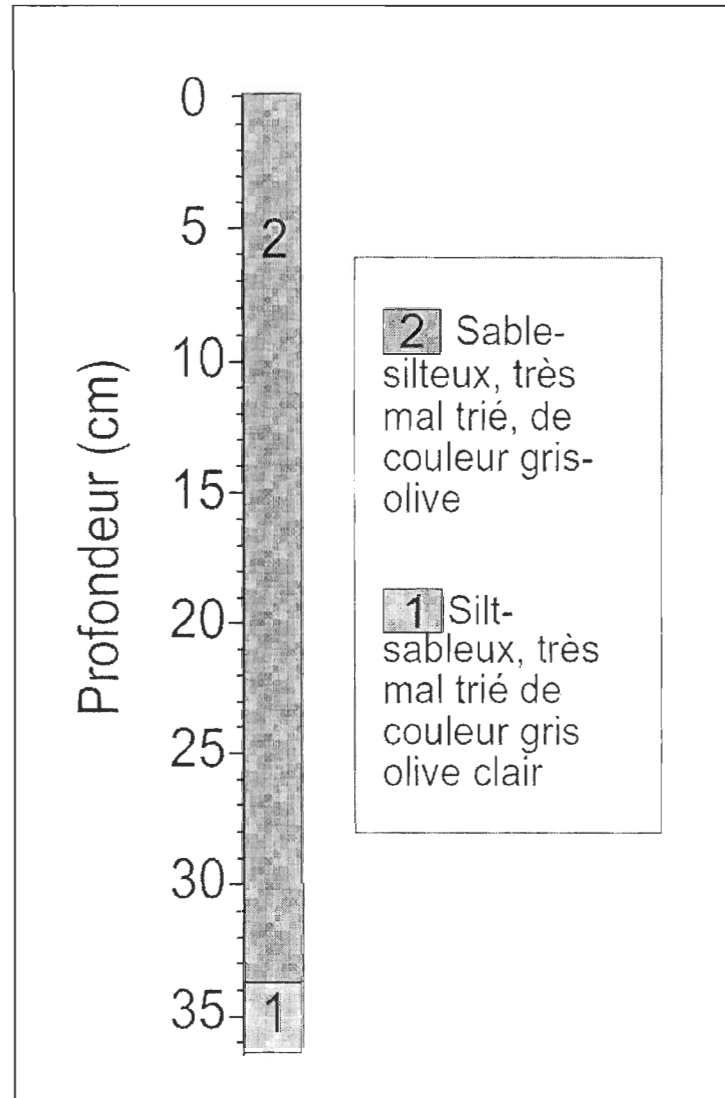


Figure 63BC-6 : Unités sédimentologiques de la carotte 63BC

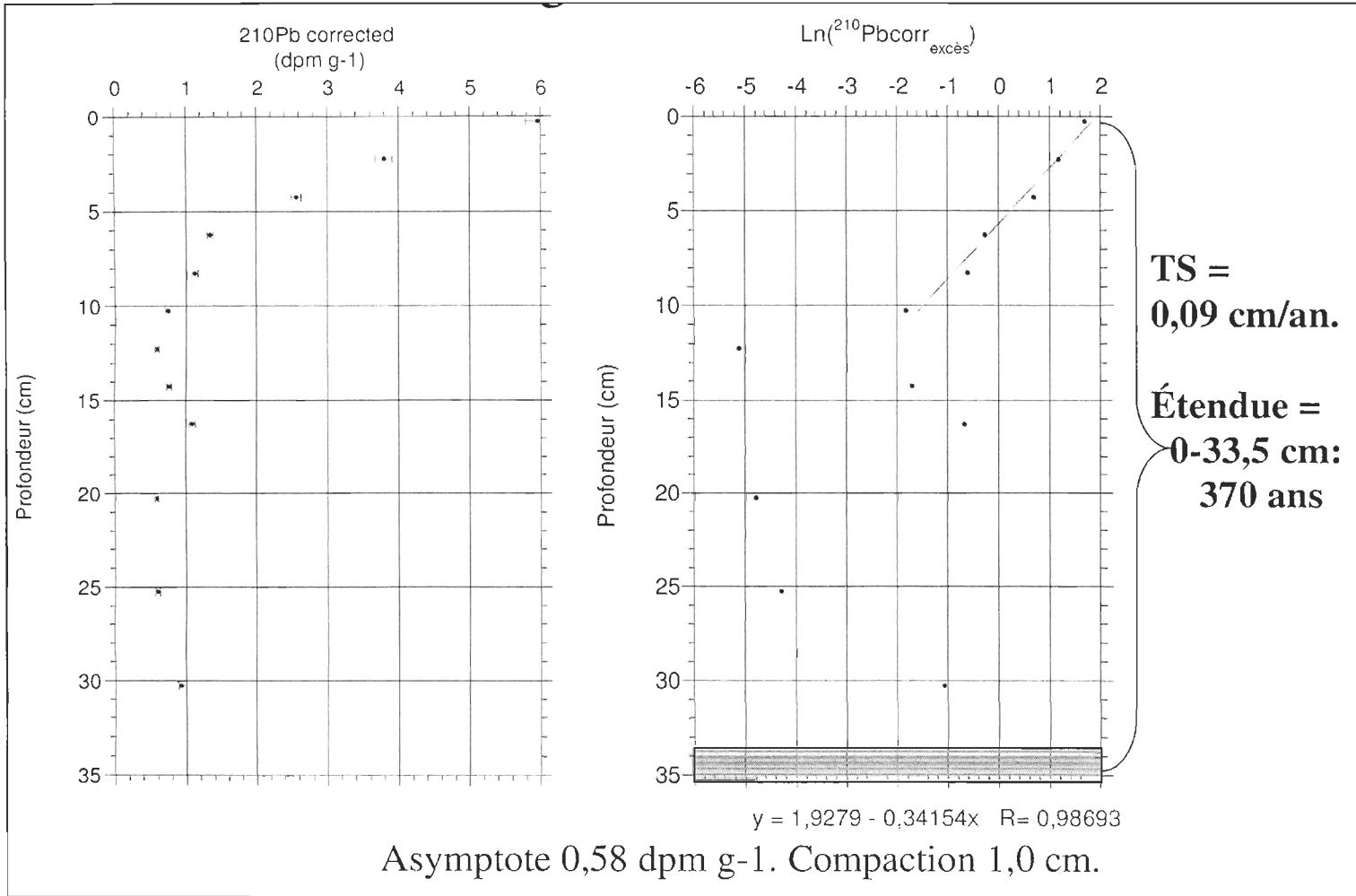


Figure 63BC-7 : Taux de sédimentation pour la carotte 63BC d'après les profils de <sup>210</sup>Pb corrigé et de Ln<sup>210</sup>Pb en excès

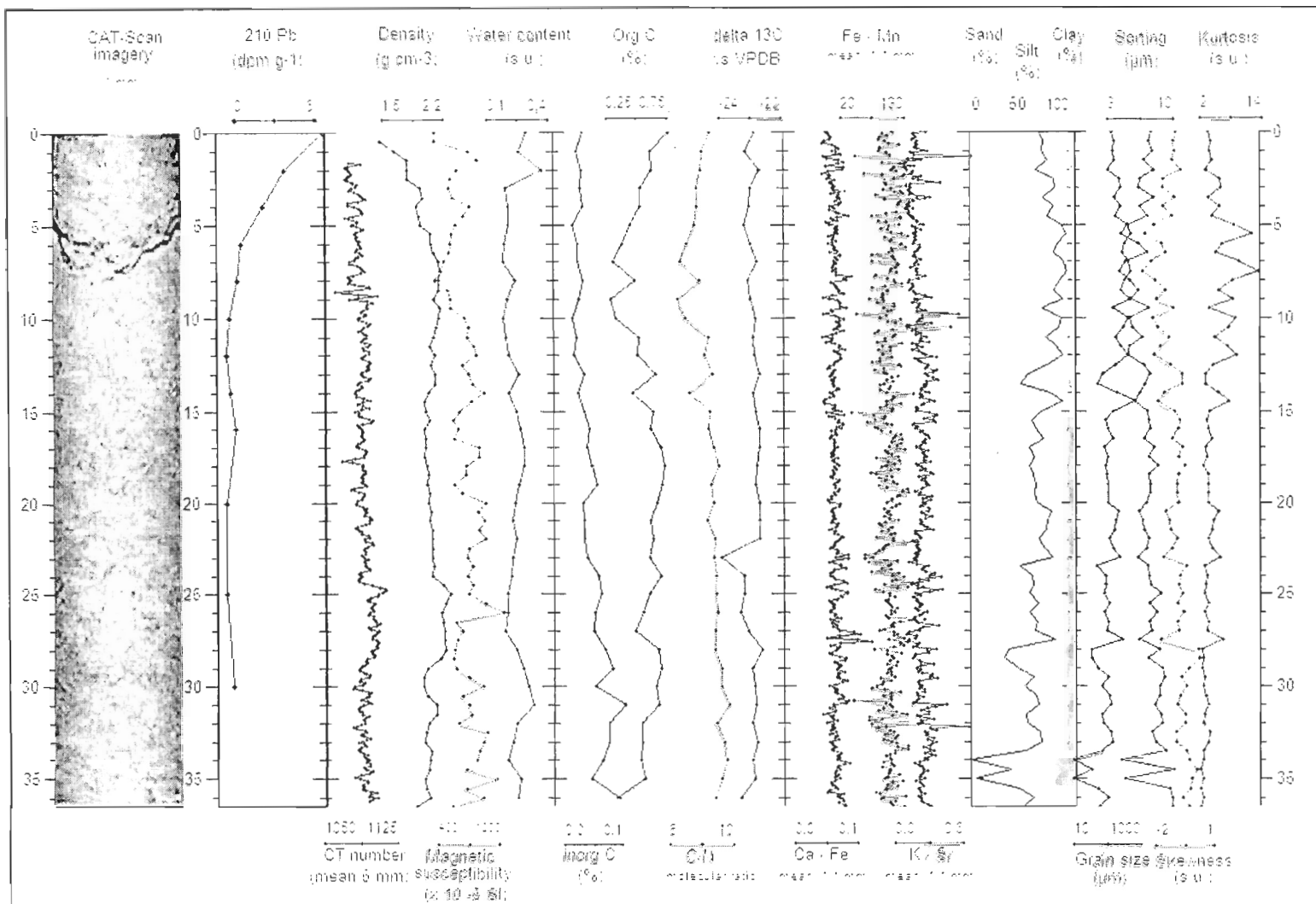


Figure 63BC-8 : Figure synthèse de la carotte 63BC selon la profondeur (cm)

Tableau 63BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 63BC

63BC	Al 1	Si 1	P 1	S 1	Cl 1	Ar 1	K 1	Ca 1	Ti 1	V 1	Mn 1	Fe 1	Zn 1
Moyenne	5.25724	26.2725	9.3954	14.9251	66.5073	20.5595	167.881	360.835	166.93	5.05163	62.4882	5917.14	28.8917
Variance	29.655	85.9147	42.217	54.1547	247.329	58.7409	1792.18	5853.03	7934.43	53.3015	1085.07	2377800	634.652
Écart-type	5.44564	9.26902	6.49746	7.35899	15.7267	7.66426	42.3341	76.5051	89.0754	7.30079	32.9404	1542.01	25.1923
Médiane	5	26	9	15	65	20	167	363	149	0	59	5846	25
Quantile	0	12	0	0	43	8	103	233	75.5	0	22	3438	0
Skewness	0.69601	0.2378	0.24439	0.16269	0.52736	0.11337	0.81025	-0.0366	3.05412	1.68869	3.22862	0.35651	2.80265
Kurtose	-0.3371	0.05672	-0.4248	-0.0201	0.65731	0.12204	3.64097	0.16216	14.5815	3.89986	26.6985	0.45987	20.2088
Max	27	63	32	41	135	50	488	656	963	71	478	12768	336
Min	0	0	0	0	19	0	56	104	27	0	0	1923	0
n	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351
% zéros	0.42793	0.00298	0.19397	0.05401	0.0003	0.01044	0.0003	0.0003	0.0003	0.57416	0.00567	0.0003	0.1313
63BC	Ga 1	As 1	Se 1	Br 1	Rb 1	Sr 1	Y 1	Zr 1	Ta 1	W 1	inc 1	coh 1	
Moyenne	33.7774	24.222	34.0818	35.7637	107.449	792.973	34.2641	328.717	39.3832	103.43	3447.34	1295.25	
Variance	1026.93	498.637	763.663	774.933	1273.6	18899.2	835.119	21193.5	424.141	2439.24	59054.3	10702.4	
Écart-type	32.0458	22.3302	27.6344	27.8376	35.6875	137.474	28.8984	145.58	20.5947	49.3886	243.011	103.453	
Médiane	29	21	31	33	107	779	31	296	38	95	3445	1292	
Quantile	0	0	0	0	50	596	0	197	10	57	3050.5	1134.5	
Skewness	3.54158	1.61682	1.59356	0.67801	0.29938	0.6481	0.84304	4.29035	1.38934	5.12614	0.07531	0.4606	
Kurtose	25.7477	6.98715	7.54854	0.19738	0.38262	0.65819	0.68223	32.2693	5.46663	52.168	-0.0406	1.41266	
Max	456	256	299	150	281	1473	167	2176	185	852	4262	2086	
Min	0	0	0	0	0	417	0	117	0	0	2674	939	
n	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	3351	
% zéros	0.12832	0.22113	0.14324	0.15816	0.0003	0.0003	0.19427	0.0003	0.02566	0.0003	0.0003	0.0003	

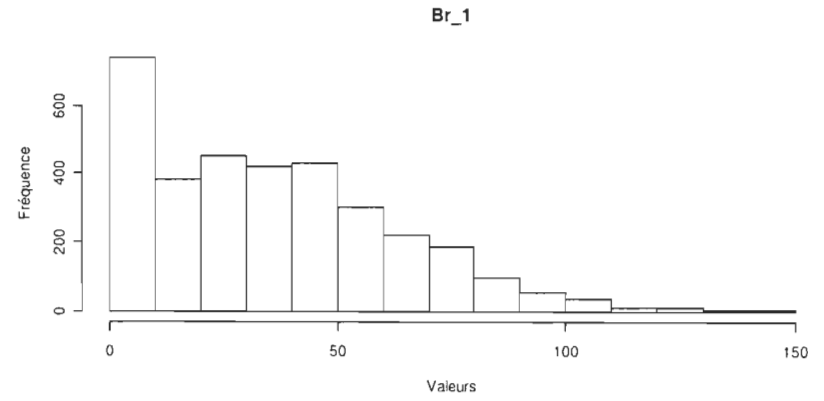
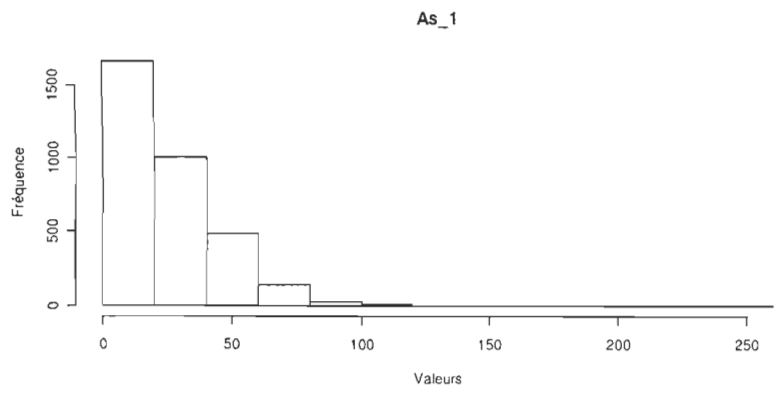
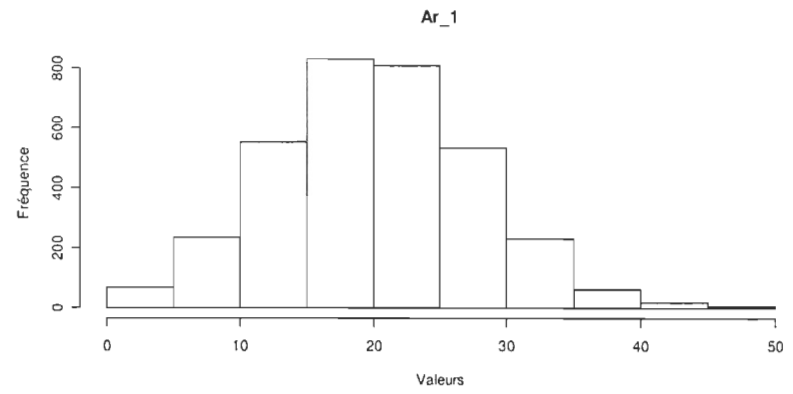
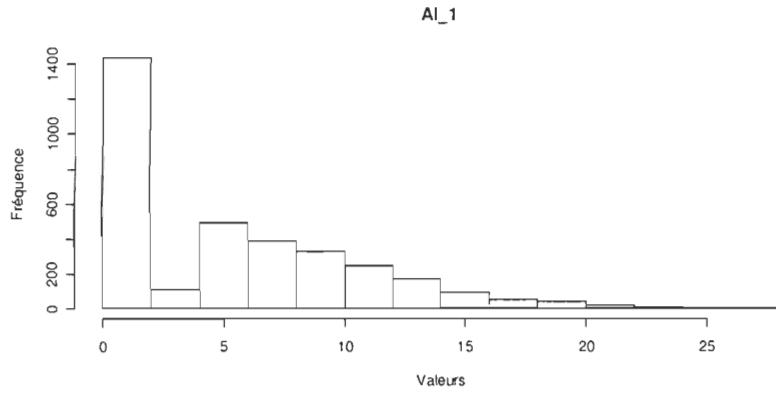
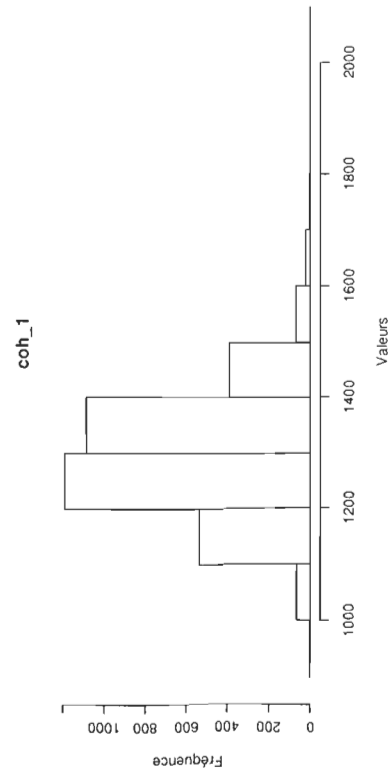
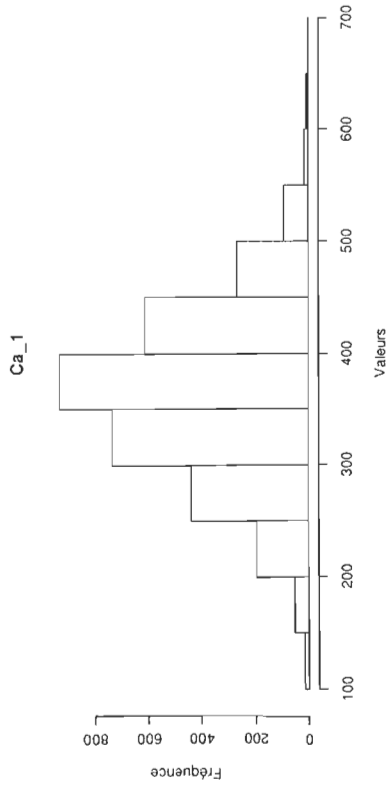
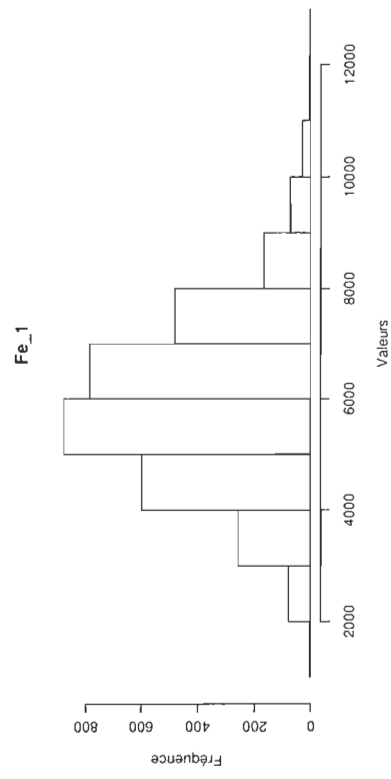
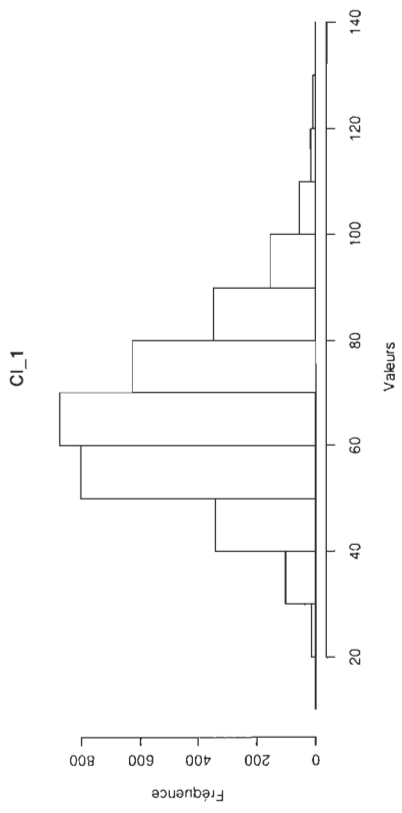
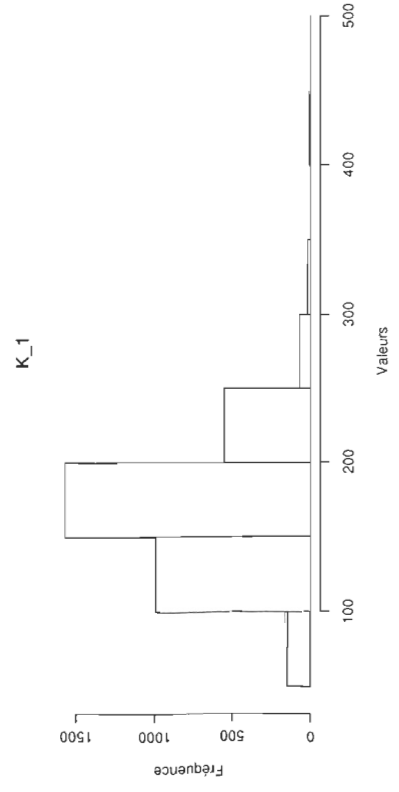
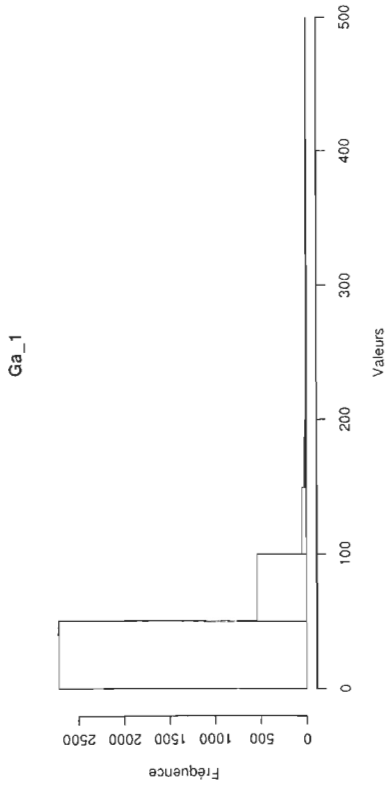
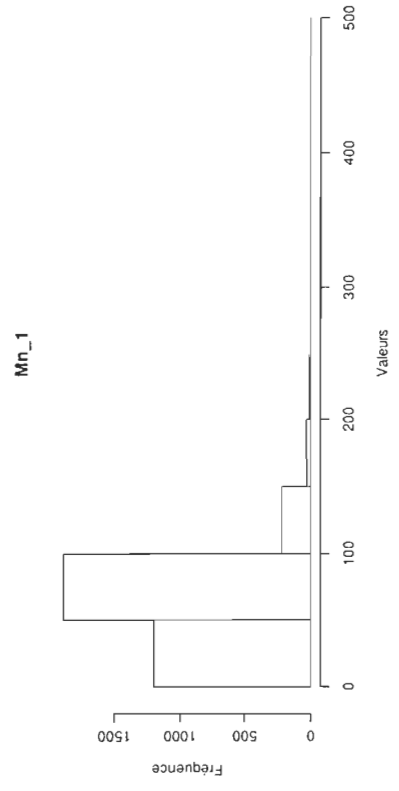
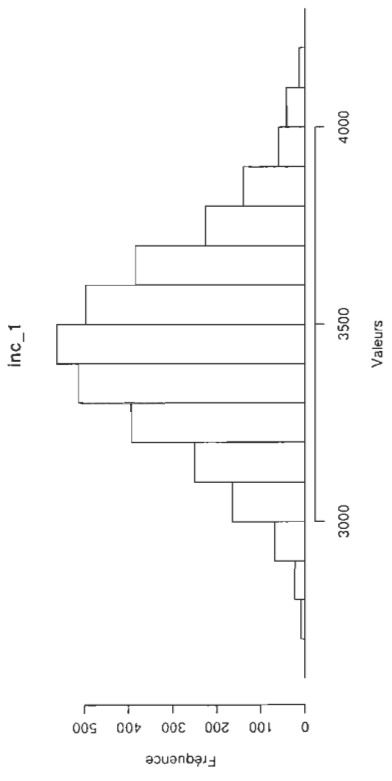
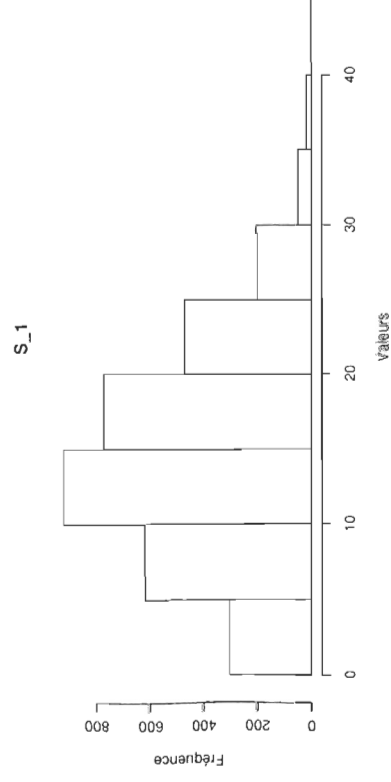
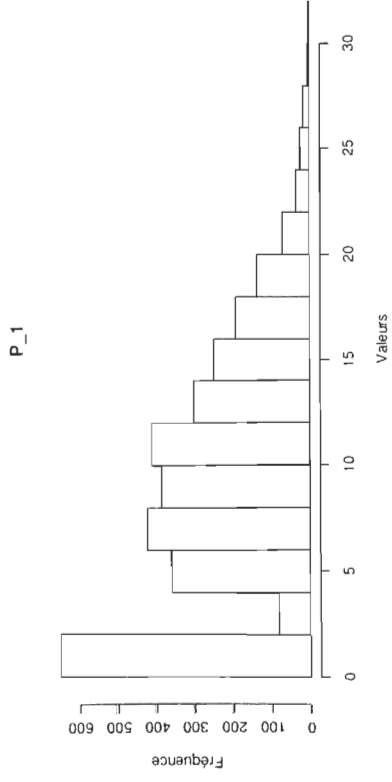
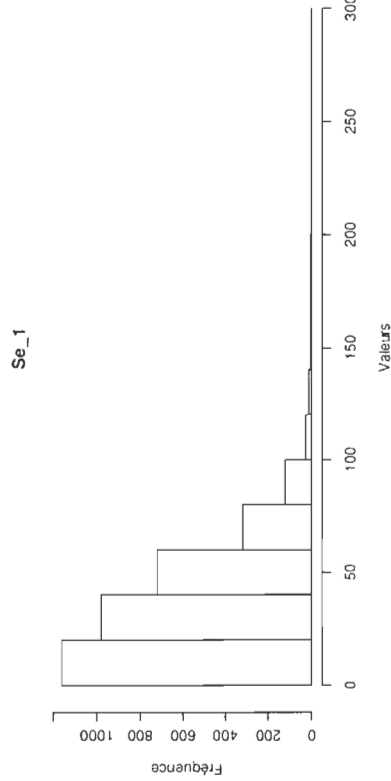
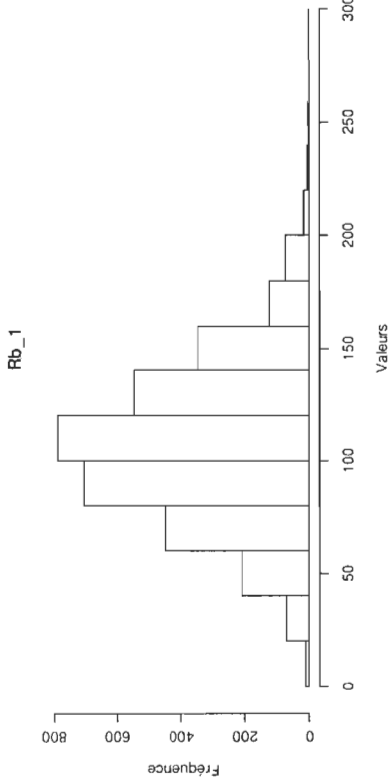


