

Etude de séquences sédimentaires Holocène - Site de la Lède du Gurd -

**Par:
Mickaël CHARPENTIER**

Stage de Master 1 Sciences de la Mer - Parcours Sédimentologie et
Paléocéanographie

UE 4TMR805U : Anglais et Pré-Professionnalisation en Océanographie

Encadrant : Frédérique EYNAUD

Année Universitaire : 2016-2017



Remerciements

Un immense merci à mon encadrante de stage Frédérique Eynaud pour m'avoir permis de prendre part à son projet FAST-LITAQ. Merci pour le temps qu'elle m'a accordé et pour avoir attisé ma curiosité pour la recherche scientifique en m'offrant l'opportunité de travailler dans le contexte d'un projet scientifique. Je lui souhaite une excellente continuation pour la suite du projet et pour le reste de sa carrière. (Et merci encore pour les relectures de mon rapport !)

Merci également à l'équipe technique de la plate-forme technique PACS, à savoir Isabelle Billy, Pascal Lebleu et Olivier Ther, pour leur disponibilité et pour m'avoir montré et expliqué le fonctionnement des divers appareils utilisés lors de mon stage.

Je tiens aussi à remercier les personnes qui ont contribué à l'obtention de mes résultats, c'est-à-dire Marie-Claire Perello pour sa gentillesse et qui a rendu possible les mesures granulométriques que je devais réaliser. Et aussi à Sébastien Zaragosi pour le traitement des données granulométriques.

Je remercie Bernard Martin de m'avoir accordé de son temps pour m'expliquer les étapes de fabrication de lames minces.

De manière plus générale, merci à l'Université de Bordeaux et à l'UMR EPOC pour m'avoir offert l'opportunité de ce stage.

Enfin, un clin d'œil à mes collègues de bureau Badr et Matthieu avec qui j'ai partagé la plupart de mon temps au sein du labo. Merci pour toutes ces discussions pas toujours très intelligentes mais qui ont eu le mérite d'égayer les journées !

Résumé

Durant l'hiver 2013-2014, les violentes tempêtes qui ont frappé le littoral aquitain ont permis le détachement d'une butte tourbo-sableuse holocène autrefois ensevelie sous les dunes de sable côtières sur le site de la Lède du Gulp à Soulac-Sur-Mer, dans le Nord-Médoc. Dans le contexte du projet FAST-LITAQ ("Formations Argilo-Sableuses & Tourbes LITtorales AQUitaines"), cette butte a attiré une équipe scientifique intéressée tant par son potentiel archéologique que paléoenvironnemental. Au sein de ce dépôt, les chercheurs y ont découvert deux paniers tressés datés du Néolithique suspectés d'avoir servi à la production de sel. Ce mémoire a eu pour principal objectif d'analyser le sédiment constituant la base du remplissage argilo-tourbeux d'un des paniers qui a été daté à environ 3200 CAL BC. Pour ce faire, des mesures de spectrométrie de fluorescence à rayons X (XRF) et de granulométrie ont été réalisées. **(MENTIONNER BRIEVEMENT L'UTILISATION DE RATIO ELEMENTAIRES ???)** Ces dernières ont appuyé les hypothèses soumises par une étude précédente en montrant que le dépôt du sédiment se serait fait dans un environnement marécageux soumis à une faible influence marine et à des apports épisodiques de matériel éolien en provenance de dunes voisines. La corrélation des signaux XRF avec ceux d'une carotte et de prélèvements effectués sur la butte a également mis en évidence une anomalie en soufre. D'un point de vue archéologique, cela suggérerait que le panier servait aussi de récipient lors du salage d'aliments comme de la viande ou du jambon. Etant la première véritable étude sur le sujet, les interprétations demeurent cependant à l'état d'hypothèses qu'il conviendrait de confirmer par des études ultérieures portant notamment sur la partie supérieure du remplissage du panier.

Mots-clés : Lède du Gulp, tourbe, Holocène, érosion littorale, XRF, panier, sel, Néolithique, sédimentologie.