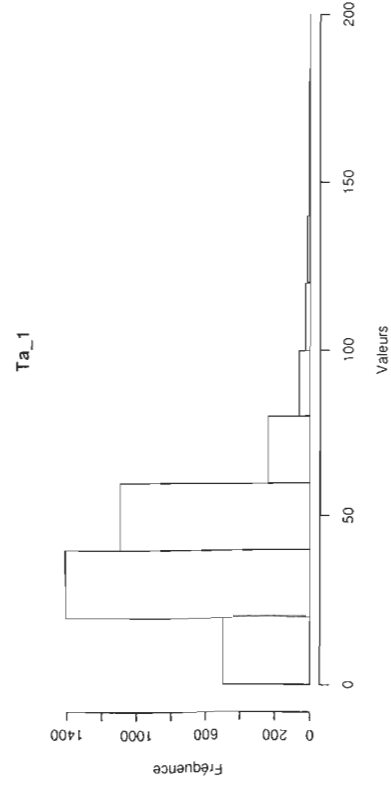
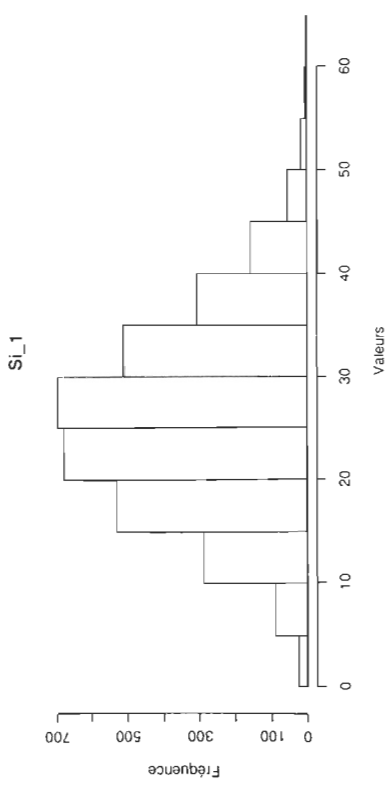
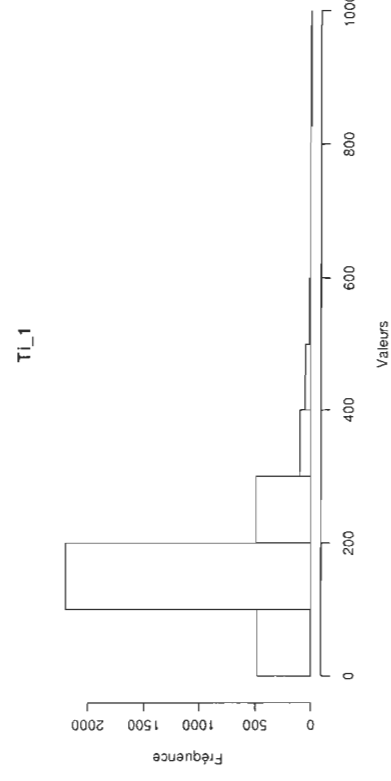
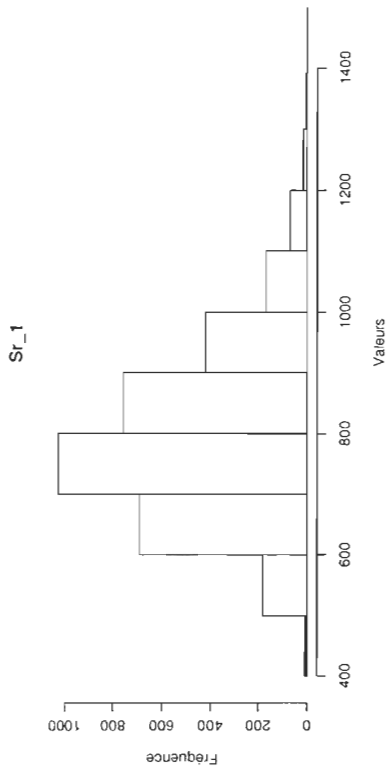
Figure 63BC-9 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 63BC



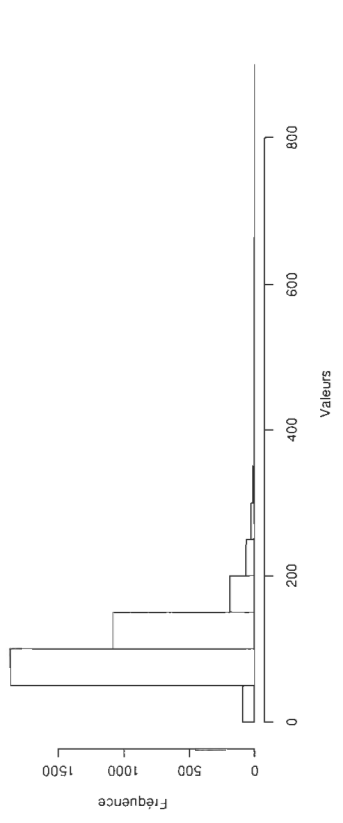




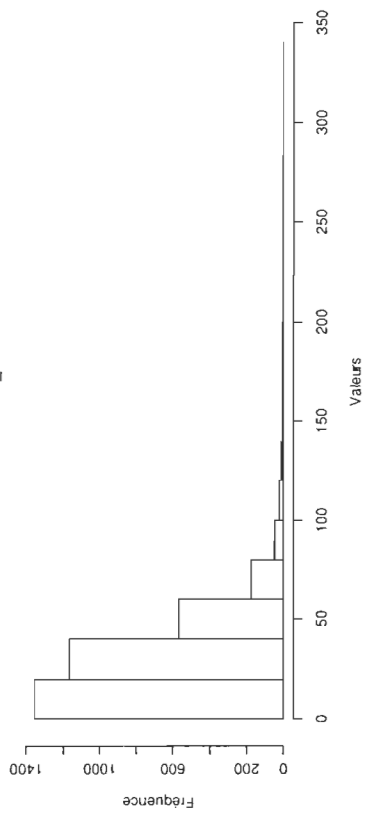




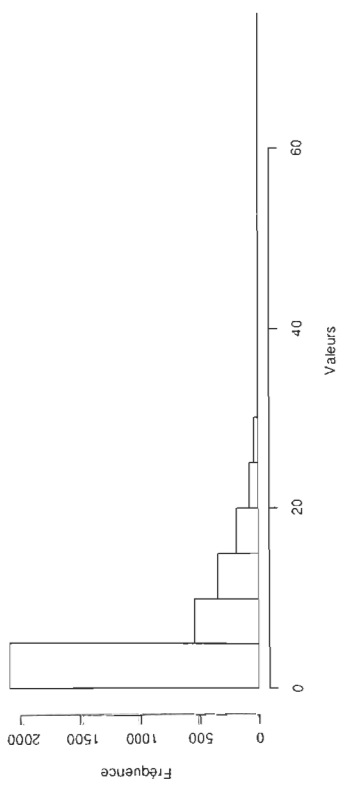
W\_1



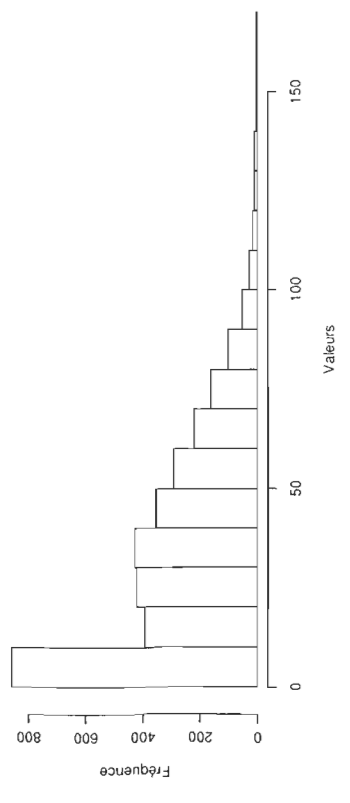
Zn\_1



V\_1



Y\_1



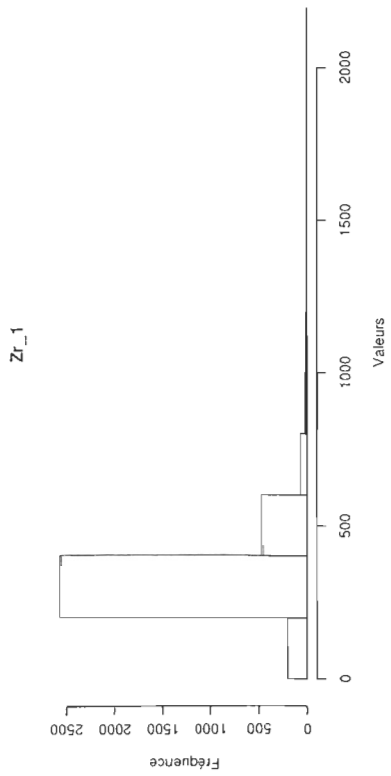


Tableau 63BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 63BC

63BC	Méthode	Indice	valeur P	63BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Al 1	Al 1	Al 1	element	Ga 1	Ga 1	Ga 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.85792351	6.92E-48	W	Shapiro-Wilk normality test	0.75453931	2.83E-57
X-squared	Jarque Bera Test	286.515168	0	X-squared	Jarque Bera Test	99698.6116	0
LM	Jarque Bera Test	286.515	0	LM	Jarque Bera Test	99698.612	0
ALM	Jarque Bera Test	286.903	0	ALM	Jarque Bera Test	100139.84	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	246.393346	0	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	2691.07029	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.9643643	0	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	42.1189105	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-4.73931939	2.14E-06	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	30.2831251	0
A	Anderson - Darling Normality Test	174.206365	6.25E-187	A	Anderson - Darling Normality Test	119.814752	2.77E-181
D	Lilliefors Test	0.2607604	0	D	Lilliefors Test	0.14593325	3.33E-198
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	33555.7323	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3261.37422	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	33555.7323	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3261.37422	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.85818078	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.753517	0
element	Si 1	Si 1	Si 1	element	As 1	As 1	As 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99532065	8.02E-09	W	Shapiro-Wilk normality test	0.87906609	2.76E-45
X-squared	Jarque Bera Test	32.0887546	1.08E-07	X-squared	Jarque Bera Test	8289.44843	0
LM	Jarque Bera Test	32.089	0	LM	Jarque Bera Test	8289.448	0
ALM	Jarque Bera Test	32.177	0	ALM	Jarque Bera Test	8326.205	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	31.440612	1.49E-07	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1249.03214	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.55847293	2.72E-08	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	27.7891308	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.7375572	0.46078357	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	21.8356668	0
A	Anderson - Darling Normality Test	4.03452396	4.88E-10	A	Anderson - Darling Normality Test	68.2688047	8.39E-132
D	Lilliefors Test	0.04439694	9.92E-17	D	Lilliefors Test	0.13902262	1.85E-179
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2385.12295	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	7977.31692	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2385.12295	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	7977.31692	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99538287	1.74E-08	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.87844885	0
element	P 1	P 1	P 1	element	Se 1	Se 1	Se 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.95613607	1.22E-30	W	Shapiro-Wilk normality test	0.89872482	1.65E-42
X-squared	Jarque Bera Test	58.4039481	2.08E-13	X-squared	Jarque Bera Test	9388.70724	0
LM	Jarque Bera Test	58.404	0	LM	Jarque Bera Test	9388.707	0
ALM	Jarque Bera Test	58.364	0	ALM	Jarque Bera Test	9430.788	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	73.0343381	1.11E-16	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1259.89191	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.70842278	1.14E-08	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	27.5386553	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-6.35989367	2.02E-10	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	22.3945167	0
A	Anderson - Darling Normality Test	34.4680827	4.83E-76	A	Anderson - Darling Normality Test	42.2528799	1.60E-90
D	Lilliefors Test	0.11988488	2.02E-132	D	Lilliefors Test	0.10873054	2.61E-108
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	10026.4384	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3411.24649	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	10026.4384	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3411.24649	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.95645554	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.89814933	0

63BC	Méthode	Indice	valeur P
element	S 1	S 1	S 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98942717	4.20E-15
X-squared	Jarque Bera Test	14.8414226	0.00059872
LM	Jarque Bera Test	14.841	0.001
ALM	Jarque Bera Test	14.859	0.001
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.6934119	0.00064471
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	3.83004616	0.00012812
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-0.15542939	0.87648281
A	Anderson - Darling Normality Test	5.93388601	1.35E-14
D	Lilliefors Test	0.04562612	1.01E-17
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4029.29126	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	4029.29126	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98967651	3.09E-14
element	Cl 1	Cl 1	Cl 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98464473	1.30E-18
X-squared	Jarque Bera Test	216.190198	0
LM	Jarque Bera Test	216.19	0
ALM	Jarque Bera Test	217.073	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	174.564525	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	11.7624957	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.01732664	1.77E-09
A	Anderson - Darling Normality Test	11.4214727	1.96E-27
D	Lilliefors Test	0.05156778	6.26E-23
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	569.483438	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	569.483438	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98462023	0
element	Ar 1	Ar 1	Ar 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99640248	3.37E-07
X-squared	Jarque Bera Test	9.32783876	0.00942943
LM	Jarque Bera Test	9.328	0.009
ALM	Jarque Bera Test	9.413	0.009
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.26574798	0.00972676
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.67777822	0.00741123
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.44749846	0.14775737
A	Anderson - Darling Normality Test	3.08534032	9.71E-08
D	Lilliefors Test	0.03721667	1.57E-11
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3382.04566	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3382.04566	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99653286	7.64E-07

63BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Br 1	Br 1	Br 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.9457124	1.80E-33
X-squared	Jarque Bera Test	262.518956	0
LM	Jarque Bera Test	262.519	0
ALM	Jarque Bera Test	263.105	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	219.171351	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.6377036	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.21562298	0.02671733
A	Anderson - Darling Normality Test	35.79896	1.38E-78
D	Lilliefors Test	0.09944445	4.30E-90
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3961.01313	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3961.01313	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.94595529	0
element	Rb 1	Rb 1	Rb 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99439941	4.81E-10
X-squared	Jarque Bera Test	70.760806	4.44E-16
LM	Jarque Bera Test	70.761	0
ALM	Jarque Bera Test	71.137	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	63.5091029	1.62E-14
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.94491147	3.79E-12
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	3.90861964	9.28E-05
A	Anderson - Darling Normality Test	2.61541867	1.35E-06
D	Lilliefors Test	0.02919629	6.52E-07
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	160.807819	7.98E-14
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	160.807819	2.66E-13
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9943301	8.55E-10
element	Sr 1	Sr 1	Sr 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.97733446	1.05E-22
X-squared	Jarque Bera Test	295.687332	0
LM	Jarque Bera Test	295.687	0
ALM	Jarque Bera Test	296.713	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	234.719963	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.086795	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.0234683	1.71E-09
A	Anderson - Darling Normality Test	16.2413459	2.61E-38
D	Lilliefors Test	0.05177028	4.05E-23
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	230.854969	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	230.854969	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.97726379	0

63BC	Méthode	Indice	valeur P
element	K_1	K_1	K_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.96511528	9.61E-28
X-squared	Jarque Bera Test	2221.97829	0
LM	Jarque Bera Test	2221.978	0
ALM	Jarque Bera Test	2232.787	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	575.96382	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	16.9571398	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	16.9829099	0
A	Anderson - Darling Normality Test	8.07307457	1.17E-19
D	Lilliefors Test	0.03858605	1.92E-12
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	167.263205	7.88E-15
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	167.263205	2.73E-14
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9646655	0
element	Ca_1	Ca_1	Ca_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99879701	0.01652143
X-squared	Jarque Bera Test	4.50460604	0.10515677
LM	Jarque Bera Test	4.505	0.105
ALM	Jarque Bera Test	4.606	0.105
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.22025597	0.12122245
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-0.86586518	0.3865641
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.86293678	0.06247116
A	Anderson - Darling Normality Test	1.34430749	0.00174842
D	Lilliefors Test	0.02381378	0.00016115
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	84.4914951	0.00122417
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	84.4914951	0.00221291
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99881684	0.01578103
element	Ti_1	Ti_1	Ti_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.74863878	1.06E-57
X-squared	Jarque Bera Test	34944.1057	0
LM	Jarque Bera Test	34944.106	0
ALM	Jarque Bera Test	35094.123	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	2269.68133	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	39.3309769	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	26.884114	0
A	Anderson - Darling Normality Test	178.259487	1.95E-185
D	Lilliefors Test	0.15761063	5.30E-232
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1387.48463	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1387.48463	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.74808575	0

63BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Y_1	Y_1	Y_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.92727289	1.44E-37
X-squared	Jarque Bera Test	462.694999	0
LM	Jarque Bera Test	462.695	0
ALM	Jarque Bera Test	464.044	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	344.697638	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	17.5039489	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.18945954	6.04E-10
A	Anderson - Darling Normality Test	51.19432	6.07E-106
D	Lilliefors Test	0.11787555	6.72E-128
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	6042.59594	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	6042.59594	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.92745367	0
element	Zr_1	Zr_1	Zr_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.68432802	6.93E-62
X-squared	Jarque Bera Test	155872.246	0
LM	Jarque Bera Test	155872.246	0
ALM	Jarque Bera Test	156559.876	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	3086.28899	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	45.7605557	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	31.5001671	0
A	Anderson - Darling Normality Test	208.096575	2.86E-166
D	Lilliefors Test	0.15757421	6.82E-232
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1602.27425	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1602.27425	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.68331797	0
element	Ta_1	Ta_1	Ta_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.92247774	1.70E-38
X-squared	Jarque Bera Test	5259.3016	0
LM	Jarque Bera Test	5259.302	0
ALM	Jarque Bera Test	5282.733	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1036.63442	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	25.2078882	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	20.0298975	0
A	Anderson - Darling Normality Test	34.4425139	5.41E-76
D	Lilliefors Test	0.07626689	5.56E-52
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	480.47359	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	480.47359	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.92218458	0

63BC	Méthode	Indice	valeur P
element	V 1	V 1	V 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.73335479	9.01E-59
X-squared	Jarque Bera Test	3722.12715	0
LM	Jarque Bera Test	3722.127	0
ALM	Jarque Bera Test	3736.489	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1121.05323	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	28.5453307	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	17.4990664	0
A	Anderson - Darling Normality Test	341.586571	NA
D	Lilliefors Test	0.32966597	0
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	56295.9155	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	56295.9155	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.73295415	0
element	Mn 1	Mn 1	Mn 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.81722345	4.19E-52
X-squared	Jarque Bera Test	105485.359	0
LM	Jarque Bera Test	105485.359	0
ALM	Jarque Bera Test	105956.211	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	2559.32949	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	40.3741877	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	30.4836752	0
A	Anderson - Darling Normality Test	79.4364817	3.63E-146
D	Lilliefors Test	0.0973028	3.94E-86
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	715.370636	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	715.370636	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.81612742	0
element	Fe 1	Fe 1	Fe 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99188225	7.37E-13
X-squared	Jarque Bera Test	100.843224	0
LM	Jarque Bera Test	100.843	0
ALM	Jarque Bera Test	101.337	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	87.9174122	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.20144686	2.22E-16
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.54463218	5.50E-06
A	Anderson - Darling Normality Test	3.23127438	4.29E-08
D	Lilliefors Test	0.02313832	0.00029345
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	92.188302	0.00018605
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	92.188302	0.00036444
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99191187	2.58E-12

63BC	Méthode	Indice	valeur P
element	W 1	W 1	W 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.67423165	1.78E-62
X-squared	Jarque Bera Test	395158.095	0
LM	Jarque Bera Test	395158.095	0
ALM	Jarque Bera Test	396917.137	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	3562.37631	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	49.1623999	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	33.8442719	0
A	Anderson - Darling Normality Test	204.634684	3.13E-169
D	Lilliefors Test	0.16823783	4.45E-265
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1697.02387	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1697.02387	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.67281388	0
element	inc 1	inc 1	inc 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99907833	0.07470709
X-squared	Jarque Bera Test	3.38055008	0.18446878
LM	Jarque Bera Test	3.381	0.184
ALM	Jarque Bera Test	3.368	0.184
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	3.340234	0.18822504
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.78194997	0.07475739
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-0.40606443	0.68469526
A	Anderson - Darling Normality Test	0.42610741	0.31452317
D	Lilliefors Test	0.01021124	0.54137091
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	46.2557446	0.58505237
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	46.2557446	0.66223375
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99919757	0.11699615
element	coh 1	coh 1	coh 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98766128	1.66E-16
X-squared	Jarque Bera Test	398.271977	0
LM	Jarque Bera Test	398.272	0
ALM	Jarque Bera Test	400.45	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	213.383942	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	10.4080131	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	10.2497417	0
A	Anderson - Darling Normality Test	3.44629777	1.29E-08
D	Lilliefors Test	0.0249904	5.40E-05
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	81.636228	0.00236072
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	81.636228	0.00413618
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98715021	4.44E-16

63BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Zn 1	Zn 1	Zn 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.82376423	1.75E-51
X-squared	Jarque Bera Test	61491.136	0
LM	Jarque Bera Test	61491.136	0
ALM	Jarque Bera Test	61765.269	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	2258.03292	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	37.7254512	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	28.893308	0
A	Anderson - Darling Normality Test	74.3898989	6.32E-140
D	Lilliefors Test	0.12572273	5.19E-146
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3176.05759	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	3176.05759	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.8228264	0



Tableau 63BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 63BC

Spearman ranked correlation (QRMLib) using R 2.6.2

bc63	Age	y	Si_1	P_1	S_1	Cl_1	Ar_1	K_1	Ca_1	Ti_1	Mn_1	Fe_1	Zn_1	Ga_1	As_1	Se_1	Br_1	Rb_1	Sr_1	Y_1	Zr_1	Ta_1	W_1	inc_1	coh_1
n=3351	1	0.2762	0.0562	0.11	-0.255	0.0914	0.3823	0.405	0.2475	0.176	0.2873	0.0499	-0.029	0.0112	-0.116	-0.171	0.0446	-0.177	0.0213	0.1019	-0.089	-0.015	-0.322	-0.166	
Si_1	0.2762	1	0.3093	0.3179	0.0156	0.2031	0.4711	0.4592	0.3131	0.1982	0.4011	0.0955	0.0073	0.0077	-0.008	0.0766	0.0669	-0.053	0.0429	0.1376	0.0004	0.0801	0.0899	0.074	
P_1	0.0562	0.3093	1	0.522	0.3032	0.4277	0.1549	0.1668	0.1656	0.0414	0.2734	0.0429	-0.047	-0.028	0.0213	0.0992	0.0124	-0.102	0.0299	0.0703	-0.016	0.0253	0.0489	0.023	
S_1	0.11	0.3179	0.522	1	0.3084	0.4614	0.1901	0.1901	0.1893	0.0454	0.2867	0.0432	-0.01	-0.012	0.0216	0.0849	0.0067	-0.11	0.0111	0.0829	0.0138	0.0309	0.022	0.0063	
Cl_1	-0.255	0.0156	0.3032	0.3084	1	0.2012	-0.044	-0.039	0.0155	0.0088	0.0789	0.006	0.0204	0.0252	0.07	0.0372	-0.017	0.1435	-0.047	0.0024	0.0756	0.0992	0.1771	0.1307	
Ar_1	0.0914	0.2031	0.4277	0.4614	0.2012	1	0.036	0.0449	0.0507	-0.036	0.0964	-0.03	-0.038	-0.03	0.0147	0.0078	-0.035	-0.156	-0.014	0.012	-0.03	-0.035	-0.128	-0.141	
K_1	0.3823	0.4711	0.1549	0.1901	-0.044	0.036	1	0.5403	0.4481	0.2976	0.4598	0.1508	0.0071	0.0357	-0.018	0.0504	0.2042	0.0016	0.0322	0.1593	0.0199	0.1061	0.1484	0.1638	
Ca_1	0.405	0.4592	0.1668	0.1901	-0.039	0.0449	0.5403	1	0.4872	0.4126	0.6035	0.1755	0.0421	0.0392	0.0066	0.0761	0.0591	0.0272	0.0922	0.1797	0.0424	0.1278	0.2147	0.1997	
Ti_1	0.2475	0.3131	0.1656	0.1893	0.0155	0.0507	0.4481	0.4872	1	0.4559	0.6026	0.1677	-0.023	-0.007	0.0143	0.0812	0.0937	-0.077	0.0889	0.1608	0.0382	0.0834	0.1049	0.1006	
Mn_1	0.176	0.1982	0.0414	0.0454	0.0088	-0.036	0.2976	0.4126	0.4559	1	0.5852	0.1769	0.0085	0.03	0.0053	0.0709	0.0226	-0.039	0.0596	0.0849	0.0657	0.0947	0.09	0.1065	
Fe_1	0.2873	0.4011	0.2734	0.2867	0.0789	0.0964	0.4598	0.6035	0.6026	0.5852	1	0.2355	-0.014	0.0431	0.0011	0.132	0.0713	-0.143	0.1146	0.1934	0.0754	0.0954	0.1656	0.1489	
Zn_1	0.0499	0.0955	0.0429	0.0432	0.006	-0.03	0.1508	0.1755	0.1677	0.1769	0.2355	1	0.0367	0.0546	0.021	0.0661	0.079	-0.042	0.0306	0.0388	0.146	0.1098	0.1243	0.1035	
Ga_1	-0.029	0.0073	-0.047	-0.01	0.0204	-0.038	0.0071	0.0421	-0.023	0.0085	-0.014	0.0367	1	0.0949	0.0461	0.043	0.0011	0.1117	0.0307	-0.025	-0.21	0.0492	0.0557	0.0143	
As_1	0.0112	0.0077	-0.028	-0.012	0.0252	-0.03	0.0357	0.0392	-0.007	0.03	0.0431	0.0546	0.0949	1	0.0669	0.0558	0.0717	0.0557	0.0182	0.0036	0.0598	0.0783	0.0333	-0.015	
Se_1	-0.116	-0.008	0.0213	0.0216	0.07	0.0147	-0.018	0.0066	0.0143	0.0053	0.0011	0.021	0.0461	0.0669	1	0.1082	0.0553	0.0453	0.0329	0.0668	0.0369	0.0104	0.0696	0.0121	
Br_1	-0.171	0.0766	0.0992	0.0849	0.0372	0.0078	0.0504	0.0761	0.0812	0.0709	0.132	0.0661	0.043	0.0558	0.1082	1	-0.038	-0.05	0.1183	0.1121	0.0509	0.088	0.2523	0.0901	
Rb_1	0.0446	0.0669	0.0124	0.0067	-0.017	-0.035	0.2042	0.0591	0.0937	0.0226	0.0713	0.079	0.0011	0.0717	0.0553	-0.038	1	0.1464	-0.054	0.0441	-0.028	0.0306	0.1088	0.1375	
Sr_1	-0.177	-0.053	-0.102	-0.11	0.1435	-0.156	0.0016	0.0272	-0.077	-0.039	-0.143	-0.042	0.1117	0.0557	0.0453	-0.05	0.1464	1	-0.006	-0.057	0.0132	0.0514	0.2053	0.2463	
Y_1	0.0213	0.0429	0.0299	0.0111	-0.047	-0.014	0.0322	0.0922	0.0889	0.0696	0.1146	0.0306	0.0307	0.0182	0.0329	0.1183	-0.054	-0.006	1	0.0937	-0.005	0.0317	0.1794	0.1591	
Zr_1	0.1019	0.1376	0.0703	0.0829	0.0024	0.012	0.1593	0.1797	0.1608	0.0849	0.1934	0.0388	-0.025	0.0036	0.0668	0.1121	0.0441	-0.057	0.0937	1	0.0246	0.0602	0.151	0.1549	
Ta_1	-0.089	0.0004	-0.016	0.0138	0.0756	-0.03	0.0199	0.0424	0.0382	0.0657	0.0754	0.146	-0.21	0.0598	0.0369	0.0509	-0.028	0.0132	-0.005	0.0246	1	0.158	0.1235	0.092	
W_1	-0.015	0.0801	0.0253	0.0309	0.0992	-0.035	0.1061	0.1278	0.0834	0.0947	0.0954	0.1098	0.0492	0.0783	0.0104	0.088	0.0306	0.0514	0.0317	0.0602	0.158	1	0.1706	0.1213	
inc_1	-0.322	0.0899	0.0489	0.022	0.1771	-0.128	0.1484	0.2147	0.1049	0.09	0.1656	0.1243	0.0557	0.0333	0.0696	0.2523	0.1088	0.2053	0.1794	0.151	0.1235	0.1706	1	0.6836	
coh_1	-0.166	0.074	0.023	0.0063	0.1307	-0.141	0.1638	0.1997	0.1006	0.1065	0.1489	0.1035	0.0143	-0.015	0.0121	0.0901	0.1375	0.2463	0.1591	0.1549	0.092	0.1213	0.6836	1	

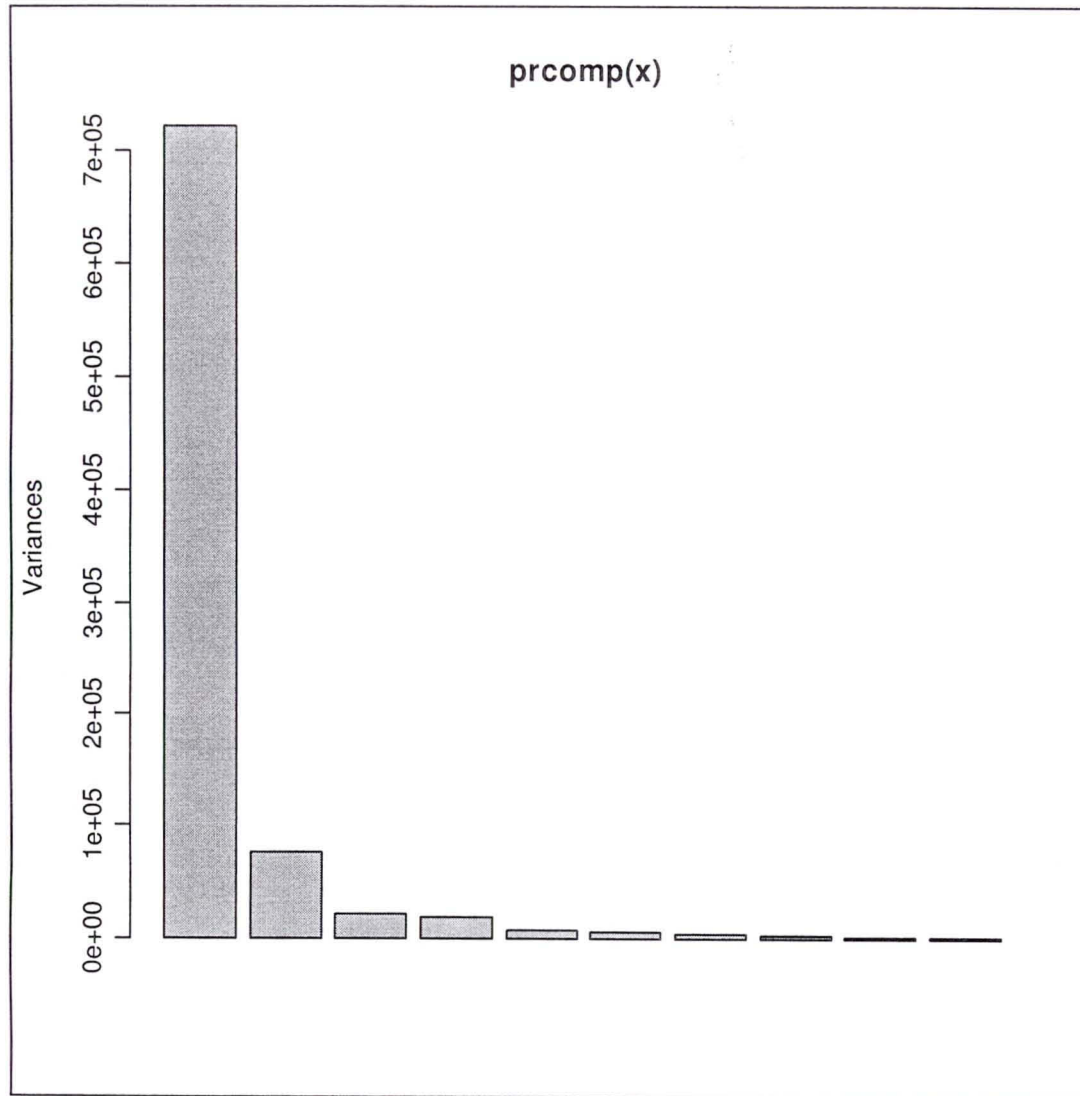


Figure 63BC-10 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 63BC

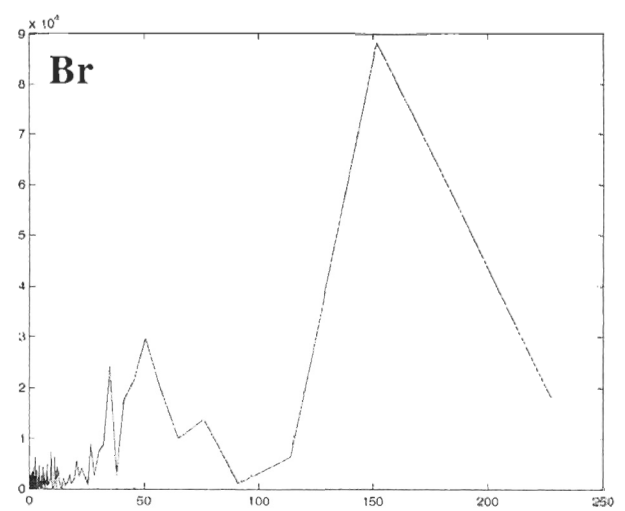
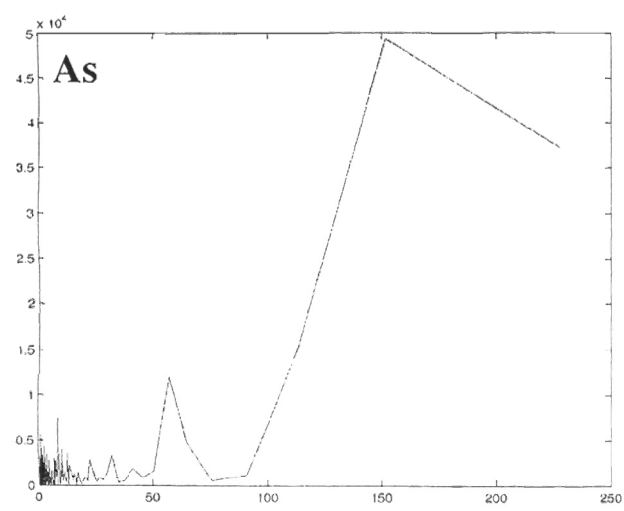
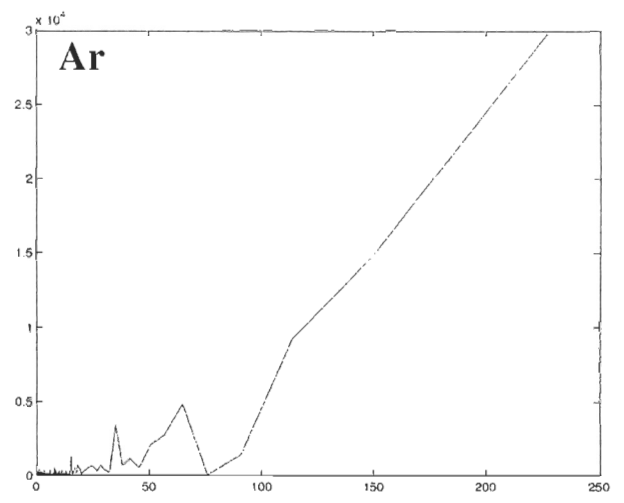
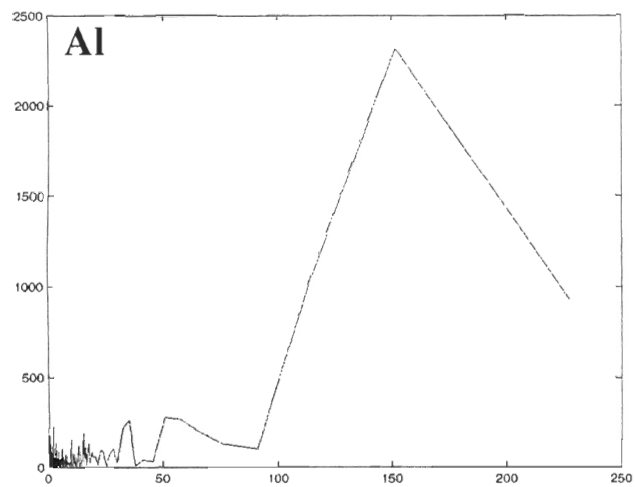
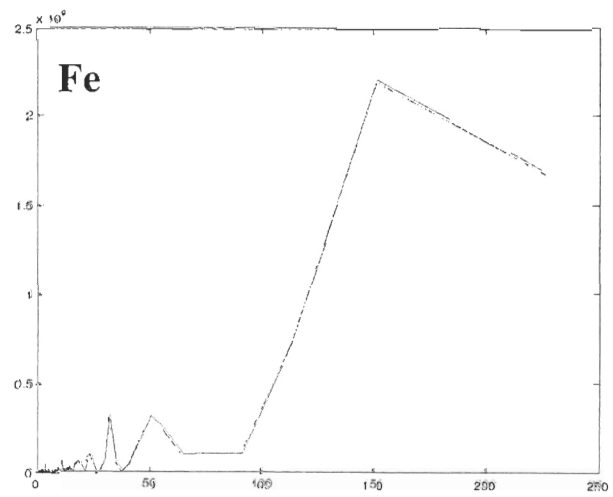
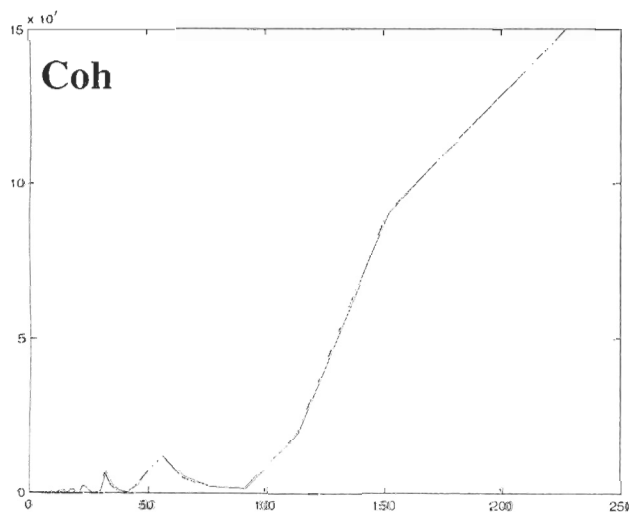
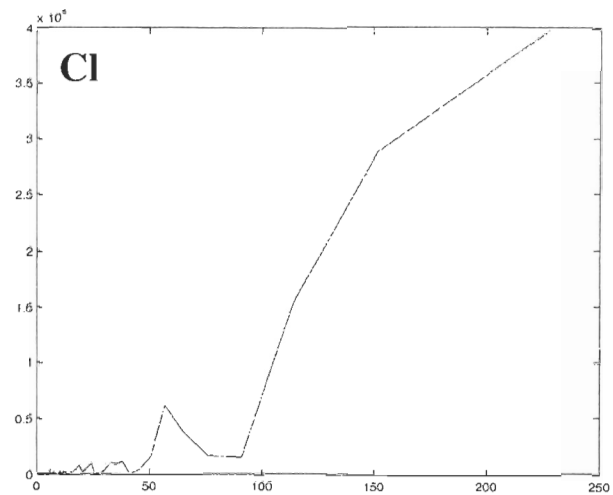
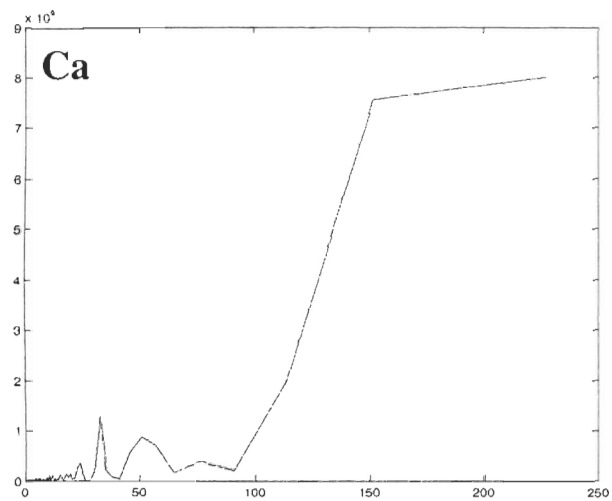
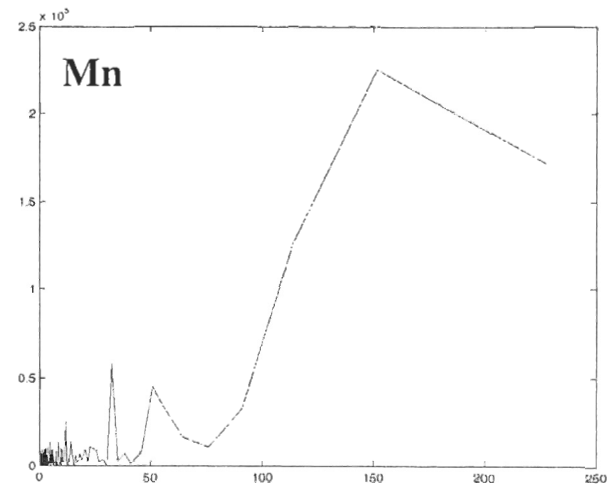
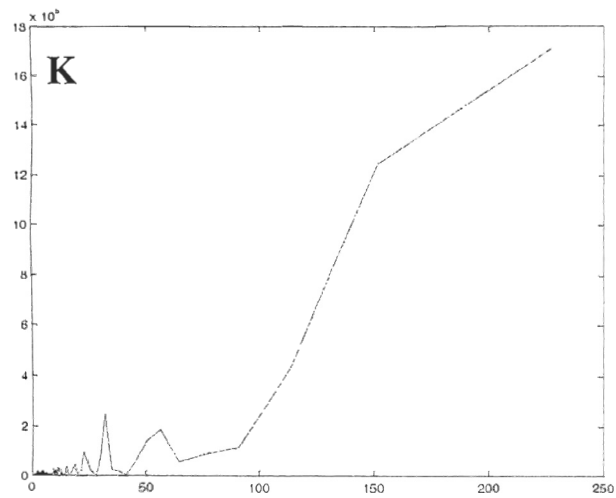
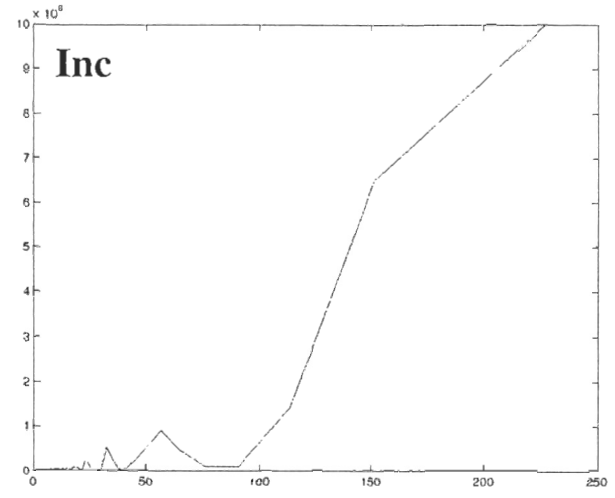
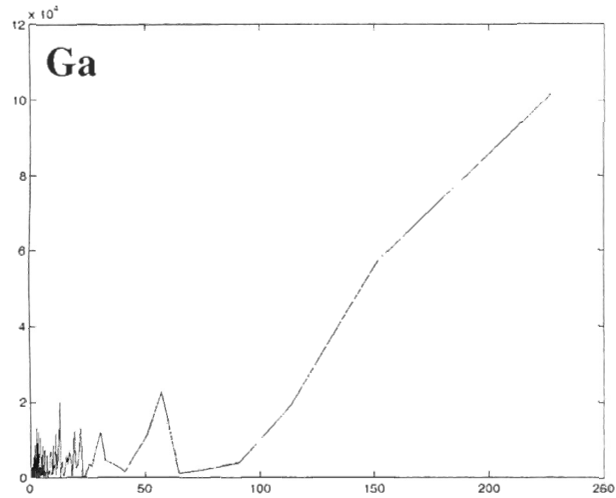
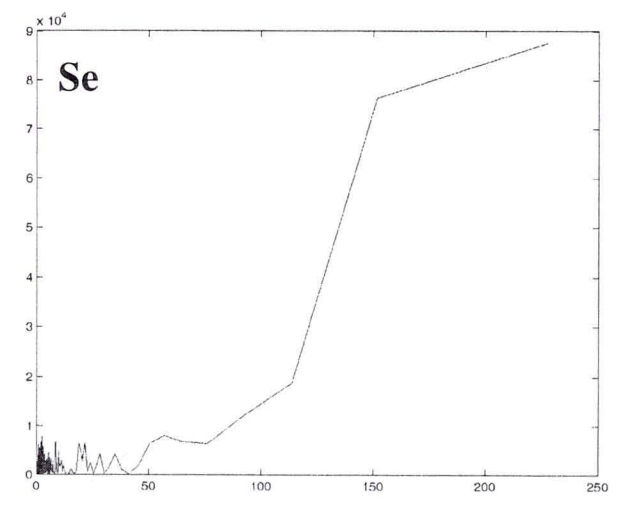
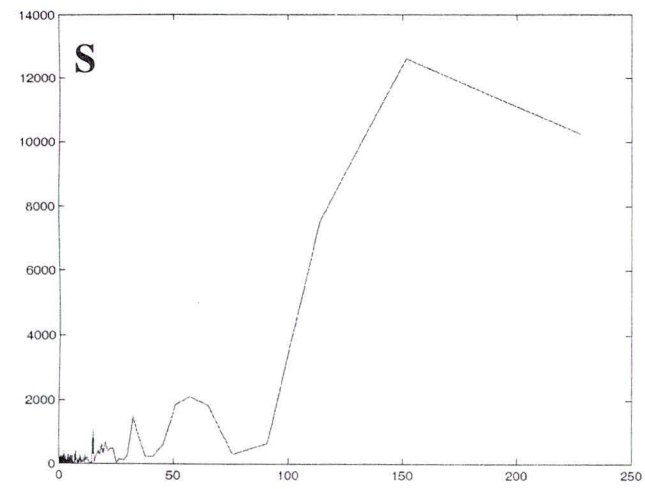
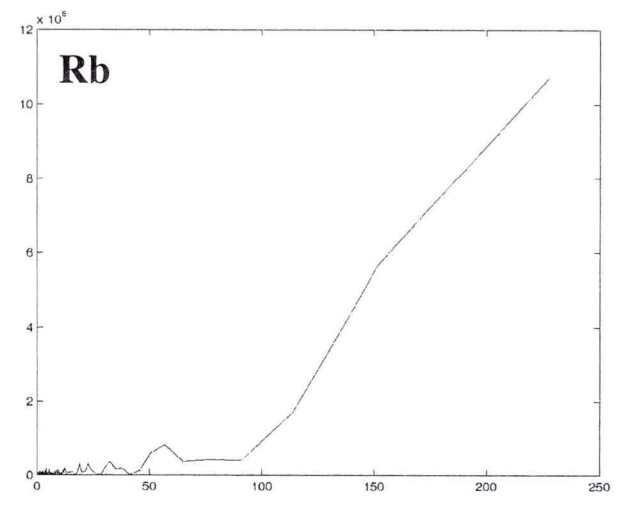
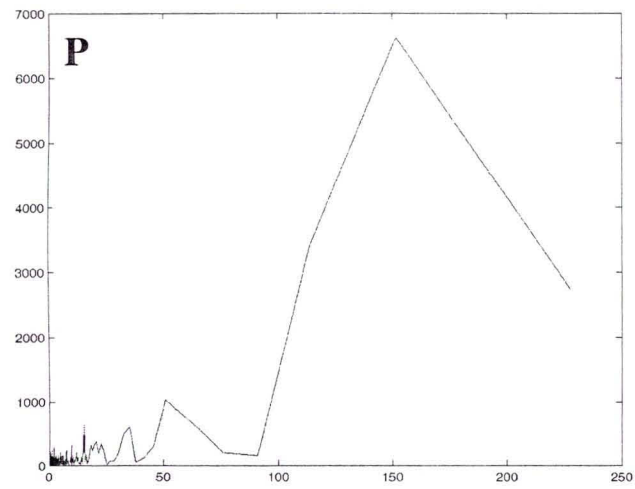
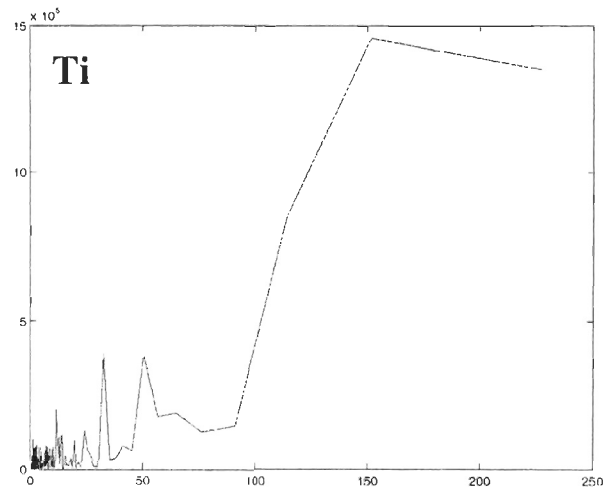
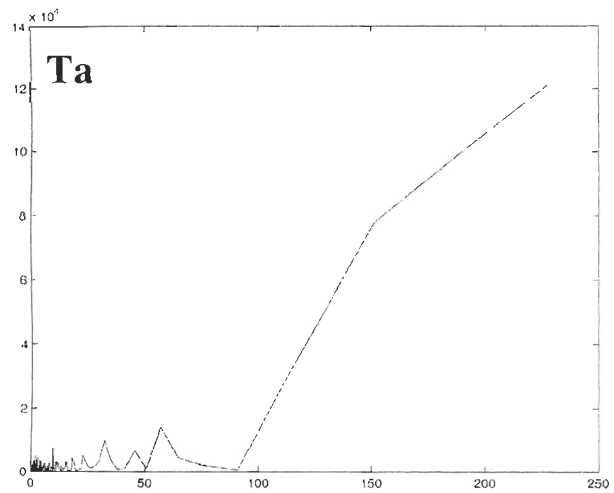
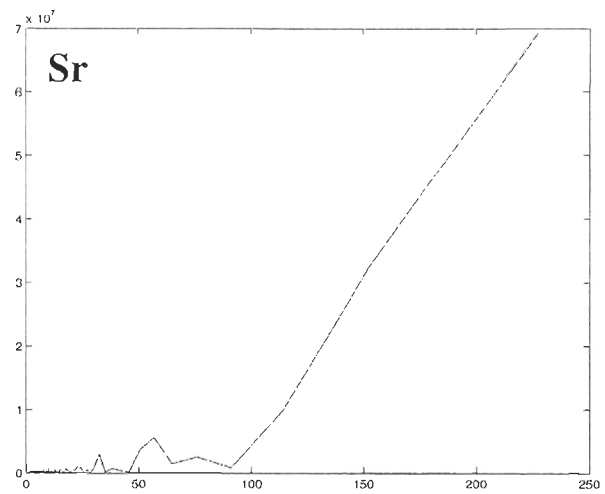
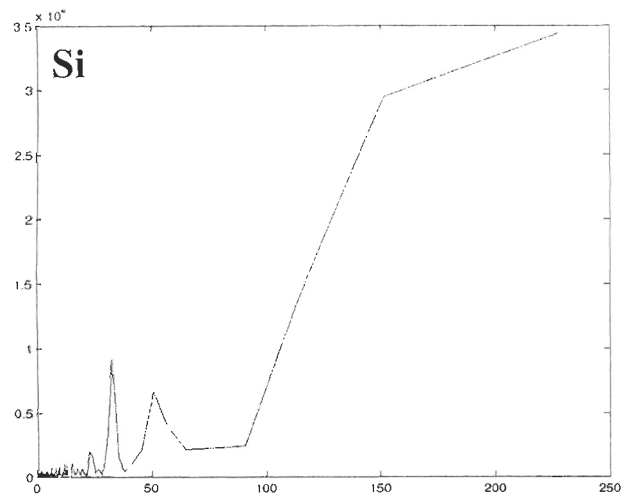