+ BESOIN DE FAIRE L'EQUIVALENT EN ANGLAIS (ABSTRACT) ???

SOMMAIRE

1.	Introduction.....	1
2.	Contexte général de l'étude.....	1
2.1.	Localisation du site.....	1
2.2.	Le panier ST7.....	3
2.3.	Contexte géologique.....	4
3.	Matériel et méthodes.....	4
3.1.	Imagerie des séquences.....	5
3.1.1.	Banc photo.....	5
3.1.2.	Radioscopie RX (« SCOPIX »).....	5
3.2.	Spectrométrie de fluorescence des rayons X.....	6
3.3.	Granulométrie.....	6
3.4.	Lames minces.....	6
4.	Résultats.....	7
4.1.	Panier 2 (ST7).....	7
4.1.1.	Imagerie.....	7
4.1.2.	XRF.....	7
4.1.3.	Granulométrie.....	10
4.2.	Carotte LDG-ST8-EXT.....	13
4.2.1.	Imagerie.....	13
4.2.2.	XRF.....	13
5.	Discussions.....	14
5.1.	Panier 2 (ST7).....	14
5.2.	Carotte LDG-ST8-EXT.....	16
5.3.	Corrélations.....	17
6.	Conclusions et perspectives.....	18
	Bibliographie.....	19
	Annexes.....	20

Liste des Figures

Figure 1 : Localisation de la Lède du Gulp (modifié d'après Faye, 2015).	2
Figure 2 : Evolution de la butte au cours du temps.	2
Figure 3 : Paroi extérieure du clayonnage du panier ST7 (d'après Verdin, 2016).	3
Figure 4 : Fond du panier ST7 entièrement dégagé et étais (d'après Verdin, 2016).	3
Figure 5 : Localisation du prélèvement étudié PR2 au sein du panier ST7 (d'après Verdin, 2016).	4
Figure 6 : Emplacement de la carotte LDG-ST8-EXT, vu du versant Est de la butte. Le tracé en rouge représente l'emplacement du panier ST8, maintenant absent. (modifié d'après Eynaud, 2017).	5
Figure 7 : Image RX du prélèvement ST7-PR2 (Echelle 1/2).....	7
Figure 8 : Courbes XRF du soufre (ST7-PR2). Bleu : S/Ca ; Noir : S normalisé.	8
Figure 9 : Courbe XRF du ratio Fe/Al (ST7-PR2).	9
Figure 10 : Courbe XRF du ratio (Sr+Ca)/(Si+Al+K) (ST7-PR2).	9
Figure 11 : Graphe des principaux percentiles granulométriques.	10
Figure 12 : Classification granulométrique de Wentworth (modifié d'après Wentworth, 1922).	10
Figure 13 : Cartographie granulométrique de ST7-PR2. Gauche : échelle adaptée à un refus maximum de 4% ; Droite : échelle adaptée à un refus maximum de 7% (réalisé avec Zaragosi, 2017).	11
Figure 14 : Courbe de distribution granulométrique de ST7-PR2 (réalisé avec Zaragosi, 2017).	12
Figure 15 : Diagramme CM de Passega (calage par Eynaud, 2017).	12
Figure 16 : Photographie et image RX de la carotte LDG-ST8-EXT extérieure au panier.....	13
Figure 17 : Courbe XRF du ratio S/Ca (LDG-ST8-EXT).	13
Figure 18 : Courbe XRF du ratio (Sr+Ca)/(Si+Al+K) (LDG-ST8-EXT).	13
Figure 19 : Courbe XRF du ratio Br/Al (LDG-ST8-EXT).	14
Figure 20 : Courbe XRF du ratio Ti/Al (ST7-PR2).	15
Figure 21 : Comparaison des ratios (Sr+Ca)/(Si+K+Al) entre le panier ST7, la carotte LDG-ST8-EXT et les prélèvements de la butte.....	17
Figure 22 : Comparaison des ratios S/Ca entre le panier ST7, la carotte LDG-ST8-EXT et le prélèvement G2.	18