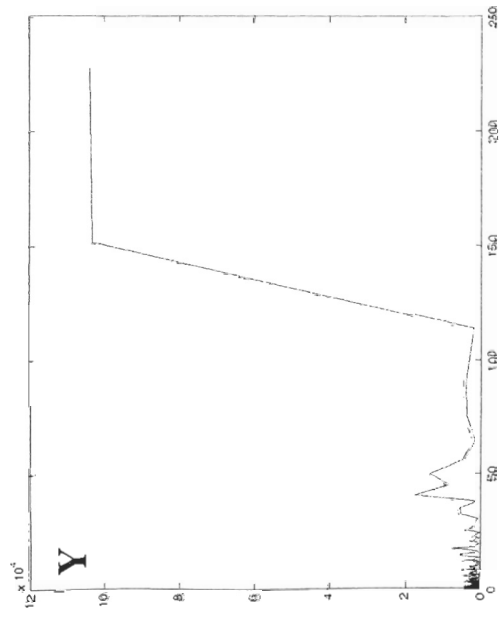
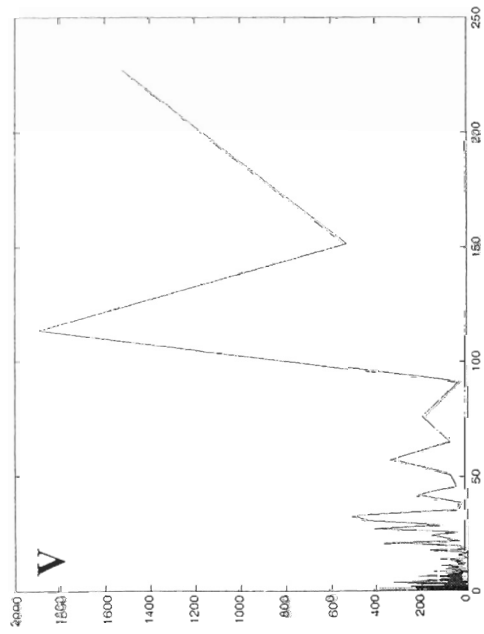
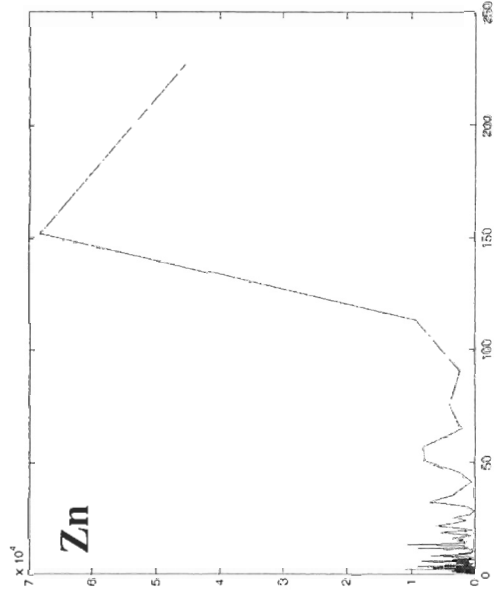
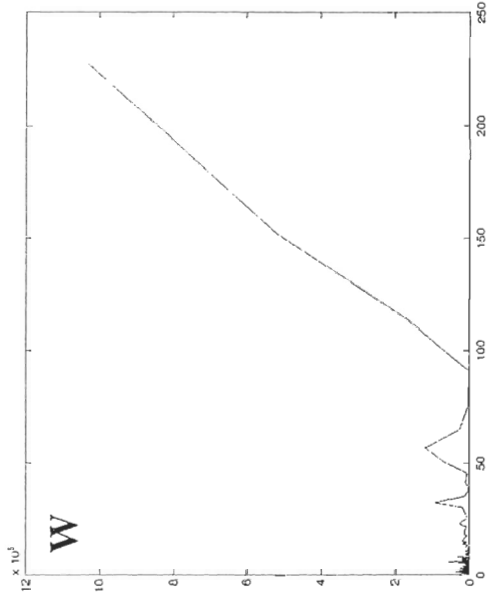
Figure 63BC-11 : Transformées rapides de Fourier (FFT) pour les données XRF normalisées de la carotte 63BC



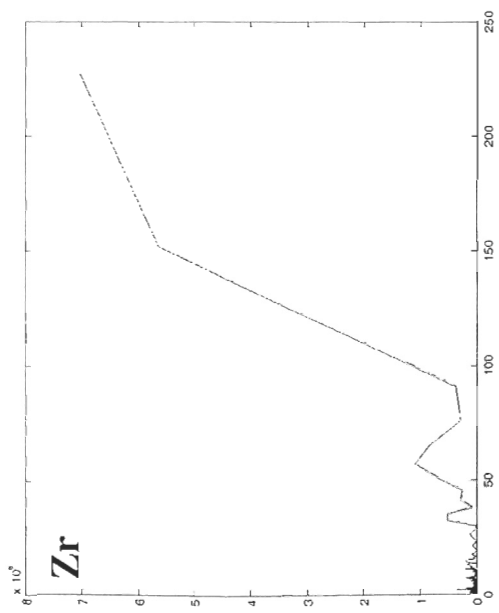












## 1.5 64BC

Voir le fichier [UBV memoire 64BC.pdf](#) contenant les figures 64BC-1 à 64BC-11 et tableaux 64BC-1 à 3.

### Liste des figures 64BC

Figure 64BC-1 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 64BC.....	CXLVII
Figure 64BC-2 : Distribution granulométrique de la carotte 64BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm) .....	CXLVIII
Figure 64BC-3 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 64BC selon la profondeur (cm) ..	CXLIX
Figure 64BC-4 : Profils de $N_{tot}$ , $C_{org}$ , $C_{org}/N_{tot}$ , $CaCO_3$ , $C_{org}$ et $\delta^{13}C_{org}$ de la carotte 64BC	CL
Figure 64BC-5 : Profils optiques $I^*$ (noir-blanc), $a^*$ (vert-rouge) et $b^*$ (jaune-bleu) pour la carotte 64BC .....	CLI
Figure 64BC-6 : Taux de sédimentation pour la carotte 64BC d'après les profils de $^{210}Pb$ corrigé et de $Li^{210}Pb$ en excès .....	CLII
Figure 64BC-7 : Figure synthèse de la carotte 64BC selon la profondeur (cm)....	CLIII
Figure 64BC-8 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 64BC .....	CLV
Figure 64BC-9 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 64BC .....	CLXVIII
Figure 64BC-10 : Cotes ( <i>scores</i> ) et valeurs propres ( <i>eigenvalues</i> ) des deux premières composantes principales de l'ACP sur les données XRF pour la carotte 64BC .....	CLXIX
Figure 64BC-11 : Transformées rapides de Fourier (FFT) pour les données XRF normalisées de la carotte 64BC .....	CLXX

### Liste des tableaux 64BC

Tableau 64BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 64BC.	CLIV
Tableau 64BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 64BC...	CLXII
Tableau 64BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 64BC .....	CLXVII

## Analyse sommaire

Contrairement à toutes les autres, la carotte 64BC était très hétérogène et constituée de trois unités sédimentaires. L'unité basale, de 45,5 à 33 cm, était constituée d'argile-silteuse. L'unité intermédiaire, de 33,5 à 12 cm est très variable et caractérisée par des lentilles de sable et d'argile entrecroisées, comme le soutiennent la granulométrie et la densité. Les bases sont parfois en forme d'auge donc possiblement érosives. L'unité sommitale est composée de sable. L'activité du plomb est relativement linéaire dans l'unité sommitale, ce qui implique une sédimentation normale plutôt qu'en événements hydro-sédimentologiques. Ainsi, la base de cette unité est datée à 60 ans (avant 2006). L'argon et les collisions cohérentes et incohérentes semblent particulièrement sensibles aux structures sédimentaires. Le  $\text{CaCO}_3$  montre un gradient négatif en direction du sommet alors que le  $\delta^{13}\text{C}$  augmente vers la surface (vers zéro), mais le  $C_{org}$  est stable. La proportion de zéros dans Al et V sont nettement plus élevés que la moyenne. Si, Ar et Inc ont une distribution normale alors que Cl, Sr, P, Ca, Fe, Coh s'en approchent. Dans les données XRF, plusieurs corrélations dépassent les 0,60 : K-Ca, K-Ti, K-Fe, Ti-Ca, Fe-Ca, Fe-Mn, Fe-Ti, Coh-Inc. Ce sont d'ailleurs les éléments ayant les plus hautes valeurs propres (*eigenvalues*) dans la CP1. La variance de la CP2 est supérieure en comparaison avec les autres carottes. Plusieurs pics dans les transformées de Fourier suggèrent une activité cyclique régulière.

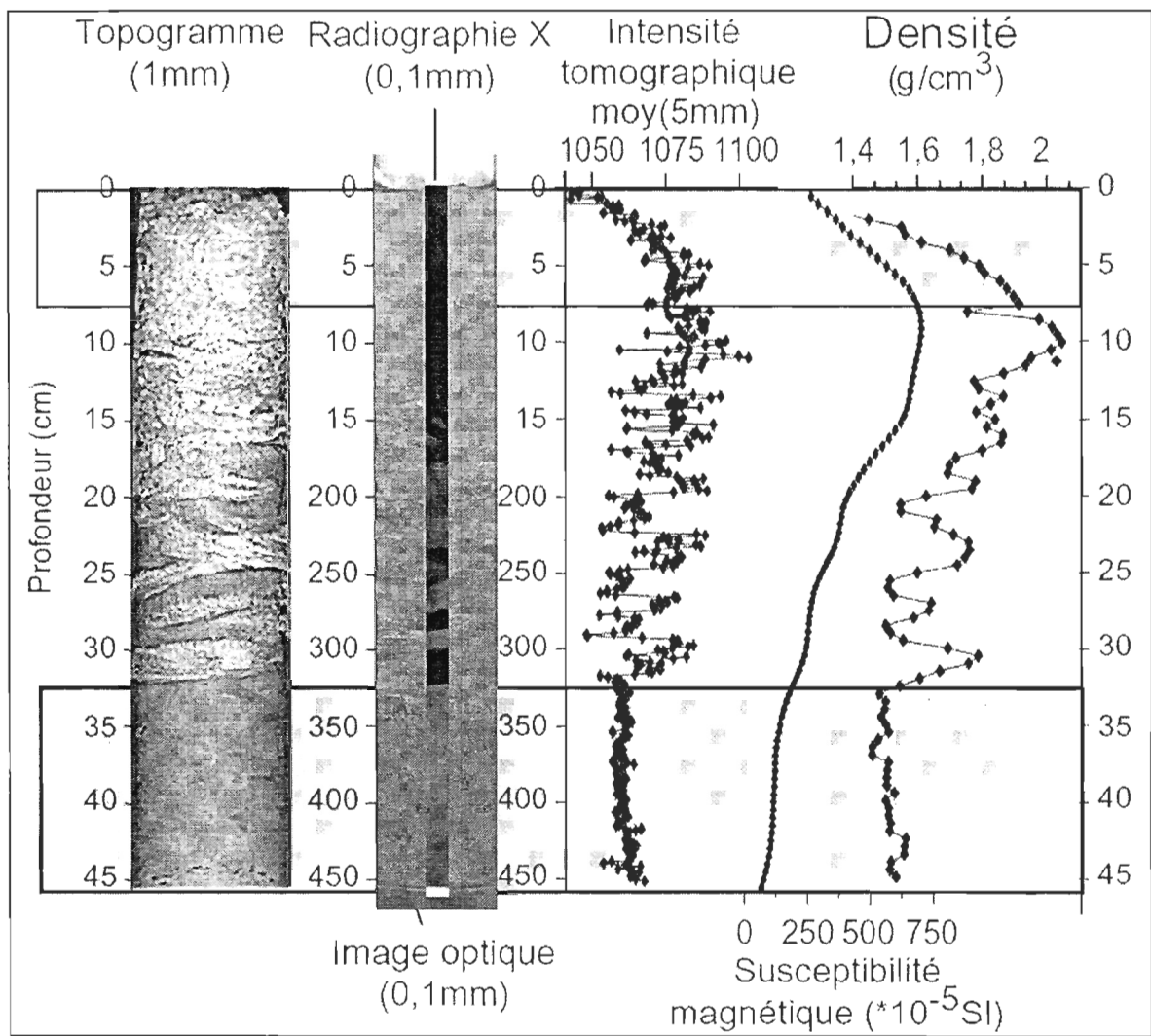


Figure 64BC-1 : Imagerie tomographique, rayon X , profils d'intensité tomographique, de susceptibilité magnétique et de densité de la carotte 64BC

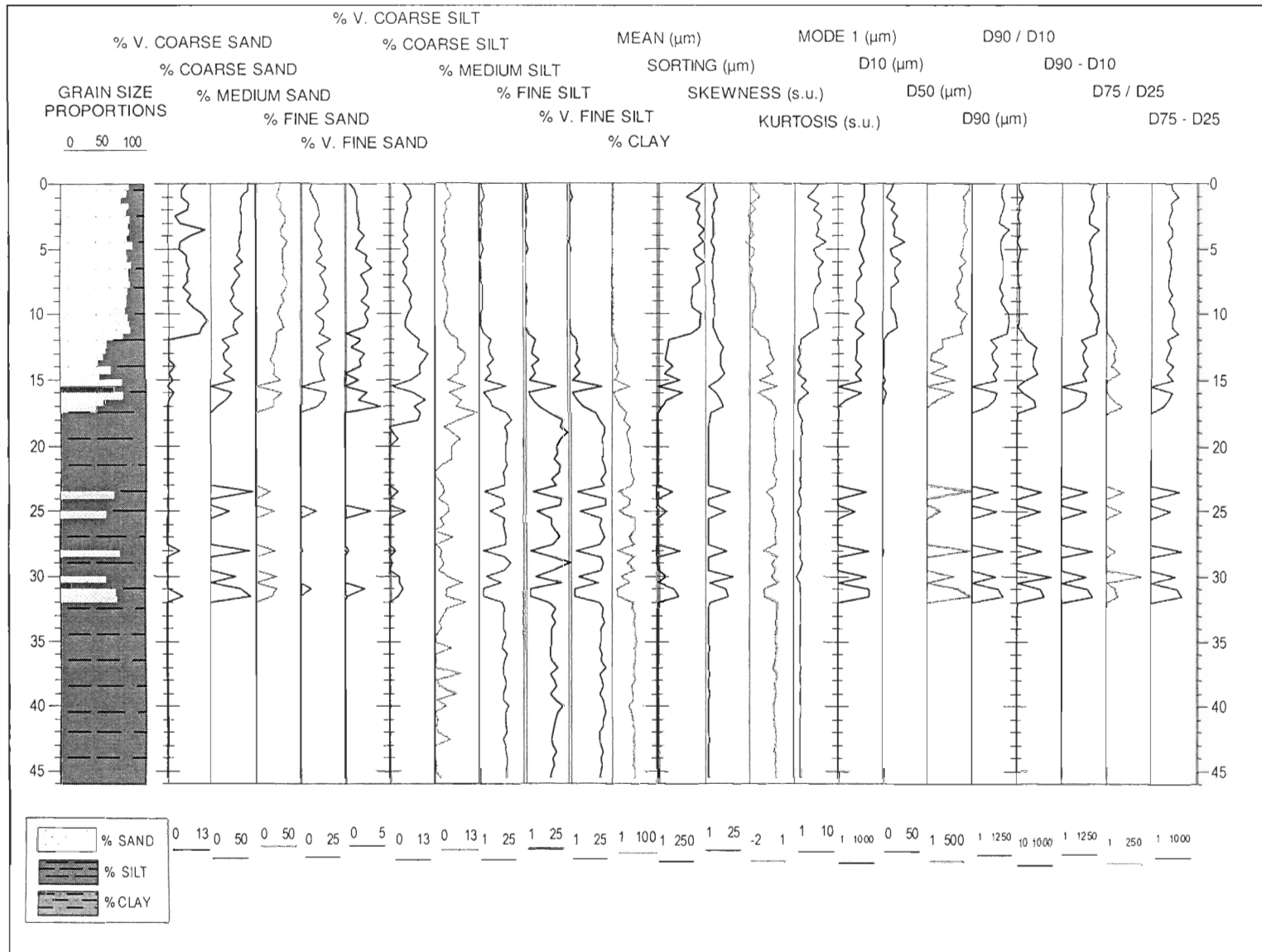


Figure 64BC-2 : Distribution granulométrique de la carotte 64BC, par proportion de taille de grains, classe de taille de grains et principaux paramètres statistiques selon la profondeur (cm)

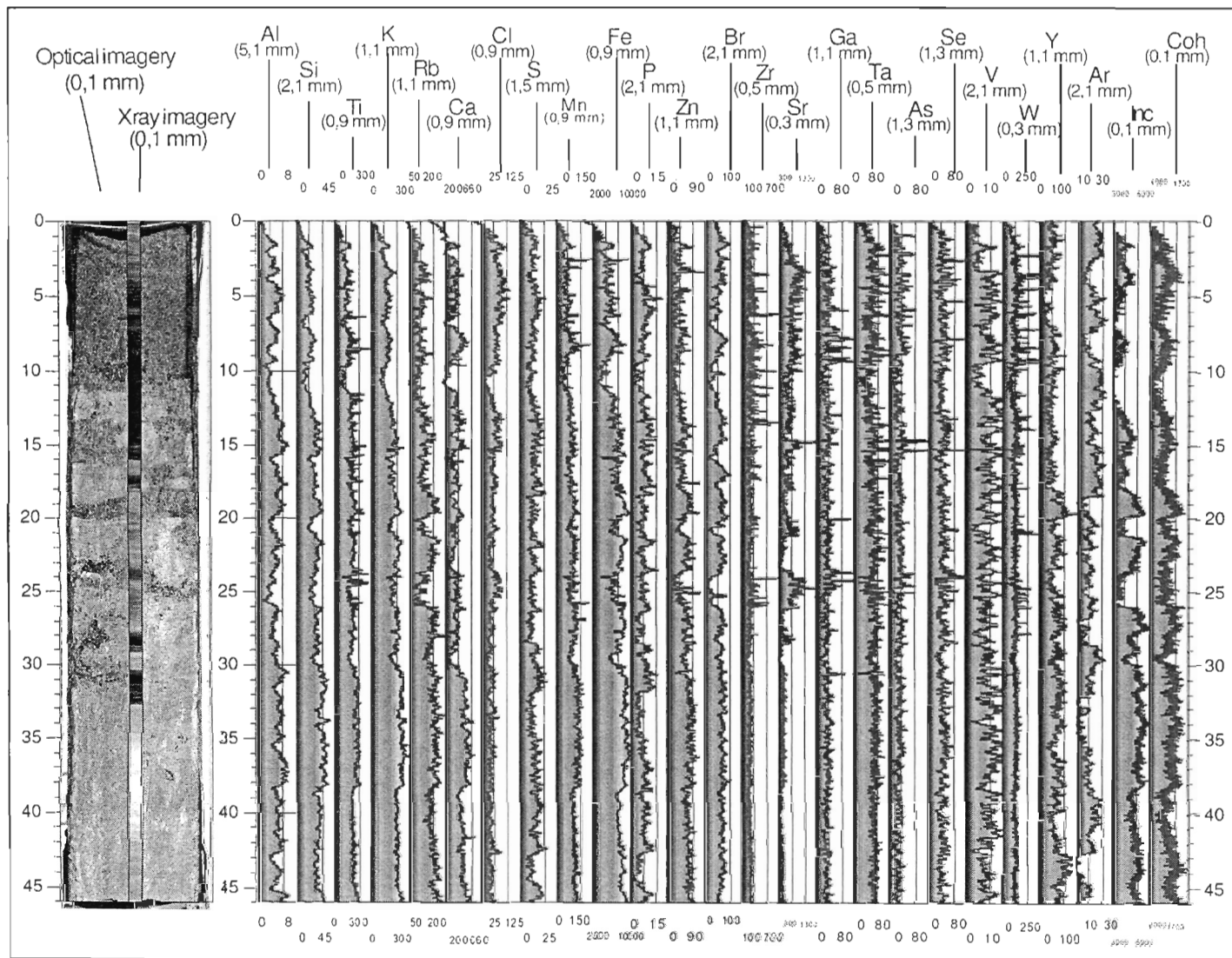


Figure 64BC-3 : Imagerie rayon-X, imagerie optique et profils élémentaires XRF lissés de plusieurs éléments pour la carotte 64BC selon la profondeur (cm)

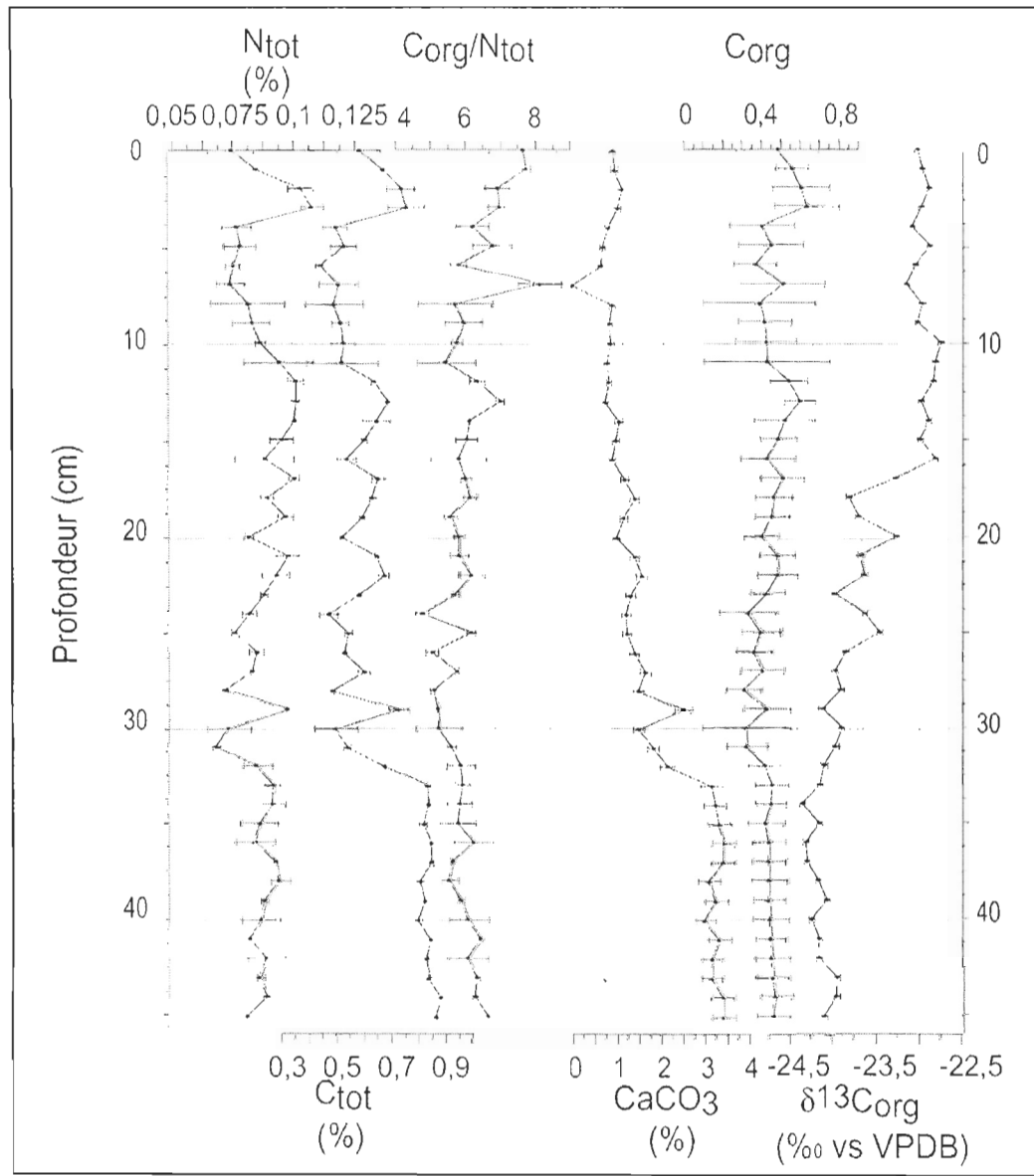


Figure 64BC-1 : Profils de N<sub>tot</sub>, C<sub>tot</sub>, C<sub>org</sub>/N<sub>tot</sub>, CaCO<sub>3</sub>, C<sub>org</sub> et δ<sup>13</sup>C<sub>org</sub> de la carotte 64BC

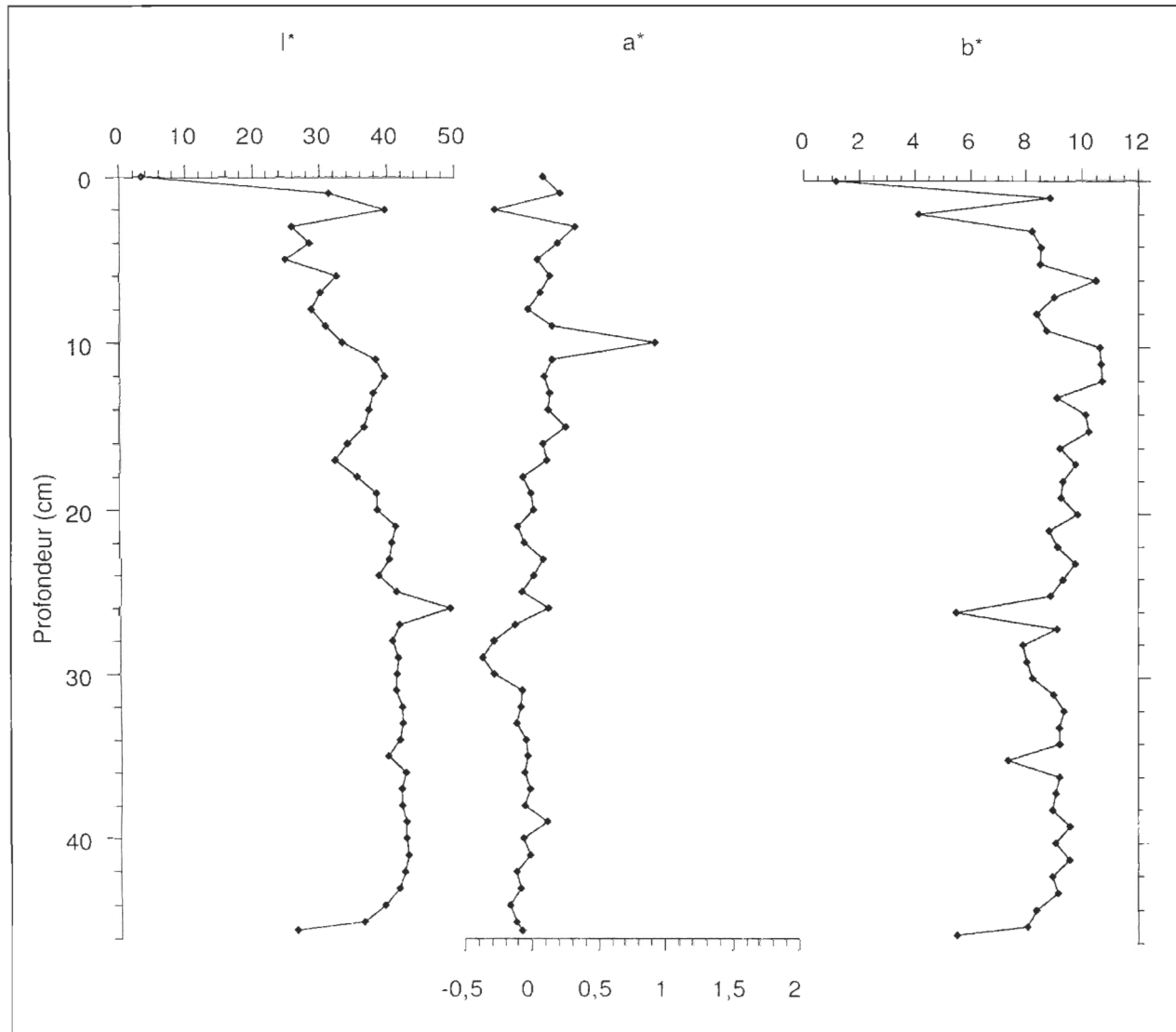


Figure 64BC-5 : Profils optiques  $l^*$  (noir-blanc),  $a^*$  (vert-rouge) et  $b^*$  (jaune-bleu) pour la carotte 64BC



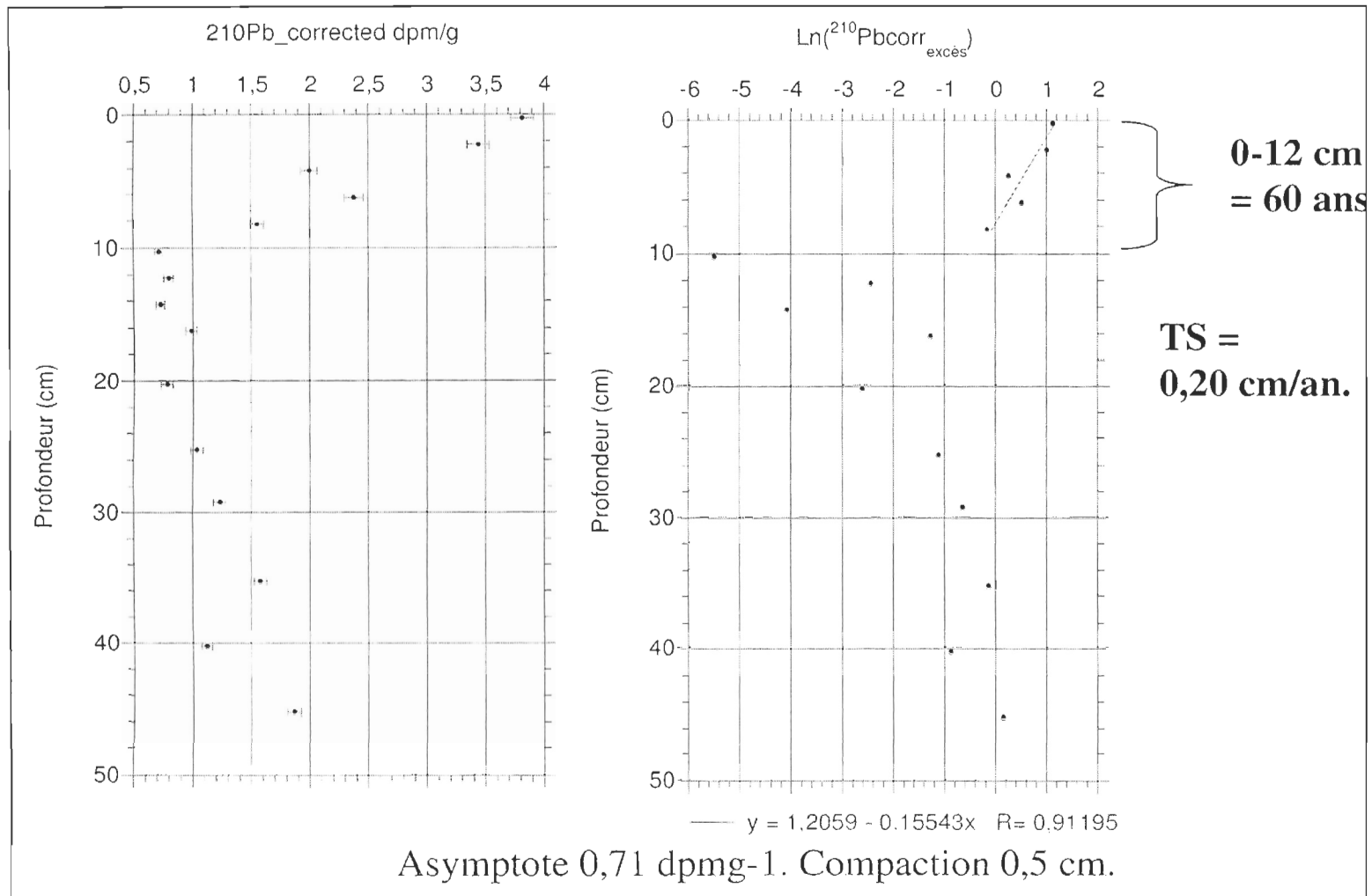


Figure 64BC-6 : Taux de sédimentation pour la carotte 64BC d'après les profils de <sup>210</sup>Pb corrigé et de Ln<sup>210</sup>Pb en excès

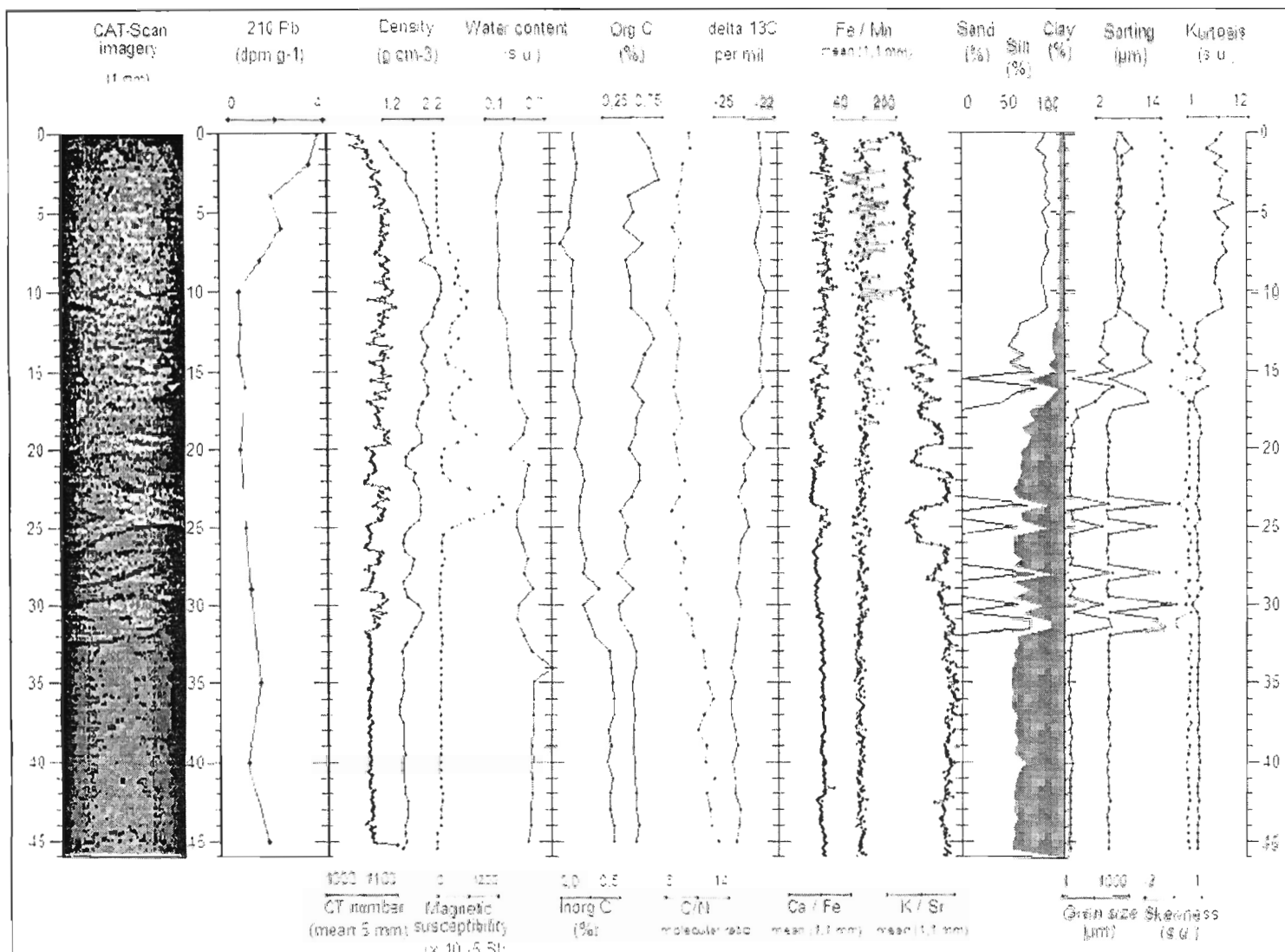


Figure 64BC-7 : Figure synthèse de la carotte 64BC selon la profondeur (cm)

Tableau 64BC-1 : Statistiques descriptives des données XRF pour la carotte 64BC

64BC	Al 1	Si 1	P 1	S 1	Cl 1	Ar 1	K 1	Ca 1	Ti 1	V 1	Mn 1	Fe 1	Zn 1
Moyenne	2.99833	14.1465	5.11407	9.13322	61.9009	19.1357	115.936	292.081	105.565	5.1249	47.2032	5176.82	24.4338
Variance	20.2517	58.8252	29.1495	42.9122	350.671	59.5574	1296.62	7709.26	2577.86	46.4827	747.425	2593817	391.154
Écart-type	4.50018	7.66976	5.39903	6.55074	18.7262	7.71734	36.0086	87.8024	50.7727	6.81782	27.3391	1610.53	19.7776
Médiane	0	14	5	9	63	19	118	297	99	0	44	5084	22
Quantile	0	0	0	0	30	6	56	160	46	0	13	2757	0
Skewness	1.49535	0.10737	0.75127	0.32473	-0.1987	0.03117	-0.1691	-0.1418	1.93004	1.36058	1.84168	0.20274	1.19095
Kurtose	2.23361	-0.1283	-0.1567	-0.2884	0.10338	0.17568	0.28393	0.28228	7.1751	1.65048	6.94576	0.22909	2.94695
Max	30	47	26	34	119	48	247	611	480	40	219	11015	140
Min	0	0	0	0	0	0	5	15	7	0	0	444	0
n	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201
% zéros	0.63114	0.0841	0.4388	0.21066	0.00083	0.02498	0.00083	0.00083	0.00083	0.53872	0.01749	0.00083	0.15903
64BC	Ga 1	As 1	Se 1	Br 1	Rb 1	Sr 1	Y 1	Zr 1	Ta 1	W 1	inc 1	coh 1	
Moyenne	28.7294	23.3647	31.4929	36.1515	92.627	641.959	30.2764	263.931	39.8926	94.1041	3273.38	1209.14	
Variance	671.453	436.869	723.73	710.069	1122.45	20735.8	681.78	12031.1	409.703	2160.26	125421	18714.3	
Écart-type	25.9124	20.9014	26.9022	26.6471	33.5029	143.999	26.1109	109.686	20.2411	46.4786	354.148	136.8	
Médiane	25	20	28	34	91	633	27	239	38	86	3282	1207	
Quantile	0	0	0	0	40	417	0	156	11	45	2713	993	
Skewness	2.01128	1.18748	1.25277	0.63812	0.24143	0.27162	0.73641	3.1854	1.1723	3.28916	-0.1554	-0.2266	
Kurtose	7.12453	2.31433	2.48618	0.18598	-0.1602	-0.1788	-0.0148	16.5894	4.38023	19.6996	-0.1251	0.3507	
Max	212	133	175	157	207	1115	129	1203	192	564	4208	1619	
Min	0	0	0	0	0	252	0	90	0	12	1953	682	
n	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	
% zéros	0.15654	0.21316	0.15903	0.12823	0.00083	0.00083	0.21232	0.00083	0.01832	0.00083	0.00083	0.00083	

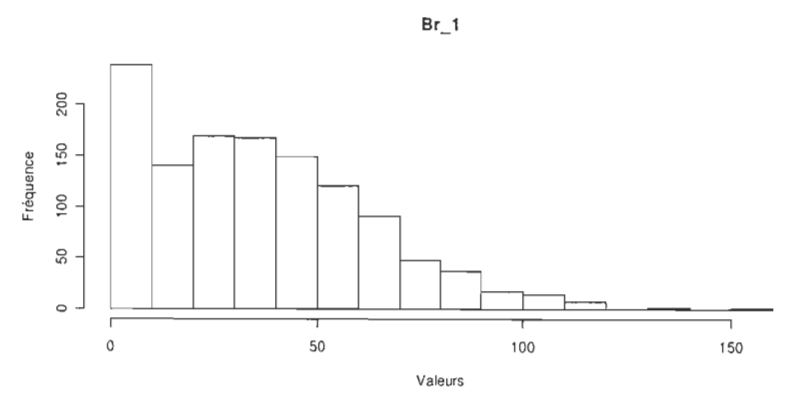
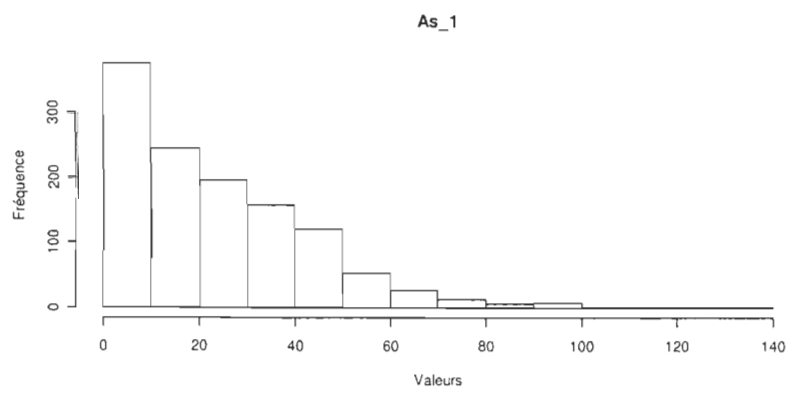
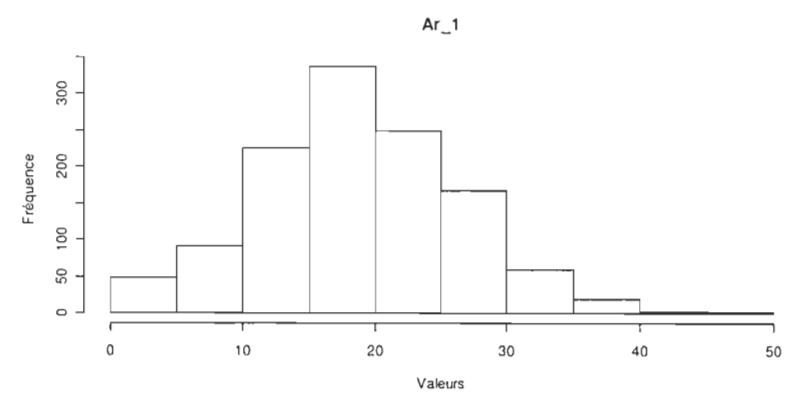
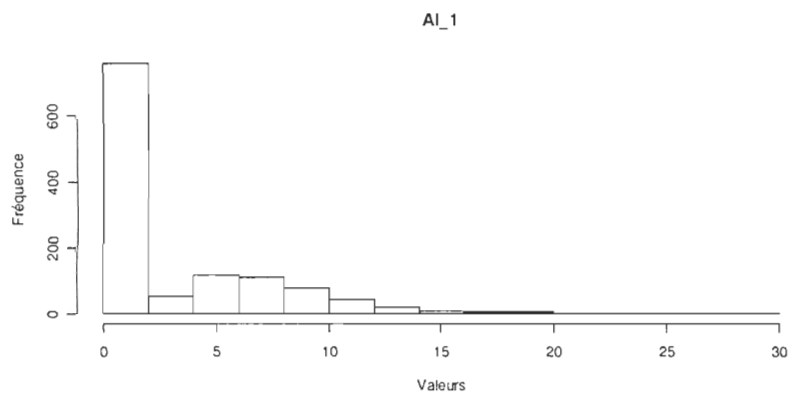
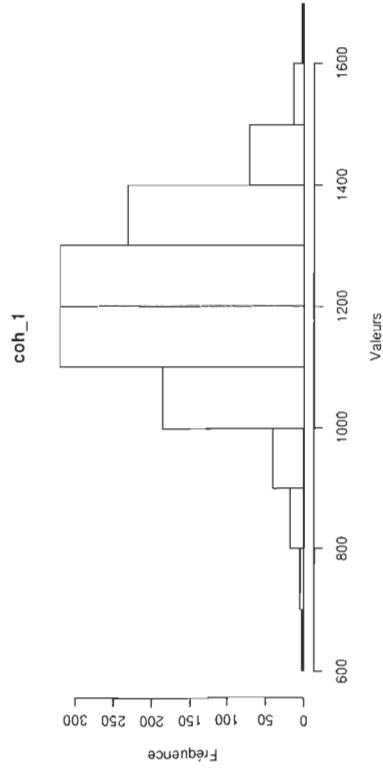
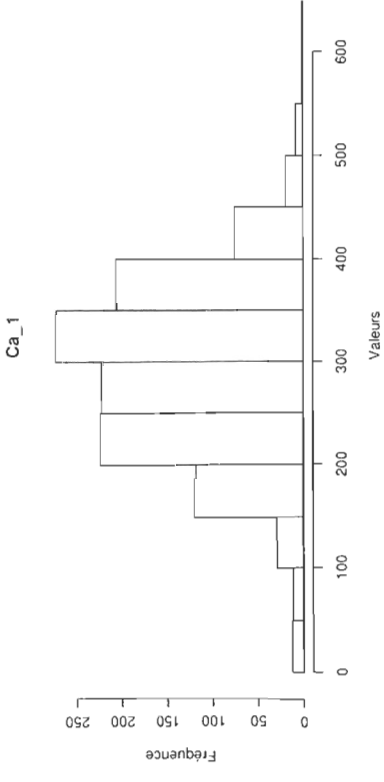
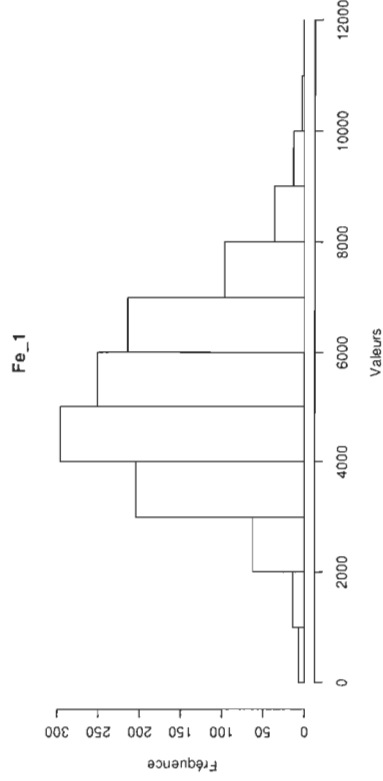
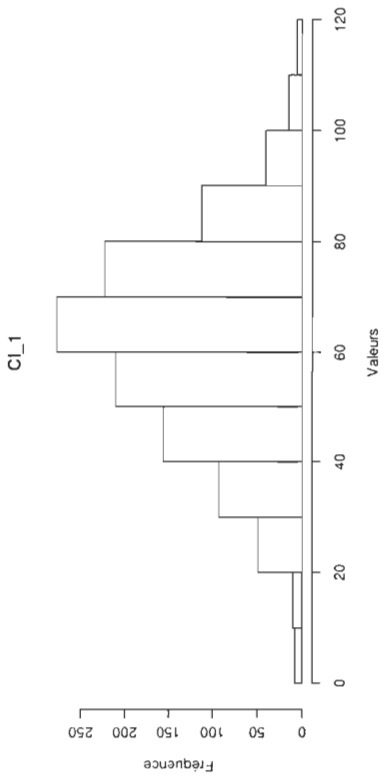
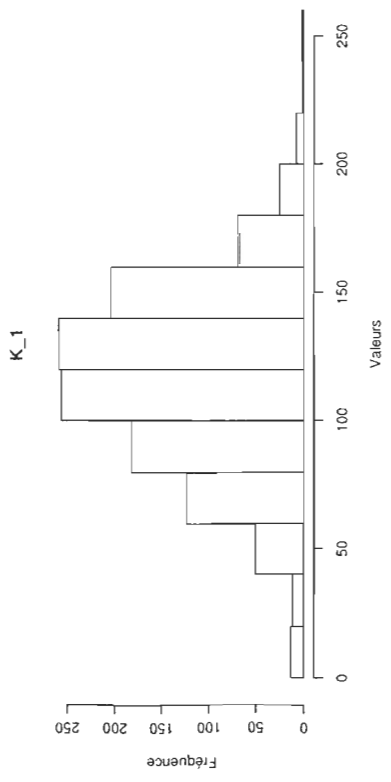
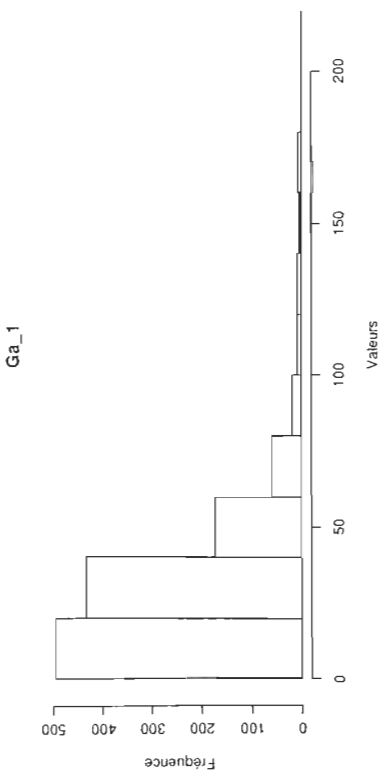
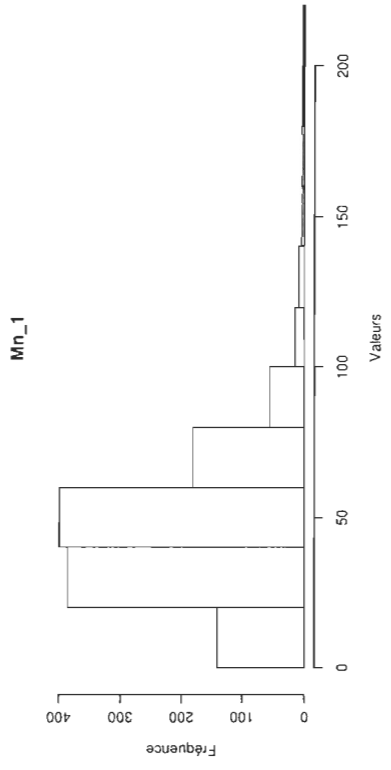
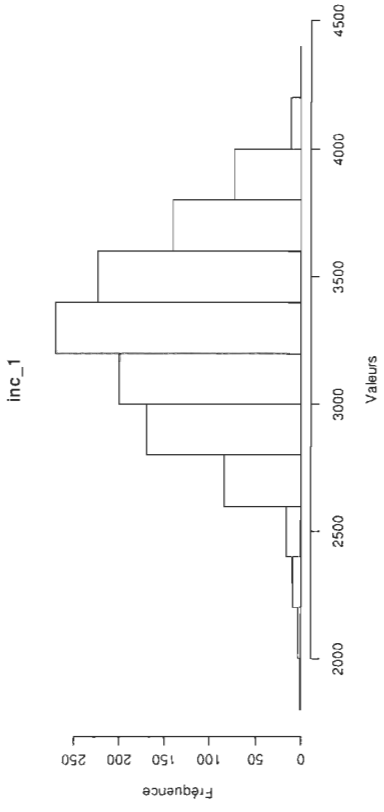
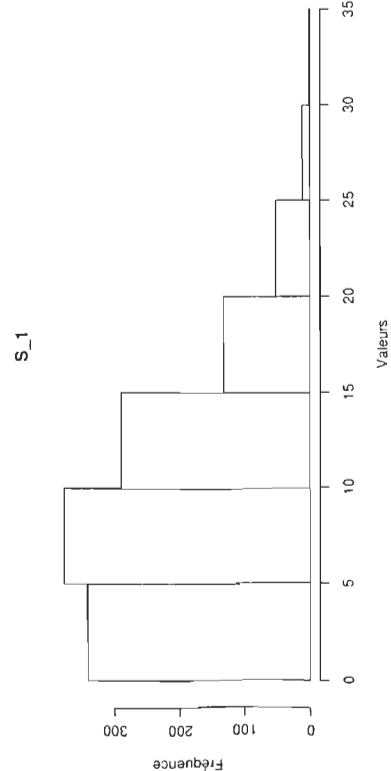
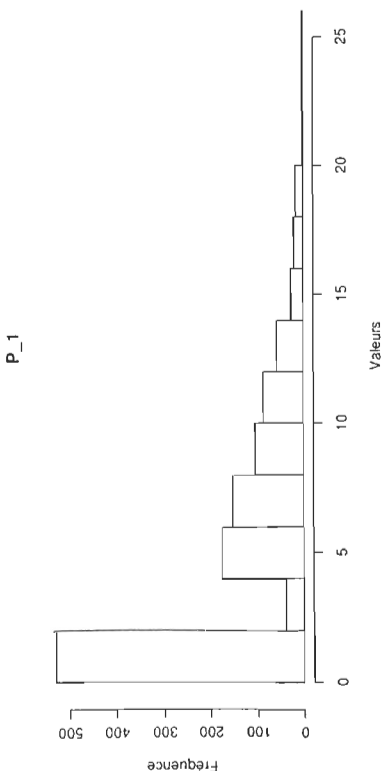
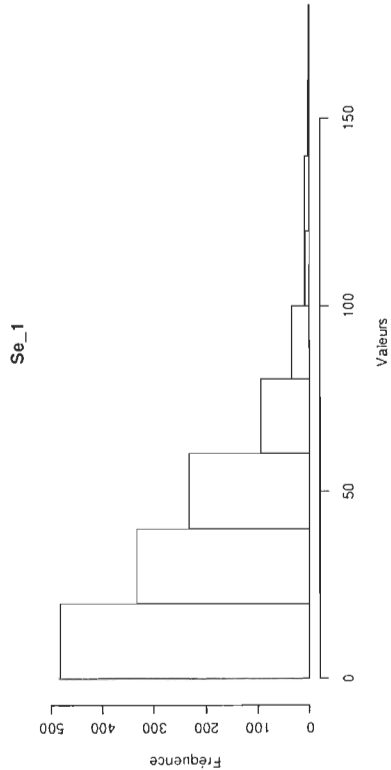
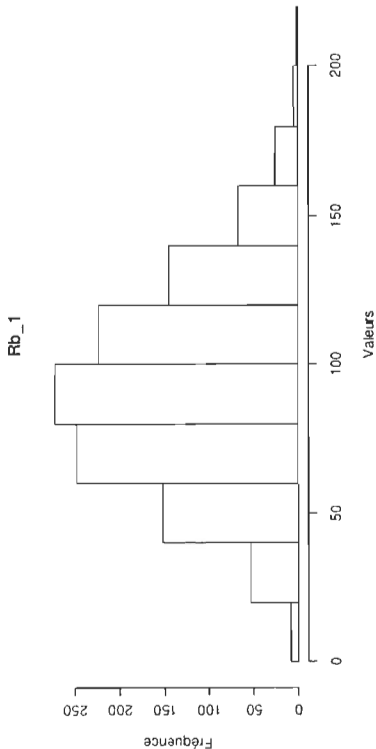
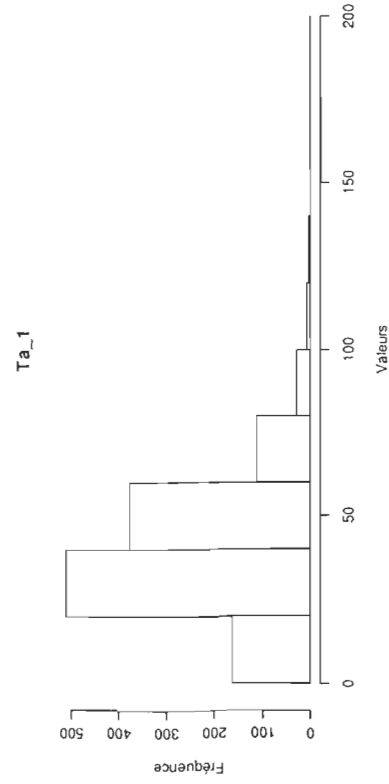
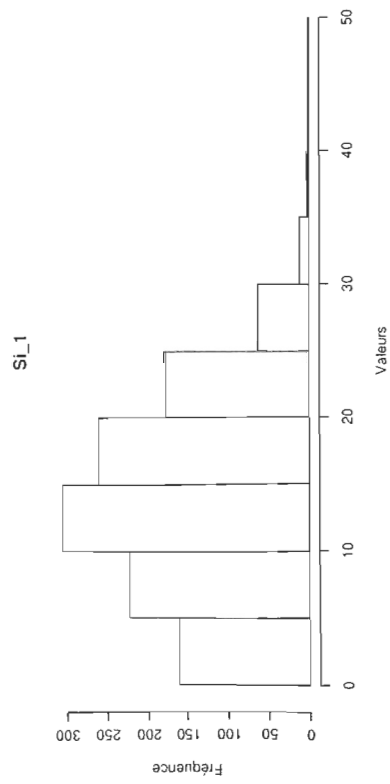
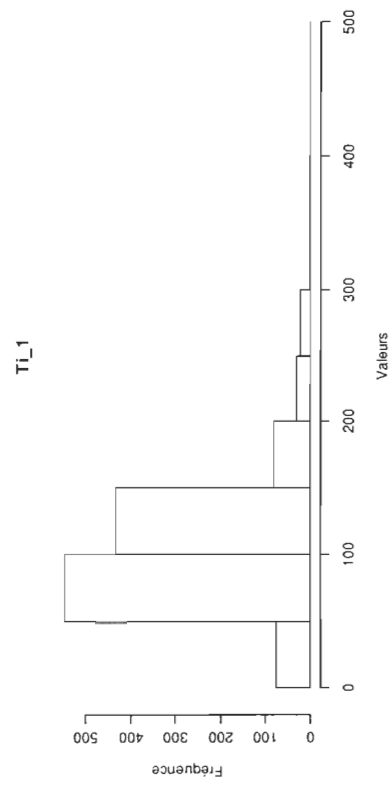
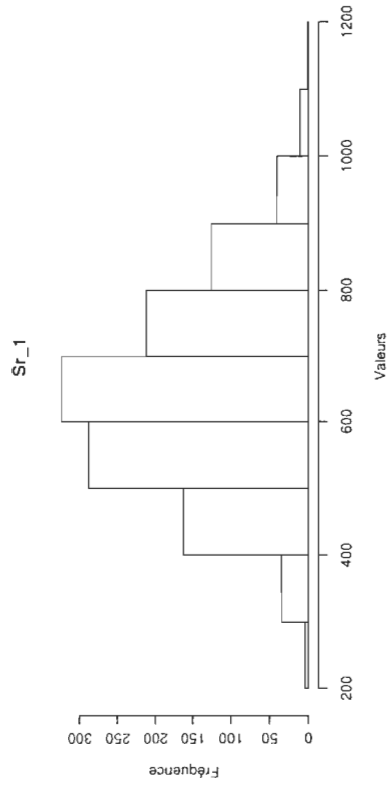