1. Introduction

Ce mémoire compile les travaux réalisés dans le cadre du projet FAST-LITAQ pour mon stage de Master 1. FAST-LITAQ (<http://ausonius-dh.u-bordeaux3.fr/litaq/doku.php>) est un projet EC2CO DRIL dirigé par Frédérique Eynaud de l'UMR EPOC à l'Université de Bordeaux. Depuis 2013, et dans la continuité du projet LITAQ (interLabex COTE-LASCARBX), ce programme de recherche s'intéresse à l'évolution conjointe des populations (animales, végétales et humaines) et environnements au cours du Quaternaire terminal sur le littoral aquitain. En effet, l'érosion constante du littoral aquitain rend possible la découverte de vestiges archéologiques le long de la côte atlantique depuis la fin du XIX^{ème} siècle (i.e. Buffault, 1897) au sein de formations sous-dunaires argilo-tourbeuses. Ces derniers présentent un intérêt scientifique majeur car ils renseignent non seulement sur les conditions de vie des populations anciennes mais également sur l'évolution des environnements. Cependant, l'érosion côtière est aussi responsable de la dégradation rapide de ces sites remarquables par l'action des vagues, engendrant progressivement leur destruction inévitable.

Le présent travail a justement porté sur un de ces vestiges exceptionnels, à savoir un panier à sel néolithique. Ce mémoire s'attardera plus précisément sur l'analyse du remplissage sédimentaire de ce panier. Sera aussi passé en revue un carottage réalisé sur le site étudié, sur la partie externe du remplissage sédimentaire qui enrobe les paniers.

Dans ce rapport sera d'abord explicité le contexte de l'étude, à savoir le site et les vestiges étudiés ainsi que leur localisation. Puis on annoncera l'objectif de cette étude en rappelant les méthodes d'analyse employées qui ont aidé à la compréhension des corps sédimentaires étudiés. S'en suivront enfin les résultats et interprétations associées.

2. Contexte général de l'étude

2.1. Localisation du site

Le site étudié est localisé sur la côte atlantique du Nord-Médoc dans le département de la Gironde, à la frontière des communes de Soulac-Sur-Mer et de Grayan-Et-L'Hôpital. Il se trouve plus précisément au niveau de la Pointe de la Négade au sein des massifs dunaires holocènes, sur le site de la Lède du Gulp (Figure 1). Les coordonnées GPS correspondantes sont : 45°27'58.2"N ; 1°09'17.1"W (Système WGS84).