Figure 64BC-8 : Histogrammes de fréquences pour les données XRF de la carotte 64BC

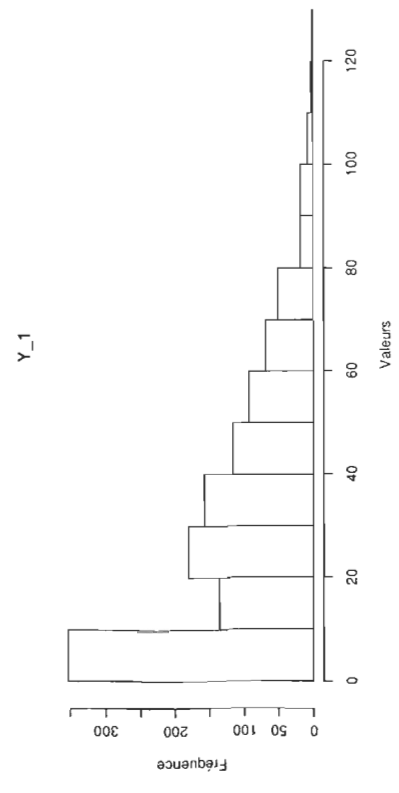
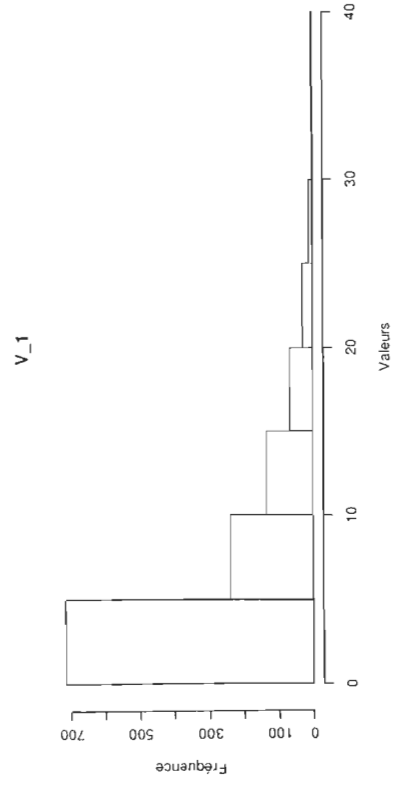
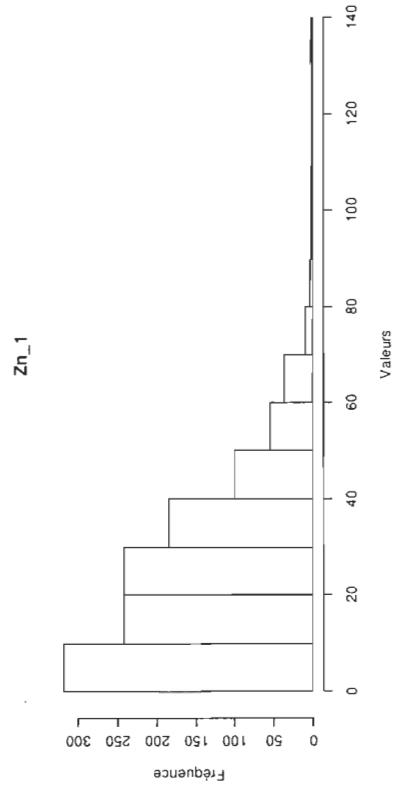
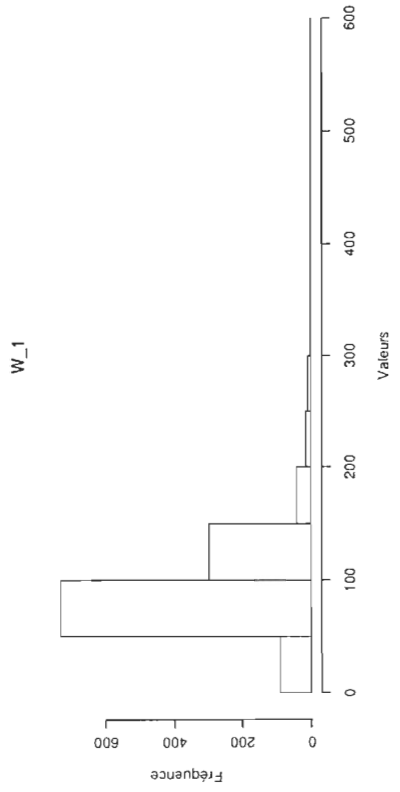












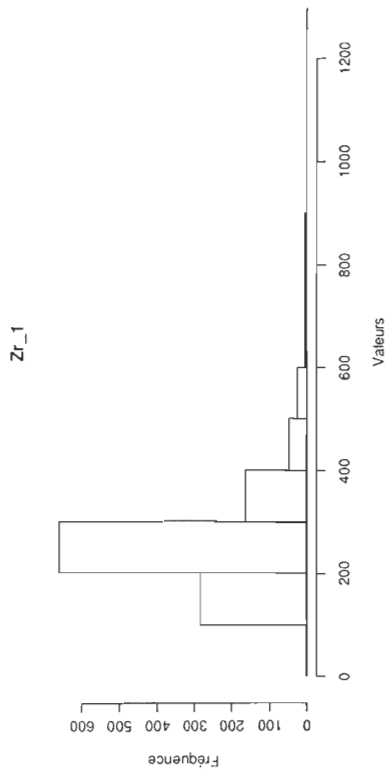


Tableau 64BC-2 : Tests de normalité pour les données XRF de la carotte 64BC

64BC	Méthode	Indice	valeur P	64BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Al 1	Al 1	Al 1	element	Ga 1	Ga 1	Ga 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.70881372	2.26E-41	W	Shapiro-Wilk normality test	0.84357312	8.34E-33
X-squared	Jarque Bera Test	700.32318	0	X-squared	Jarque Bera Test	3363.85807	0
LM	Jarque Bera Test	700.323	0	LM	Jarque Bera Test	3363.858	0
ALM	Jarque Bera Test	706.865	0	ALM	Jarque Bera Test	3403.59	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	320.861442	0	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	543.850548	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.9377613	0	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	19.0761485	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.17613643	2.22E-16	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	13.4145856	0
A	Anderson - Darling Normality Test	149.813498	2.58E-190	A	Anderson - Darling Normality Test	30.9006084	4.19E-69
D	Lilliefors Test	0.3785212	0	D	Lilliefors Test	0.13377721	8.83E-59
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	16236.7227	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	976.081599	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	16236.7227	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	976.081599	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.70847919	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.84284048	0
element	Si 1	Si 1	Si 1	element	As 1	As 1	As 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.98396872	3.04E-10	W	Shapiro-Wilk normality test	0.90175505	4.52E-27
X-squared	Jarque Bera Test	3.07653916	0.21475239	X-squared	Jarque Bera Test	553.049901	0
LM	Jarque Bera Test	3.077	0.215	LM	Jarque Bera Test	553.05	0
ALM	Jarque Bera Test	3.036	0.215	ALM	Jarque Bera Test	559.035	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	3.02427292	0.22043852	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	255.418668	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.52599267	0.12701169	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	13.6384954	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-0.83403794	0.4042596	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.331273	0
A	Anderson - Darling Normality Test	2.89418688	2.81E-07	A	Anderson - Darling Normality Test	22.5675918	4.92E-52
D	Lilliefors Test	0.05153837	6.21E-08	D	Lilliefors Test	0.13181486	5.28E-57
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	673.117402	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1738.38801	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	673.117402	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1738.38801	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.98422304	2.45E-09	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.90174695	0
element	P 1	P 1	P 1	element	Se 1	Se 1	Se 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.85125793	3.72E-32	W	Shapiro-Wilk normality test	0.90568079	1.35E-26
X-squared	Jarque Bera Test	114.413254	0	X-squared	Jarque Bera Test	626.527245	0
LM	Jarque Bera Test	114.413	0	LM	Jarque Bera Test	626.527	0
ALM	Jarque Bera Test	114.919	0	ALM	Jarque Bera Test	633.281	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	93.2993449	0	Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	275.245037	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.59992184	0	Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.1589446	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-1.06810368	0.28547374	Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.64692569	0
A	Anderson - Darling Normality Test	65.651428	3.51E-128	A	Anderson - Darling Normality Test	20.144544	7.36E-47
D	Lilliefors Test	0.26703797	6.74E-244	D	Lilliefors Test	0.12087107	1.34E-47
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	8134.55787	0	Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	955.448793	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	8134.55787	0	Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	955.448793	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.85180273	0	W	Shapiro-Francia Normality Test	0.90564305	0

64BC	Méthode	Indice	valeur P
element	S 1	S 1	S 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.94995995	8.75E-20
X-squared	Jarque Bera Test	25.1945827	3.38E-06
LM	Jarque Bera Test	25.195	0
ALM	Jarque Bera Test	25.209	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	25.494391	2.91E-06
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	4.51599652	6.30E-06
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-2.25835481	0.02392355
A	Anderson - Darling Normality Test	14.6229801	1.03E-34
D	Lilliefors Test	0.12903323	1.56E-54
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2342.91757	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	2342.91757	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.95054067	0
element	Cl 1	Cl 1	Cl 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99550141	0.00127246
X-squared	Jarque Bera Test	8.50864473	0.01420271
LM	Jarque Bera Test	8.509	0.014
ALM	Jarque Bera Test	8.612	0.014
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.57138989	0.01376405
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-2.80458805	0.00503809
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.8400451	0.4008831
A	Anderson - Darling Normality Test	2.07515766	2.81E-05
D	Lilliefors Test	0.04796426	8.06E-07
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	104.258118	1.39E-09
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	104.258118	4.65E-09
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99564598	0.00208558
element	Ar 1	Ar 1	Ar 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99341368	3.61E-05
X-squared	Jarque Bera Test	1.83398427	0.39971954
LM	Jarque Bera Test	1.834	0.4
ALM	Jarque Bera Test	1.948	0.4
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.86574554	0.39342188
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.4441701	0.65691961
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.29168822	0.19646514
A	Anderson - Darling Normality Test	2.06754224	2.93E-05
D	Lilliefors Test	0.05058889	1.25E-07
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	548.621149	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	548.621149	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99364591	9.14E-05

64BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Br 1	Br 1	Br 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.95489699	9.03E-19
X-squared	Jarque Bera Test	83.5418214	0
LM	Jarque Bera Test	83.542	0
ALM	Jarque Bera Test	84.072	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	71.8448558	2.22E-16
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	8.36733581	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.35371608	0.17582698
A	Anderson - Darling Normality Test	9.8504446	8.10E-24
D	Lilliefors Test	0.08744185	3.51E-24
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	642.401332	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	642.401332	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.95521022	1.11E-16
element	Rb 1	Rb 1	Rb 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99488119	0.00041865
X-squared	Jarque Bera Test	12.9061945	0.00157563
LM	Jarque Bera Test	12.906	0.002
ALM	Jarque Bera Test	12.903	0.002
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	12.7207836	0.00172869
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	3.39350772	0.00069004
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-1.09767436	0.27234671
A	Anderson - Darling Normality Test	1.29068519	0.00236161
D	Lilliefors Test	0.03175563	0.00638886
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	81.468776	3.41E-06
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	81.468776	9.01E-06
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99510654	0.00085694
element	Sr 1	Sr 1	Sr 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99391385	8.10E-05
X-squared	Jarque Bera Test	16.3218611	0.0002856
LM	Jarque Bera Test	16.322	0
ALM	Jarque Bera Test	16.328	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	16.0492893	0.0003273
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	3.80436441	0.00014217
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-1.25542849	0.20932325
A	Anderson - Darling Normality Test	1.85605754	9.66E-05
D	Lilliefors Test	0.02845413	0.02340247
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	49.9367194	0.02260796
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	49.9367194	0.03823943
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99421502	0.00021259

64BC	Méthode	Indice	valeur P
element	K 1	K 1	K 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99503948	0.00055354
X-squared	Jarque Bera Test	9.93081053	0.00697512
LM	Jarque Bera Test	9.931	0.007
ALM	Jarque Bera Test	10.16	0.007
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.4070504	0.00906327
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-2.39384763	0.01667267
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.91743159	0.05518312
A	Anderson - Darling Normality Test	1.43703564	0.00103122
D	Lilliefors Test	0.03072062	0.00978535
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	49.4121565	0.02537688
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	49.4121565	0.0425373
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9950139	0.00073817
element	Ca 1	Ca 1	Ca 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99366531	5.40E-05
X-squared	Jarque Bera Test	8.1800094	0.01673915
LM	Jarque Bera Test	8.18	0.017
ALM	Jarque Bera Test	8.399	0.017
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	7.68823161	0.02140532
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-2.01162319	0.04425967
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.90829866	0.05635263
A	Anderson - Darling Normality Test	1.91709669	6.84E-05
D	Lilliefors Test	0.03851665	0.00025551
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	69.8118235	0.00012516
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	69.8118235	0.00028597
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99362988	8.93E-05
element	Ti 1	Ti 1	Ti 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.8684851	1.34E-30
X-squared	Jarque Bera Test	3335.94584	0
LM	Jarque Bera Test	3335.946	0
ALM	Jarque Bera Test	3375.838	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	527.86341	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	18.6298742	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	13.4458617	0
A	Anderson - Darling Normality Test	32.4878459	3.15E-72
D	Lilliefors Test	0.11912598	3.52E-46
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	284.882598	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	284.882598	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.86728703	0

64BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Y 1	Y 1	Y 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.92478545	4.85E-24
X-squared	Jarque Bera Test	108.828205	0
LM	Jarque Bera Test	108.828	0
ALM	Jarque Bera Test	109.369	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	89.1684946	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.44284654	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	0.03382164	0.97301938
A	Anderson - Darling Normality Test	22.1846123	3.19E-51
D	Lilliefors Test	0.12311979	1.84E-49
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1624.20816	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	1624.20816	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.92541628	0
element	Zr 1	Zr 1	Zr 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.74244264	1.34E-39
X-squared	Jarque Bera Test	15862.327	0
LM	Jarque Bera Test	15862.327	0
ALM	Jarque Bera Test	16054.585	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	871.453918	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	24.198555	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	16.9081002	0
A	Anderson - Darling Normality Test	68.5384101	3.28E-132
D	Lilliefors Test	0.17204032	6.24E-99
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	553.214821	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	553.214821	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.74084432	0
element	Ta 1	Ta 1	Ta 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.94401977	6.53E-21
X-squared	Jarque Bera Test	1241.2957	0
LM	Jarque Bera Test	1241.296	0
ALM	Jarque Bera Test	1257.026	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	308.452745	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	13.5146593	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	11.2163598	0
A	Anderson - Darling Normality Test	8.60093522	6.63E-21
D	Lilliefors Test	0.06846965	1.91E-14
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	168.546211	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	168.546211	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.94291326	0

64BC	Méthode	Indice	valeur P
element	V 1	V 1	V 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.77092029	6.09E-38
X-squared	Jarque Bera Test	509.07221	0
LM	Jarque Bera Test	509.072	0
ALM	Jarque Bera Test	513.5	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	271.924115	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	14.9781232	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	6.89782145	5.28E-12
A	Anderson - Darling Normality Test	104.840174	2.28E-171
D	Lilliefors Test	0.31259924	0
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	11730.0283	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	11730.0283	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.77094011	0
element	Mn 1	Mn 1	Mn 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.8807476	2.17E-29
X-squared	Jarque Bera Test	3106.35573	0
LM	Jarque Bera Test	3106.356	0
ALM	Jarque Bera Test	3143.753	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	505.496523	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	18.1260337	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	13.3020083	0
A	Anderson - Darling Normality Test	20.4552683	1.58E-47
D	Lilliefors Test	0.09005574	1.01E-25
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	164.932556	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	164.932556	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.88006695	0
element	Fe 1	Fe 1	Fe 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99444869	0.00019816
X-squared	Jarque Bera Test	10.9990985	0.00408861
LM	Jarque Bera Test	10.999	0.004
ALM	Jarque Bera Test	11.195	0.004
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	10.7702308	0.00458431
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.86114154	0.00422119
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	1.60751358	0.10794175
A	Anderson - Darling Normality Test	1.52765413	0.0006176
D	Lilliefors Test	0.0310926	0.0084123
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	47.1973356	0.0407079
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	47.1973356	0.06564288
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99451503	0.00033639

64BC	Méthode	Indice	valeur P
element	W 1	W 1	W 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.75785957	1.01E-38
X-squared	Jarque Bera Test	21665.56	0
LM	Jarque Bera Test	21665.56	0
ALM	Jarque Bera Test	21931.264	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	911.235014	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	24.563015	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	17.5468888	0
A	Anderson - Darling Normality Test	55.8686603	1.59E-113
D	Lilliefors Test	0.14920526	1.04E-73
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	389.434638	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	389.434638	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.75571957	0
element	inc 1	inc 1	inc 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99573085	0.00194253
X-squared	Jarque Bera Test	5.5723248	0.06165738
LM	Jarque Bera Test	5.572	0.062
ALM	Jarque Bera Test	5.546	0.062
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	5.50384376	0.06380512
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-2.202346	0.02764088
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	-0.80840329	0.41885846
A	Anderson - Darling Normality Test	0.75934771	0.04815204
D	Lilliefors Test	0.02103504	0.2220221
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	40.8442964	0.13584296
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	40.8442964	0.19496874
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.9959083	0.00325614
element	coh 1	coh 1	coh 1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.99508731	0.00060264
X-squared	Jarque Bera Test	16.6602865	0.00024114
LM	Jarque Bera Test	16.66	0
ALM	Jarque Bera Test	16.973	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	15.3651811	0.00046078
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	-3.19087734	0.00141841
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	2.27672635	0.02280257
A	Anderson - Darling Normality Test	0.81165042	0.03577004
D	Lilliefors Test	0.02135875	0.203544
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	49.1790175	0.0267024
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	49.1790175	0.04457922
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.99502118	0.00074685

64BC	Méthode	Indice	valeur P
element	Zn_1	Zn_1	Zn_1
W	Shapiro-Wilk normality test	0.91719271	4.14E-25
X-squared	Jarque Bera Test	722.135046	0
LM	Jarque Bera Test	722.135	0
ALM	Jarque Bera Test	730.552	0
Chi2   Omnibus	D'Agostino Omnibus Normality Test	275.286474	0
Z3   Skewness	D'Agostino Omnibus Normality Test	13.666626	0
Z4   Kurtosis	D'Agostino Omnibus Normality Test	9.40796511	0
A	Anderson - Darling Normality Test	14.8533843	3.13E-35
D	Lilliefors Test	0.10833579	7.00E-38
Adhusted	Pearson Chi-Square Normality Test	955.157369	0
Not adjusted	Pearson Chi-Square Normality Test	955.157369	0
W	Shapiro-Francia Normality Test	0.91691108	0

Tableau 64BC-3 : Corrélations de Spearman pour les données XRF de la carotte 64BC

Spearman ranked correlation (QRMLib) using R 2.6.2

bc64	Age	y	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Ga	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Ta	W	inc	coh
n=600	1	0.166	0.027	-0.013	-0.150	0.026	0.242	0.215	0.314	0.189	0.232	0.016	0.092	0.006	0.030	-0.193	0.086	0.127	0.032	0.131	-0.094	-0.018	-0.317	-0.100	
Si_1	0.166	1	0.309	0.338	0.346	0.048	0.535	0.525	0.401	0.239	0.448	0.114	0.159	0.120	0.109	0.141	0.211	0.316	0.008	0.112	0.213	0.307	0.358	0.374	
P_1	0.027	0.309	1	0.440	0.322	0.281	0.236	0.148	0.136	0.035	0.218	0.047	0.065	0.026	0.016	0.051	0.088	0.103	-0.071	0.046	0.044	0.062	0.112	0.098	
S_1	-0.013	0.338	0.440	1	0.352	0.345	0.218	0.187	0.119	0.008	0.233	0.016	0.025	0.011	0.075	0.082	0.093	0.099	-0.067	0.033	0.088	0.096	0.169	0.149	
Cl_1	-0.150	0.346	0.322	0.352	1	-0.017	0.483	0.425	0.349	0.206	0.414	0.152	0.170	0.167	0.107	0.156	0.275	0.461	-0.166	0.098	0.324	0.433	0.578	0.520	
Ar_1	0.026	0.048	0.281	0.345	-0.017	1	-0.148	-0.207	-0.141	-0.199	-0.106	-0.112	-0.118	-0.070	-0.043	-0.092	-0.135	-0.232	-0.051	-0.090	-0.109	-0.186	-0.264	-0.265	
K_1	0.242	0.535	0.236	0.218	0.483	-0.148	1	0.685	0.620	0.401	0.611	0.163	0.210	0.144	0.106	0.123	0.342	0.494	-0.089	0.167	0.306	0.446	0.524	0.562	
Ca_1	0.215	0.525	0.148	0.187	0.425	-0.207	0.685	1	0.705	0.556	0.721	0.272	0.201	0.213	0.140	0.225	0.247	0.461	-0.039	0.161	0.353	0.445	0.563	0.560	
Ti_1	0.314	0.401	0.136	0.119	0.349	-0.141	0.620	0.705	1	0.536	0.690	0.261	0.146	0.165	0.078	0.133	0.236	0.336	-0.050	0.166	0.292	0.363	0.422	0.433	
Mn_1	0.189	0.239	0.035	0.008	0.206	-0.199	0.401	0.556	0.536	1	0.618	0.294	0.131	0.119	0.146	0.129	0.156	0.208	-0.047	0.132	0.239	0.280	0.313	0.303	
Fe_1	0.232	0.448	0.218	0.233	0.414	-0.106	0.611	0.721	0.690	0.618	1	0.315	0.148	0.155	0.121	0.180	0.258	0.286	-0.074	0.161	0.266	0.362	0.397	0.407	
Zn_1	0.016	0.114	0.047	0.016	0.152	-0.112	0.163	0.272	0.261	0.294	0.315	1	0.118	0.086	0.070	0.108	0.094	0.126	-0.017	0.068	0.218	0.194	0.203	0.168	
Ga_1	0.092	0.159	0.065	0.025	0.170	-0.118	0.210	0.201	0.146	0.131	0.148	0.118	1	0.050	0.046	0.054	0.148	0.204	-0.009	0.127	-0.057	0.207	0.182	0.194	
As_1	0.006	0.120	0.026	0.011	0.167	-0.070	0.144	0.213	0.165	0.119	0.155	0.086	0.050	1	0.061	0.085	0.131	0.181	-0.013	0.031	0.151	0.211	0.177	0.196	
Se_1	0.030	0.109	0.016	0.075	0.107	-0.043	0.106	0.140	0.078	0.146	0.121	0.070	0.046	0.061	1	0.082	0.069	0.076	0.027	0.104	0.133	0.107	0.131	0.088	
Br_1	-0.193	0.141	0.051	0.082	0.156	-0.092	0.123	0.225	0.133	0.129	0.180	0.108	0.054	0.085	0.082	1	0.059	0.078	0.080	0.069	0.122	0.112	0.277	0.177	
Rb_1	0.086	0.211	0.088	0.093	0.275	-0.135	0.342	0.247	0.236	0.156	0.258	0.094	0.148	0.131	0.069	0.059	1	0.335	-0.079	0.131	0.140	0.270	0.339	0.354	
Sr_1	0.127	0.316	0.103	0.099	0.461	-0.232	0.494	0.461	0.336	0.208	0.286	0.126	0.204	0.181	0.076	0.078	0.335	1	-0.053	0.103	0.249	0.404	0.501	0.569	
Y_1	0.032	0.008	-0.071	-0.067	-0.166	-0.051	-0.089	-0.039	-0.050	-0.047	-0.074	-0.017	-0.009	-0.013	0.027	0.080	-0.079	-0.053	1	0.079	-0.035	-0.050	-0.002	0.034	
Zr_1	0.131	0.112	0.046	0.033	0.098	-0.090	0.167	0.161	0.166	0.132	0.161	0.068	0.127	0.031	0.104	0.069	0.131	0.103	0.079	1	0.122	0.161	0.174	0.191	
Ta_1	-0.094	0.213	0.044	0.088	0.324	-0.109	0.306	0.353	0.292	0.239	0.266	0.218	-0.057	0.151	0.133	0.122	0.140	0.249	-0.035	0.122	1	0.309	0.430	0.360	
W_1	-0.018	0.307	0.062	0.096	0.433	-0.186	0.446	0.445	0.363	0.280	0.362	0.194	0.207	0.211	0.107	0.112	0.270	0.404	-0.050	0.161	0.309	1	0.510	0.462	
inc_1	-0.317	0.358	0.112	0.169	0.578	-0.264	0.524	0.563	0.422	0.313	0.397	0.203	0.182	0.177	0.131	0.277	0.339	0.501	-0.002	0.174	0.430	0.510	1	0.821	
coh_1	-0.100	0.374	0.098	0.149	0.520	-0.265	0.562	0.560	0.433	0.303	0.407	0.168	0.194	0.196	0.088	0.177	0.354	0.569	0.034	0.191	0.360	0.462	0.821	1	



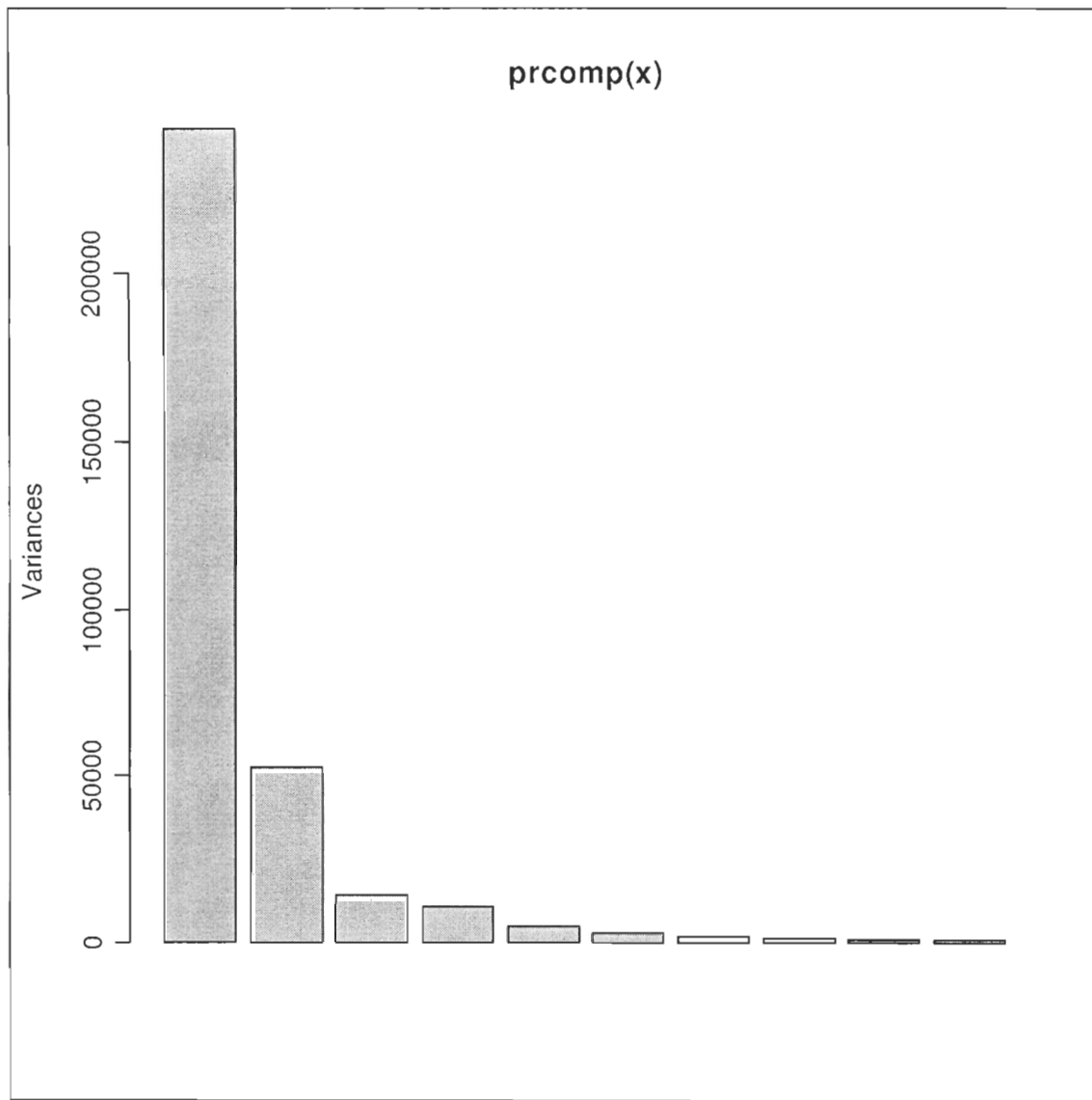


Figure 64BC-9 : Variance des 10 premières composantes principales des données XRF pour la carotte 64BC

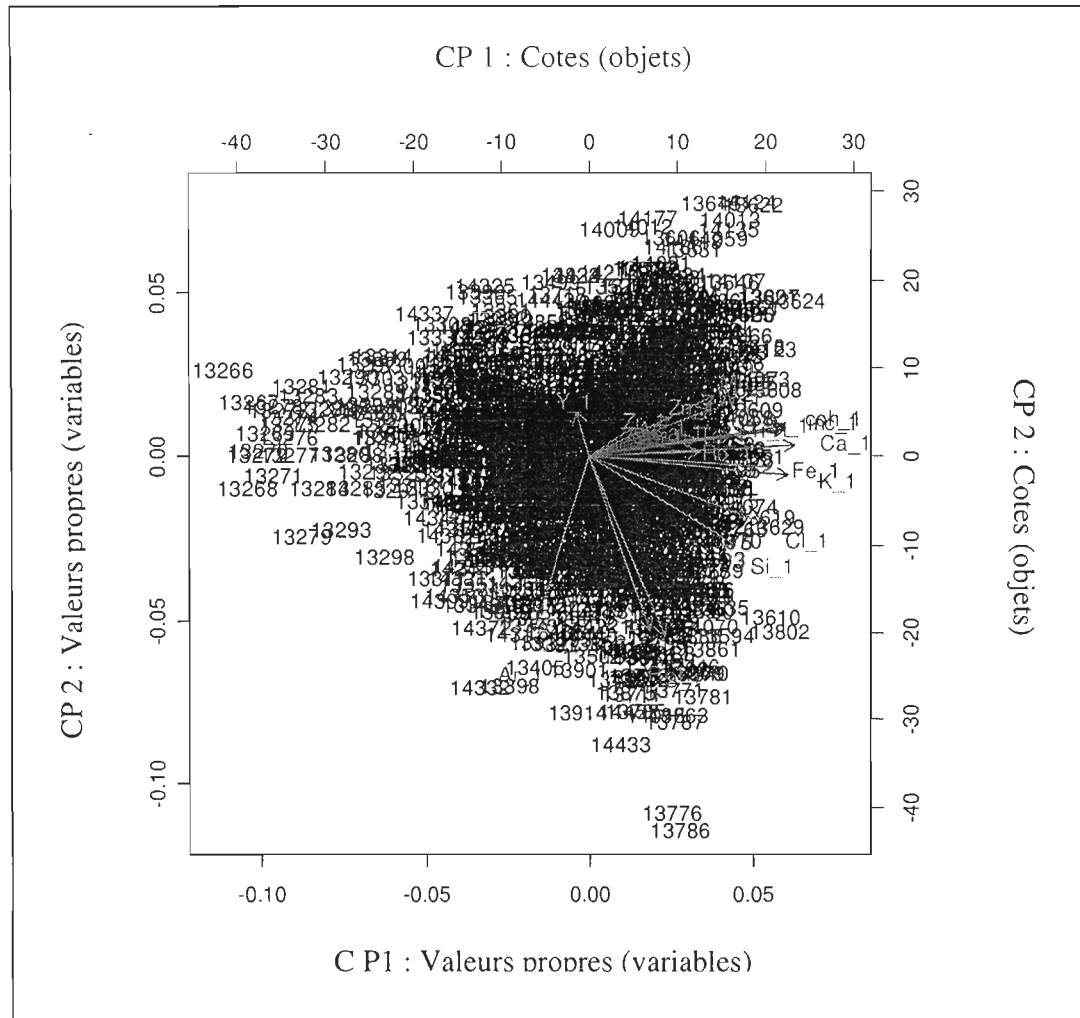


Figure 64BC-10 : Cotes (*scores*) et valeurs propres (*eigenvalues*) des deux premières composantes principales de l'ACP sur les données XRF pour la carotte 64BC

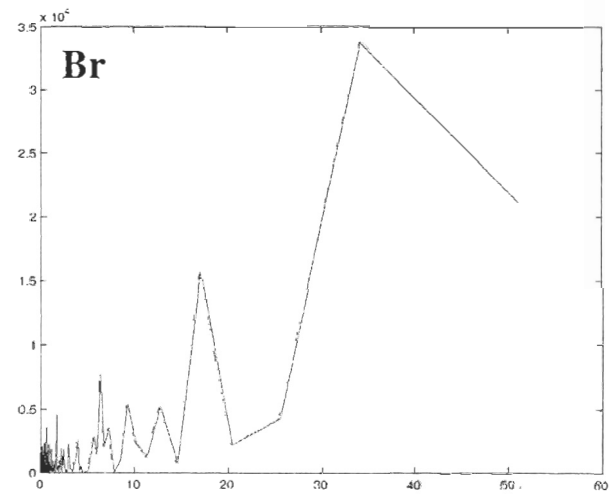
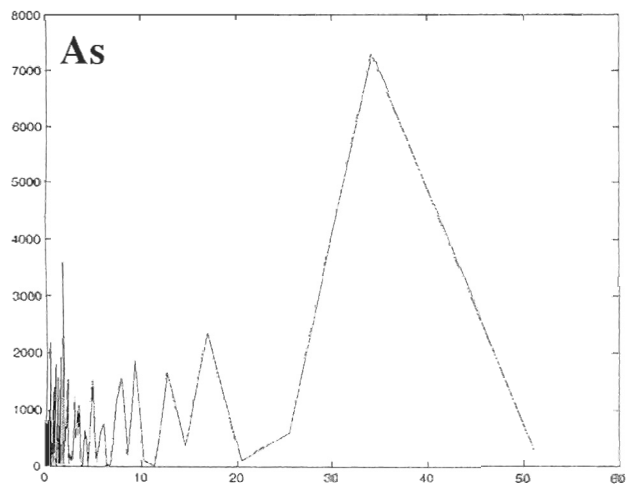
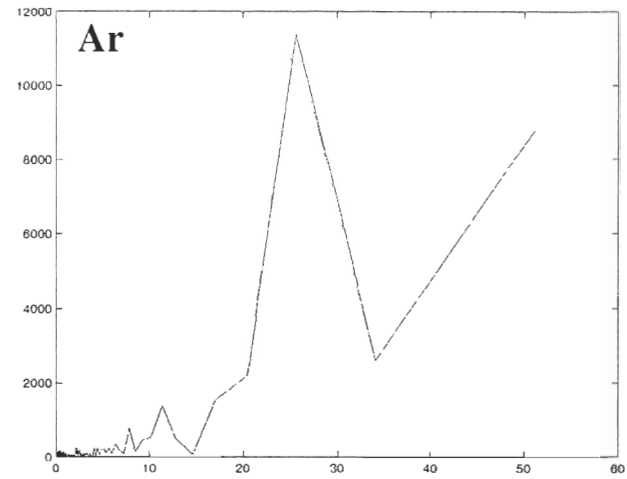
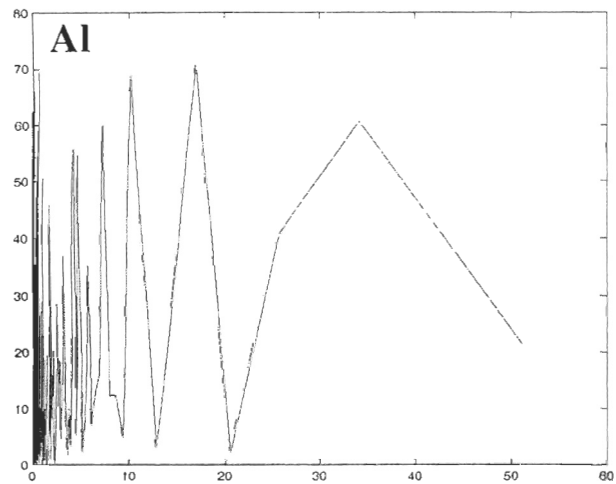
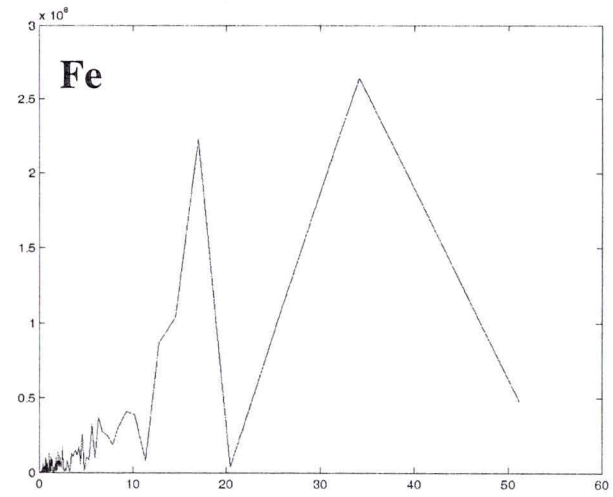
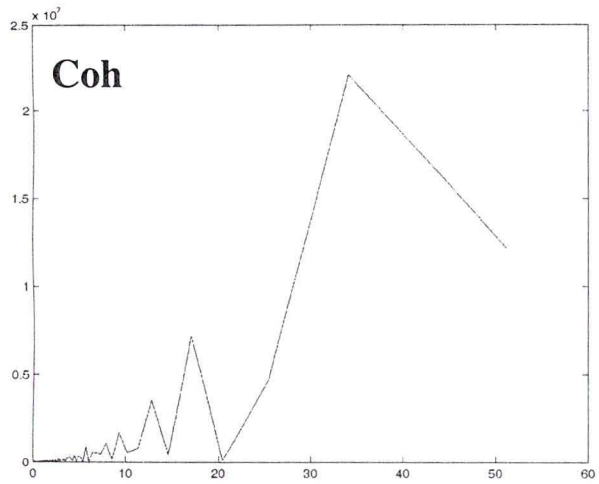
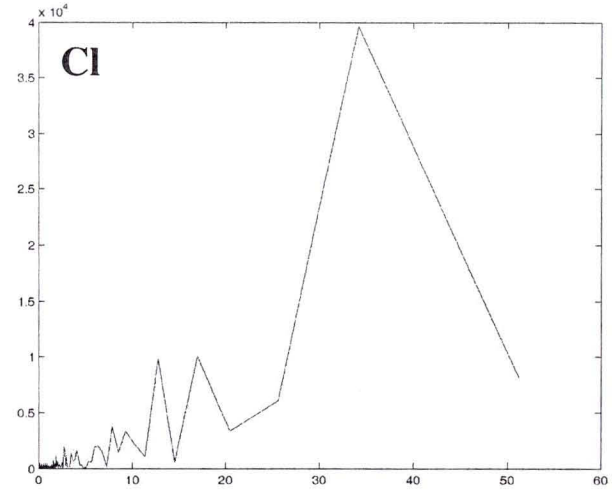
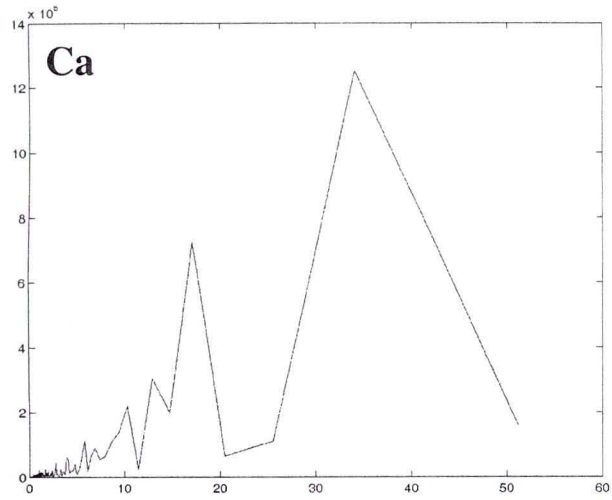
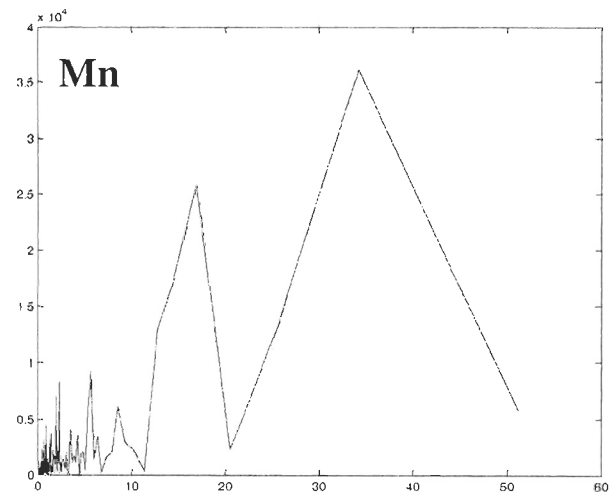
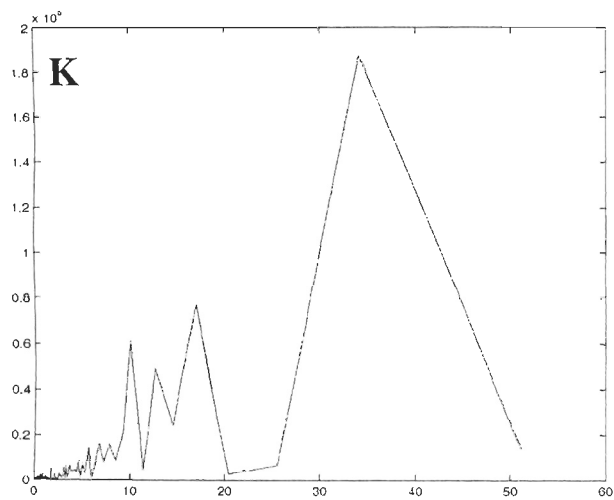
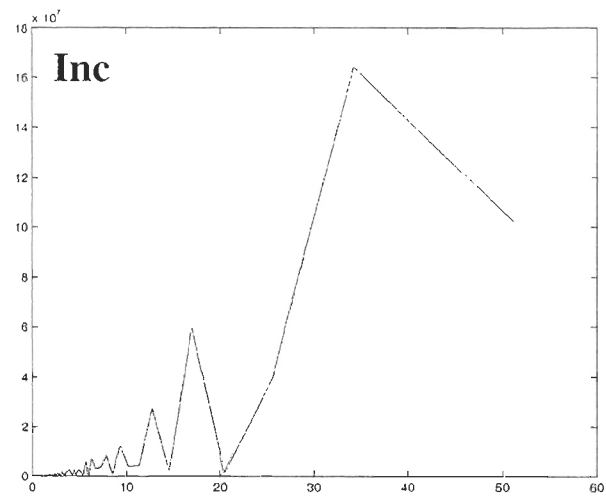
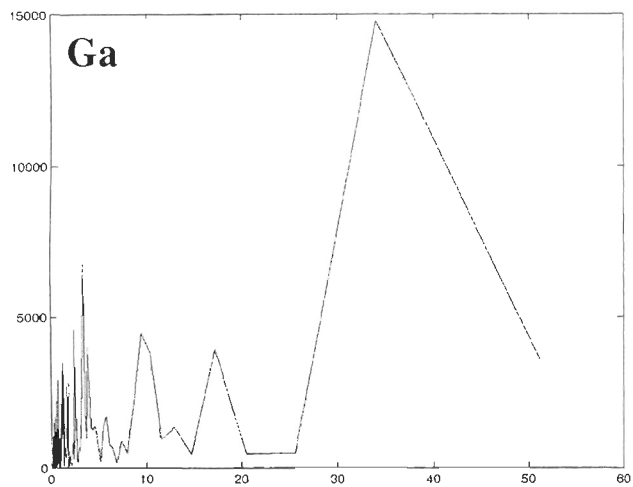
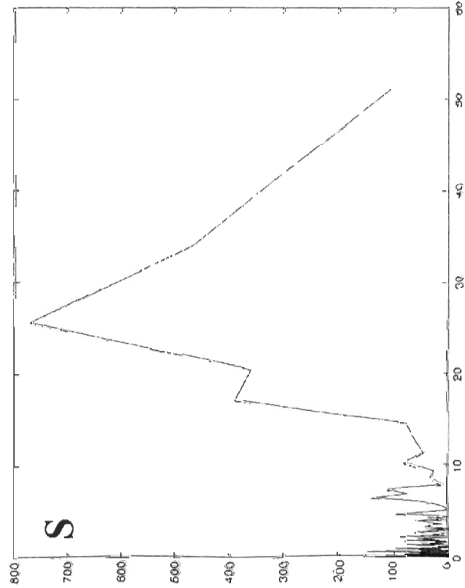
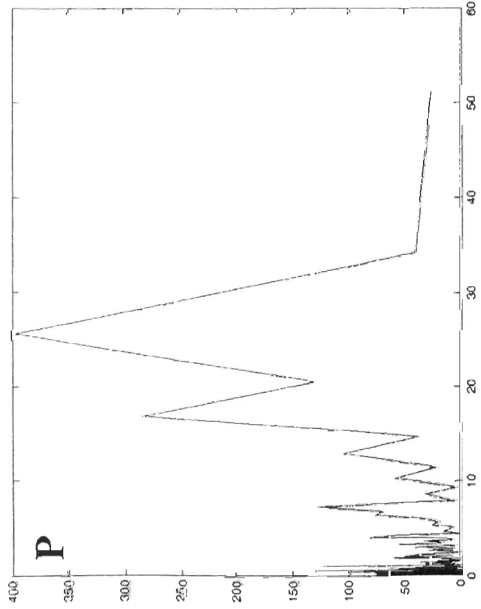
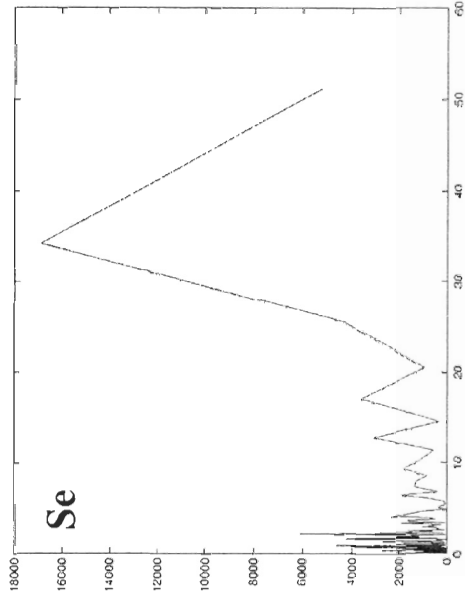
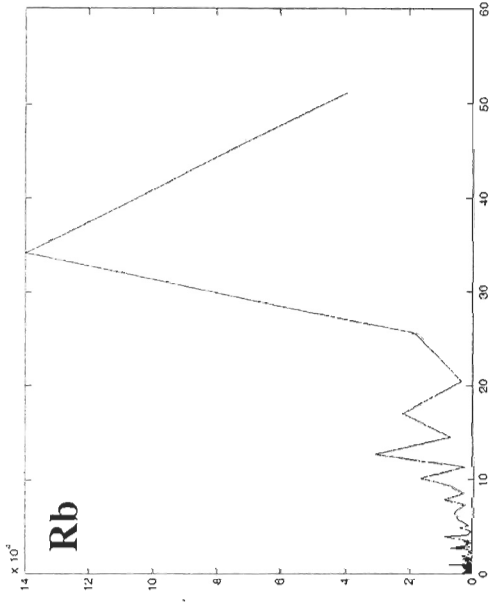
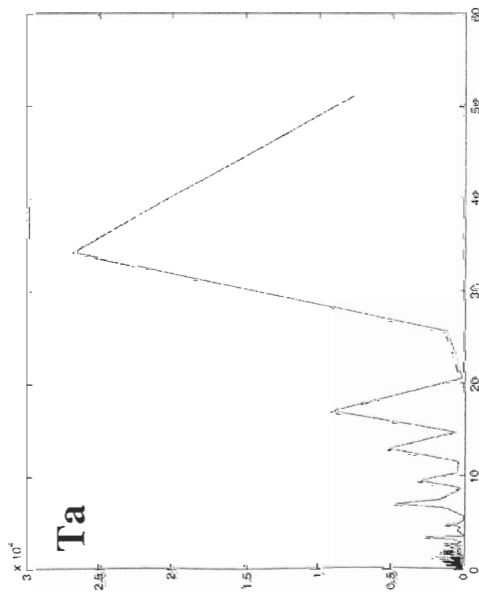
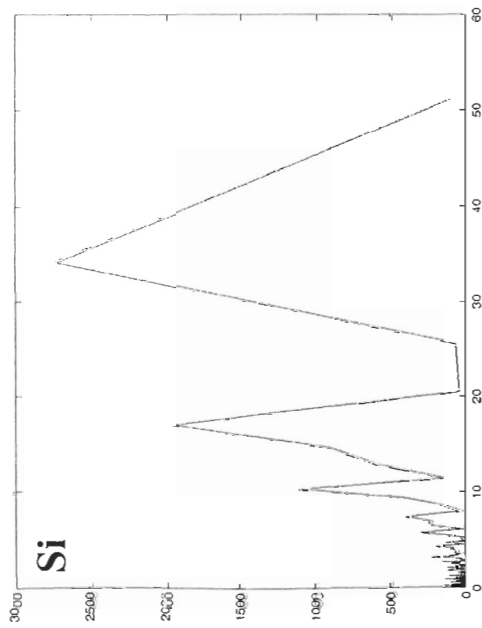
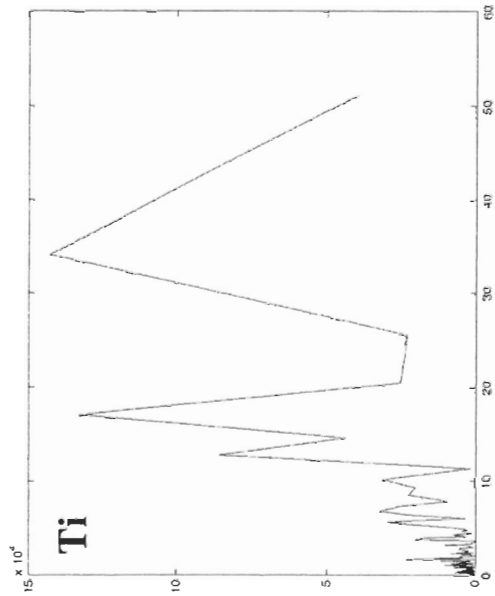
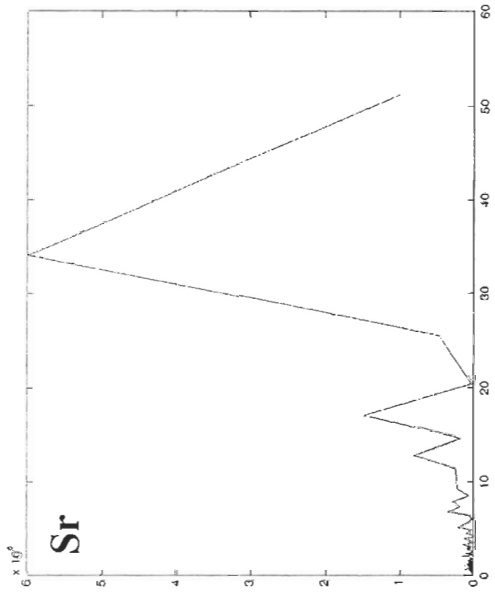