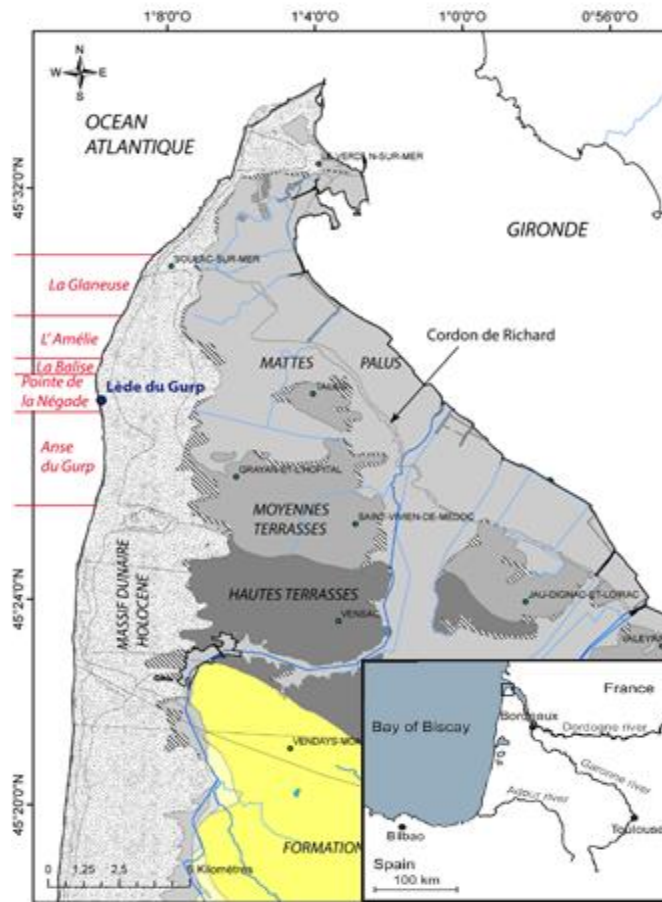


Figure 1 : Localisation de la Lède du Gurd (modifié d'après Faye, 2015).

Parmi les sites archéologiques découverts sur le littoral médocain figure une butte tourbeuse autrefois ensevelie sous la dune, sur le site de la Lède du Gurd. L'érosion littorale a en effet progressivement permis son exhumation. Son individualisation de la dune a grandement été favorisée par les fortes tempêtes de l'hiver 2013-2014. (Figure 2)



Figure 2 : Evolution de la butte au cours du temps.
A : août 2011 ; B : avril 2014 ; C : avril 2015. (modifié d'après Google Earth, 2017).

Cette butte haute de 3 mètres est intéressante d'un point de vue archéologique car de nombreux artefacts ont pu y être découverts au cours des dernières années, notamment des tessons, des ossements ou encore des silex. Mais la découverte majeure reste celle de deux paniers tressés (nommés chronologiquement ST5 et ST7).

2.2. Le panier ST7

Le panier ST7, découvert en 2014, est celui qui nous intéressera dans la suite de ce mémoire (Figure 3).



Figure 3 : Paroi extérieure du clayonnage du panier ST7 (d'après Verdin, 2016).

Ce dernier est assez imposant, avec un diamètre d'environ 1,50 m et une hauteur de 70 cm. Il a été daté du Néolithique récent à 3325-2940 ans CAL BC (Verdin, 2016, non publié) soit une moyenne de 3200 ans CAL BC, ou 5150 ans CAL BP. Ses coordonnées GPS sont 45°27'58.3''N ; 1°9'17.4''W (Système WGS84). Il est suspecté d'avoir servi à la production de sel par un principe de rétention d'eau de mer. La saumure ainsi formée voire stockée au fond du panier aurait permis l'accumulation et la concentration de sel qui, chauffé, aurait pu fournir des pains de sel utilisés pour la conservation d'aliments et le commerce. Cette hypothèse est appuyée par la structure interne du panier. Le fond ainsi que les parois ont en effet été imperméabilisés par de l'argile. De plus, des structures en bois à l'intérieur font office d'étais pour maintenir la structure stable (Verdin, 2016, non publié, Figure 4).



Figure 4 : Fond du panier ST7 entièrement dégagé et étai (d'après Verdin, 2016).

Tous ces éléments indiquent donc des traces d'activité anthropique au Néolithique. La présence de l'Homme aux alentours du site a été confirmée à de nombreuses reprises au fil des années et des fouilles successives. Buffault faisait déjà mention en 1897 d'une telle activité, et ce dès le Mésolithique (env. 10 000 ans BP). D'autres auteurs ont également montré que l'Homme était en présence quasi-continue du Mésolithique à la conquête romaine (Marambat & Rousseau-Laroque, 1989 ; Rousseau-Laroque, 1995 & 1997).

N.B. : Début 2017, un troisième panier (ST8) a été découvert lors d'une visite du site. Mais il ne sera pas étudié ici.

2.3. Contexte géologique

Le site de la Lède du Gurp est un site très récent à l'échelle géologique. Au Pléistocène, les successions glaciaires/interglaciaires ont creusé lors des périodes de bas niveau marin le plateau calcaire éocène de la zone. Cela a donné naissance à trois chenaux de la Gironde, dont le chenal du Gurp qui traversait la Lède du Gurp (Courreges, 1997).