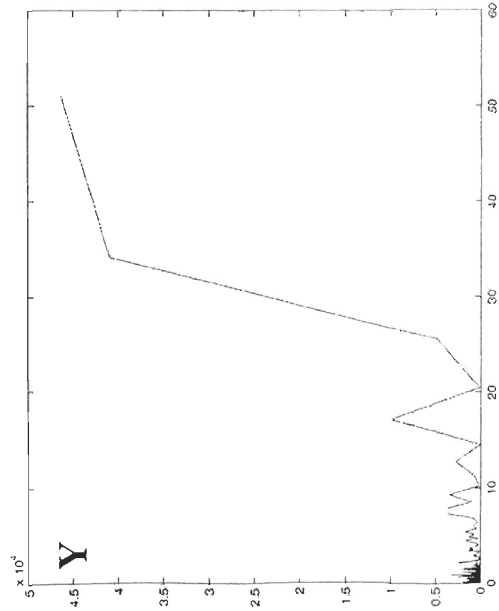
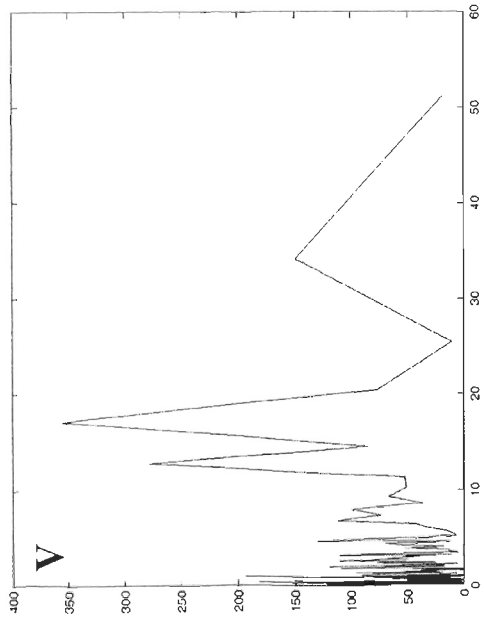
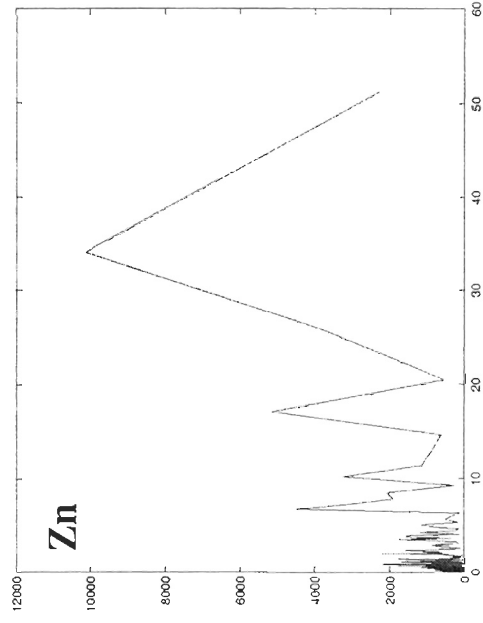
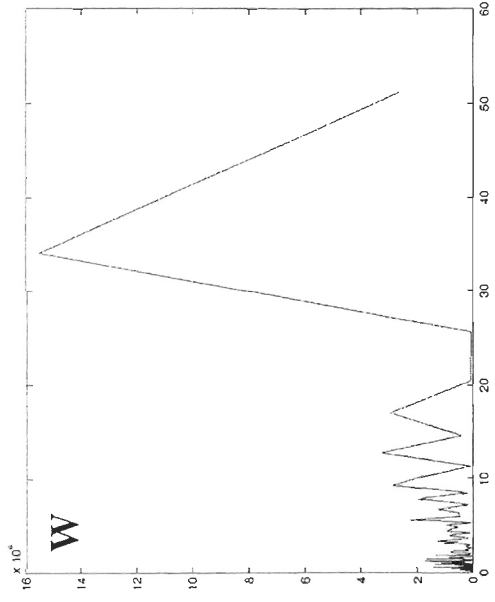
Figure 64BC-11 : Transformées rapides de Fourier (FFT) pour les données XRF normalisées de la carotte 63BC



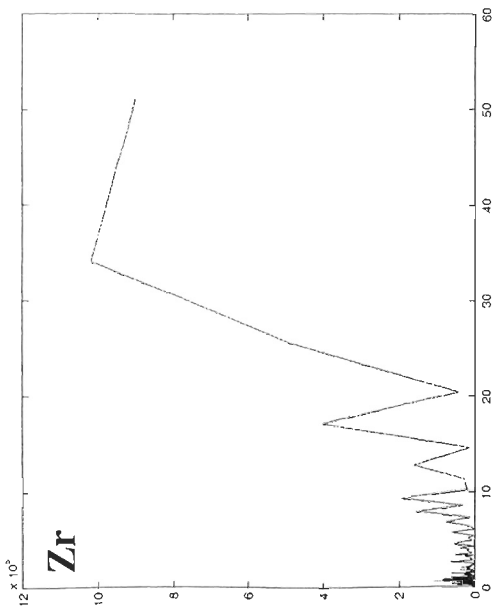












## 2. Résultats, multi-carottes

### 2.1 Géochimie des carottes 56BC et 63BC

La différence de contenu en  $C_{org}$  entre les deux carottes ( $0.38 \pm 0.09$  % pour 56BC,  $0.50 \pm 0.11$  % pour 63BC) est supérieure à la différence en  $N_{tot}$  ( $0.05 \pm 0.01$  pour 56BC,  $0.07 \pm 0.01$  pour 63BC) (figure A5-1, tableau A5-1). En conséquence, le signal  $C_{org}/N_{tot}$  est dominé par le carbone organique et indique un mélange de matière organique principalement marine, mais avec une faible composante terrigène (Meyers, 1994). Cette composante semble plus importante dans la 56BC ( $9.9 \pm 1.01$  vs  $7.82 \pm 0.63$ ). Le contenu en  $CaCO_3$  est très faible et légèrement inférieur dans la carotte 56BC ( $0.13 \pm 0.06$  %) comparé à la 63BC ( $0.35 \pm 0.16$  %). De plus, le  $\delta^{13}C$  de la matière organique est légèrement plus élevé dans la carotte 63BC ( $-23.03 \pm 0.23$  ‰) que dans la carotte 56BC ( $-23.69 \pm 0.45$  ‰), ce qui indique une proportion de MO marine légèrement plus importante dans cette carotte (Meyers, 1994). Ainsi, les analyses géochimiques révèlent que la carotte 56BC a un contenu en carbone organique inférieur et légèrement plus terrestre que la carotte 63BC.

Tableau A6-1 : Moyennes et écart-types des paramètres géochimiques pour les carottes 56BC et 63BC

	Carotte			
	56BC		63BC	
(n)	(35)		(36)	
	Moyenne	écart-type	Moyenne	écart-type
<b>Corg</b>	<b>0.38</b>	<b>0.09</b>	<b>0.50</b>	<b>0.11</b>
<b>Ntot</b>	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	<b>0.07</b>	<b>0.01</b>
<b>CaCO3</b>	<b>0.13</b>	<b>0.06</b>	<b>0.35</b>	<b>0.16</b>
<b>Corg/Ntot</b>	<b>9.90</b>	<b>1.01</b>	<b>7.82</b>	<b>0.63</b>
<b>d13C</b>	<b>-23.69</b>	<b>0.45</b>	<b>-23.03</b>	<b>0.23</b>

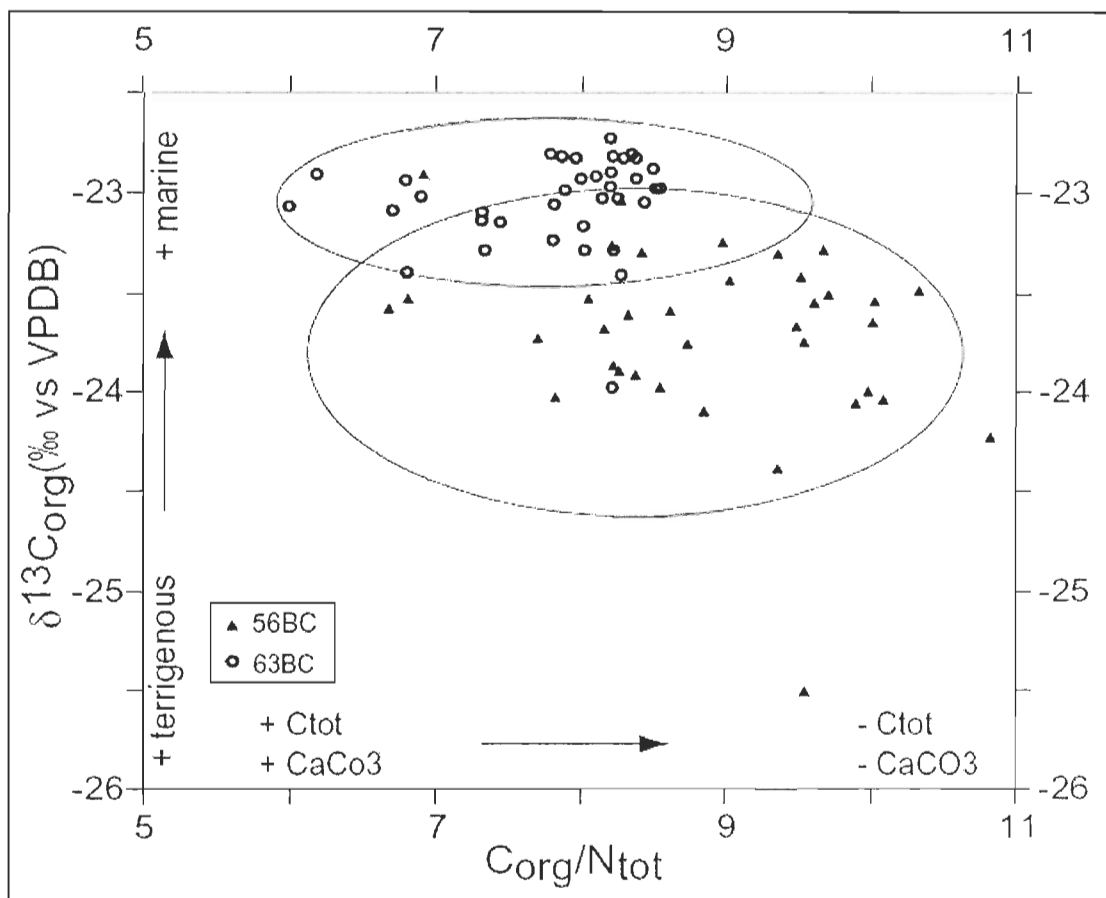


Figure A6-1 :  $\delta^{13}\text{C}$  de la MO vs le ratio  $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{tot}}$  pour les carottes 56BC (triangles noirs) et 63BC (points noirs)

La dispersion des points permet de distinguer l'origine légèrement plus terrestre de la MO dans la carotte 56BC, alors qu'un signal marin légèrement plus important caractérise la carotte 63BC.

## 2.2 Multinormalité

Dans la foulée de la recherche de normalisation, la multinormalité des données XRF a été testée (tableau 7) à l'aide de l'asymétrie et du kurtose de Mardia et n'a été rencontrée pour aucune des carottes, ce qui indique la complexité des distributions et probablement l'effet de l'auto-corrélation temporelle.

Tableau A6-2 : Résultats des tests de multinormalité sur les données XRF

<b>Carottes</b>	<b>skewness</b>	<b>p</b>	<b>kurtosis</b>	<b>p</b>	<b>n</b>
56BC	103.846	0	795.993	0	2500
58BC	362.733	0	1119.358	0	3273
62BC	71.282	0	755.973	0	4141
63BC	135.888	0	855.399	0	3351
64BC	81.391	0	687.987	0	1201

### 3. Une méthodologie pas à pas

La création d'une méthodologie appropriée était préalable à des interprétations avec les bases de données historiques. Ce n'est qu'au cours du processus d'analyse que des choix ont pu être faits et ils constituent en quelque sorte des résultats méthodologiques, à propos du choix d'un traceur de la taille des grains, d'une analyse statistique multivariable sur les données XRF et du choix d'une carotte de référence pour le contexte de variabilité naturelle.

#### 3.1 Le choix du d50 de la taille des grains

Plusieurs traceurs ont été sélectionnés pour illustrer les carottes (figures XXBC-1 à 5, avec XX étant 56, 58, 62, 63 ou 64), en retirant ceux qui étaient redondants (densité et porosité, deux appareils qui ont mesuré la susceptibilité magnétique). Parmi ceux-ci, certains montraient bien le changement d'unité sédimentologique (ex. l\*, a\*, b\*, susceptibilité magnétique), mais la variation intra-unité étaient inférieure à la variation inter-unité. Comme la chronologie était restreinte à l'unité supérieure, les traceurs avec une sensibilité aux variations intra-unité avaient un meilleur potentiel. Par ailleurs, l'étude de la distribution granulométrique permet de caractériser des propriétés sédimentologiques fondamentales, qui contribue à comparer aisément les carottes entre elles, en plus de fournir des informations sur les conditions de sédimentation (diagramme de Hjulström) et

d'être parmi les méthodes traditionnelles de la sédimentologie (e.g., Chamley, 2000). Parmi les paramètres sédimentologiques, le d50 et la moyenne semblaient montrer une bonne sensibilité à l'intérieur de l'unité sommitale dans toutes les carottes. Par contre, le d50 semblait mesurer des variations de plus grande amplitude et c'est donc ce paramètre qui a été choisi.

### 3.2 Le choix d'une analyse en composantes principales sur les données XRF

Les résultats des analyses XRF sont à très haute résolution mais comprennent aussi de nombreuses variables. Le choix des meilleurs éléments était difficile, considérant l'analyse simultanée de plusieurs carottes. La géochimie étant grandement influencée par l'abondance des éléments dans le bassin versant, les critères de sélection sont normalement d'ordre régional (Croudace *et al.*, 2006, Guyard *et al.*, 2007, Thomson *et al.*, 2006). D'abord, deux éléments ont initialement été retirés des matrices (Al, V) puisqu'ils étaient trop près des seuils de détection dans toutes les carottes, basé sur deux critères principaux : 1) l'étendue de la distribution était limitée (seulement 0-60, comparativement à 0-12 000 pour le fer, l'élément le plus abondant) combiné à 2) une très grande proportion de zéros dans leur distribution (seuil : > 50 %). Ensuite, la normalité et la multinormalité ont été étudiées, mais se sont avérées peu concluantes pour discriminer les éléments : seuls quelques éléments isolés avaient une distribution normale et la multinormalité n'a été observée dans aucune carotte. Quelques agencements de corrélations ressortaient dans certaines carottes, mais pas dans l'ensemble, comme K-Ca, inc-coh, P-S, Si-Ti, Fe-Ti. Pour pouvoir comparer les carottes entre-elles, il fallait que les traccurs soient les mêmes dans les cinq carottes, ce qui complexifiait le processus de sélection. Finalement, l'analyse en composantes principales (ACP) a été sélectionnée car il s'agit d'une méthode multivariable

qui se base sur la description de la variation maximale dans une série de variable plutôt que sur la discrimination des variables. Ainsi, les résultats de l'analyse multivariées montrent sensiblement les mêmes résultats dans toutes les carottes : une PC1 dominée par le fer et le calcium, mais qui comporte des influences des autres variables, et qui explique quelque 20% de la variance totale. Cette PC1 est ensuite devenue la série d'entrée pour les analyses spectrales.

### **3.3 Le choix d'une carotte comme série de référence pour le contexte naturel**

D'après des critères d'homogénéité et de longueur temporelle, parmi les carottes 58BC, 62BC, 63BC et 64BC, la 63BC semblait la plus appropriée pour servir de série de référence. En effet, la multiplicité des structures sédimentaires dans la carotte 64BC, une alternance de lentilles de sable et d'argile, et sa très courte étendue (60 ans) ont permis de l'éliminer rapidement. La carotte 62BC avait un bon potentiel du côté de l'homogénéité, mais n'a pas été datée. Les tracés de la carotte 58BC et 63BC montraient aussi un bel enregistrement des variations secondaires (absence de pics majeurs qui masquent les variations à haute résolution), par contre, la carotte 58BC constitue une série de 134 ans, alors que la 63BC retrace les derniers 370 ans, ce qui a mené à sa sélection en guise de contexte naturel de référence, carotte sur laquelle l'analyse spectrale a été réalisée.

## **4. Analyse spectrale en ondelettes : sédimentologie vs données historiques**

L'analyse spectrale en ondelettes a été réalisée sur plusieurs données historiques combinées aux données des carottes 63BC pour la période du 20<sup>e</sup> siècle. Les variables historiques (figure 11, tableau 9) sont la NAO hivernale, le couvert de glace du Saint-Laurent, le niveau d'eau du Saint-Laurent à la station marégraphique de Sept-Îles, le débit quotidien des rivières Moisie et Saint-Marguerite, les précipitations, températures et

accumulations neigeuses à Sept-Îles et Natashquan et les tempêtes enregistrées à la station de Sept-Îles, d'après le nombre d'heure de vent supérieur à 50 km h<sup>-1</sup> (Bernatchez *et al.*, 2008).

Tableau A6-3 : Données historiques utilisées pour l'analyse en ondelettes

	Localisation	Source	Etendue	n	Résolution
<b>NAO hivernale</b>	Atlantique Nord	Cook 2002	1400-2002	370	annuel
<b>% glace</b>	Gofle St-Laurent	MPO	1963-2005	43	annuel
<b>Niveau d'eau du St-L.</b>	Sept-Îles	MPO	1972-2007	42	mensuel
<b>Débit Moisie</b>	Moisie	CEHQ	1965-2006	14479	quotidien
<b>Débit Saint-Marguerite</b>	Saint-Marguerite	CEHQ	1937-1987	180002	quotidien
<b>Précipitations</b>	Natashquan	Env. Can	1915-2002	1025	somme mensuelle
<b>Températures</b>	Natashquan	Env. Can	1915-2005	1095	mensuel
<b>Neige</b>	Natashquan	Env. Can	1914-2002	1037	somme mensuelle
<b>Précipitations</b>	Sept-Îles	Env. Can	1944-2001	748	somme mensuelle
<b>Températures</b>	Sept-Îles	Env. Can	1944-2001	748	mensuel
<b>Neige</b>	Sept-Îles	Env. Can	1944-2001	748	somme mensuelle
<b>Tempêtes<sup>1</sup></b>	Sept-Îles	Env. Can	1953-2005	53	annuel

Malgré la faible résolution de plusieurs jeu de données, l'analyse spectrale sur les données historique montre un cycle entre 10 et 20 ans dans toutes les séries, mais n'est pas statistiquement valable dans toutes. Les rivières Moisie et Sainte-Marguerite et les tempêtes montrent un cycle entre 10 et 14 ans. Un travail statistique supplémentaire pourrait permettre de tirer des conclusions intéressantes de ces données, cependant, l'étendue temporelle limitera toujours la validité statistique des cycles inter-annuels, à moins de remonter à la source et d'obtenir des données quotidiennes pour toutes les séries.

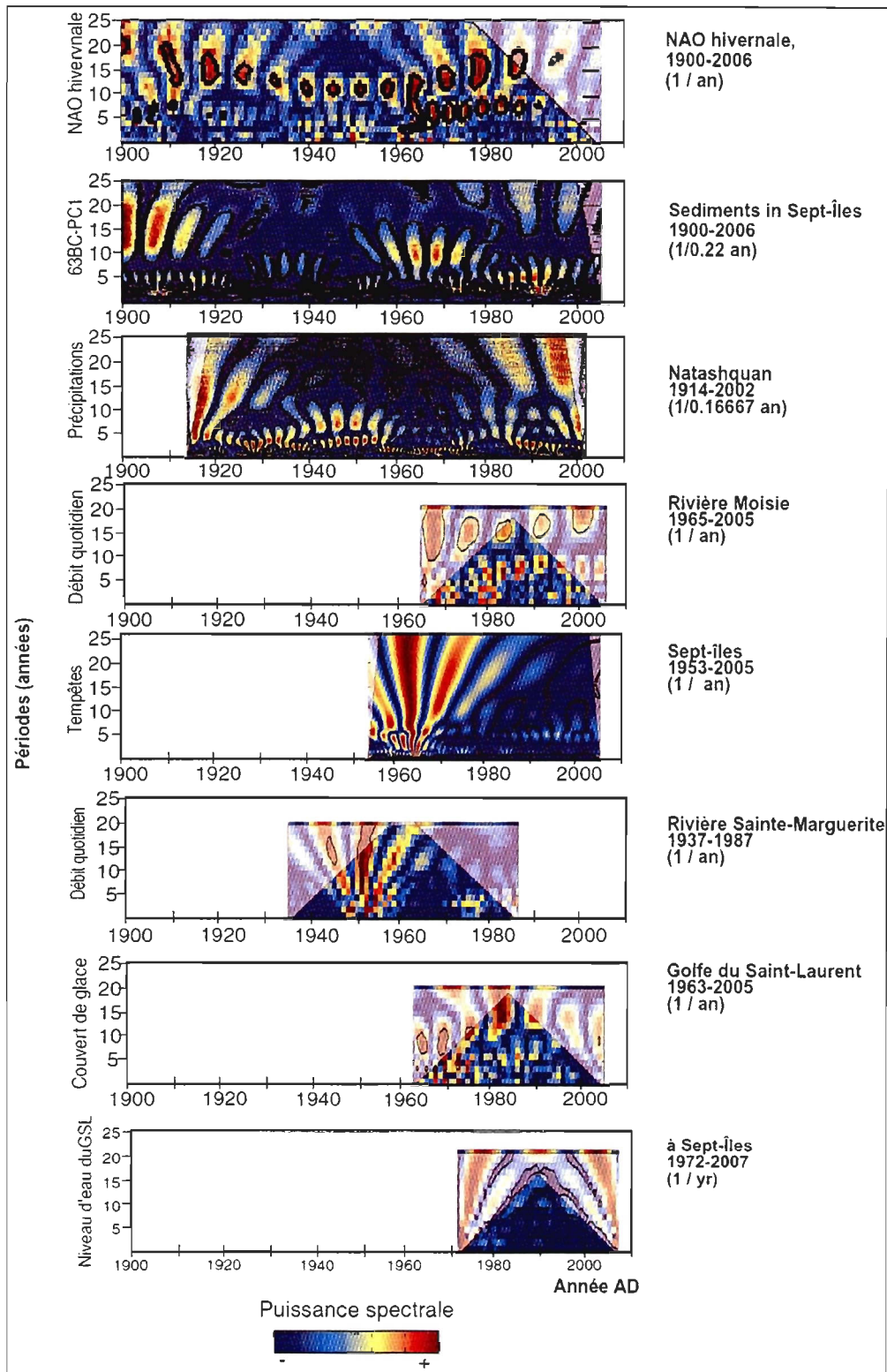


Figure A6-2 : Analyse en ondelettes (puissance spectrale en fonction des périodes et du temps) pour la période du 20e siècle sur la NAO hivernale, la carotte 63BC, les précipitations à Natashquan, les débits de la rivière Moisie, les tempêtes à Sept-Îles, les débits de la rivière Saint-Marguerite, le couvert de glace du Saint-Laurent et le niveau du Saint-Laurent à Sept-Îles



## 5. Références

- 5.1 Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A., 2008. *Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport de recherche remis au Consortium Ouranos et au FACC, Rimouski, 256 pp.
- 5.2 Chamley, H., 2000. *Bases de sédimentologie*. 2e édition. Dunod, 178 pp.
- 5.3 Croudace, I. W., Rindby, A. et Rothwell, R. G., 2006. ITRAX: Description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner. *Geological Society Special Publication*: 51-63.
- 5.4 Guyard, H., Chapron, E., St-Onge, G., Anselmetti, F. S., Arnaud, F., Magand, O., Francus, P. et Melieres, M. A., 2007. High-altitude varve records of abrupt environmental changes and mining activity over the last 4000 years in the Western French Alps (Lake Bramant, Grandes Rousses Massif). *Quaternary Science Reviews*, 26(19-21): 2644-2660.
- 5.5 Meyers, P. A., 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, 114: 289-302.
- 5.6 Thomson, J., Croudace, I. W. et Rothwell, R. G., 2006. A geochemical application of the ITRAX scanner to a sediment core containing eastern Mediterranean sapropel units. *Geological Society Special Publication*: 65-77.
- 5.7
- 5.8
- 5.9 \*\*\*\*\*