La transgression flandrienne initiée vers 18 000 ans BP va entraîner une rapide remontée du niveau marin à l'origine de la formation de zones marécageuses sur la plaine d'inondation dans un contexte de comblement du chenal (Allen *et al.*, 1974).

Puis à l'Holocène se développera la sédimentation sablo-tourbeuse au niveau de la Lède du Gurp (e.g., Faye, 2015) avant d'être recouverte par les dunes sableuses modernes.

3. Matériel et méthodes

Le matériel étudié correspond à deux prélèvements sédimentaires autour et dans le panier ST7. Leur localisation précise sur le site est indiquée sur le zoom sur la Figure 2C.

Dans le détail, ce mémoire aura pour objectif d'étudier le sédiment composant la base du remplissage du panier ST7, appelé *Prélèvement 2* ou *PR2* (Figure 5). Ce dernier, d'une longueur de 19,5 cm, est constitué de sédiment argilo-tourbeux avec des passées sableuses. Un échantillonnage a été effectué tous les 5 mm en vue de mesures granulométriques. Des lames minces avaient également été réalisées et avaient été analysées lors d'un précédent stage par Pierrick Fenies (2016).



Figure 5 : Localisation du prélèvement étudié PR2 au sein du panier ST7 (d'après Verdin, 2016).

Une carotte prélevée en mars 2017 à côté du troisième panier ST8 au sommet de la butte (Figure 6) sera aussi brièvement étudiée. Elle est également constituée de sédiment majoritairement tourbeux. Ses coordonnées GPS sont 45°27'58.3446"N ; 1°9'17.0568"W (Système WGS 84).



Figure 6 : Emplacement de la carotte LDG-ST8-EXT, vu du versant Est de la butte. Le tracé en rouge représente l'emplacement du panier ST8, maintenant absent. (modifié d'après Eynaud, 2017).

Nous chercherons à établir des corrélations entre cette carotte, le remplissage du panier ST7 et trois prélèvements par plaquettes réalisées en 2014 en différents endroits de la butte (stage M2 S. Faye).
Remarque : Le prélèvement PR2 a déjà fait l'objet d'une étude antérieure (P. Fenies, 2016) où ont été caractérisées les différentes unités stratigraphiques qui le constituent, notamment en terme d'observation de l'aspect des grains détritiques terrigènes mais aussi en terme de contenu en débris organiques (bois, racines, œufs, graines, os).

Dans le cadre de ce stage, plusieurs techniques ont ainsi été mises en œuvre. A l'exception de la granulométrie, elles ont toutes été réalisées à la Plate-forme d'Analyse des Carottes Sédimentaires (PACS) qui est équipée d'appareils très spécifiques.

3.1. Imagerie des séquences

3.1.1. Banc photo

La PACS est équipée d'un banc photographique qui permet de prendre des photographies haute-résolution de séquences sédimentaires. Il consiste en un appareil photo entouré de deux projecteurs et suspendu au-dessus d'un banc coulissant équipé d'une règle graduée. Cette dernière offre un repérage au millimètre près le long de la séquence photographiée. Lors de la photographie, un nuancier est placé juste à côté de la séquence sédimentaire et permet de calibrer les couleurs. Si la séquence est trop longue, plusieurs photos seront prises et les images devront être reconstituées par le biais d'un logiciel spécialisé.

3.1.2. Radioscopie RX (« SCOPIX »)

La radioscopie RX est une méthode d'imagerie non destructive. En se servant d'un bombardement de rayons X, elle permet de visualiser l'organisation interne d'un échantillon ou d'une carotte sédimentaire normalement invisible à l'œil nu. L'image obtenue rend ainsi compte des variations de densité au sein du sédiment. Ces variations peuvent par exemple être dues à des structures sédimentaires (comme des rides de courant) ou biologiques (e.g., Toucanne, 2008). Le laboratoire de l'UMR EPOC est équipé pour cette technique d'un banc radiographique baptisé SCOPIX équipé d'une caméra 16 bits.

(Source : http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=pf_carottes_scopix)

3.2. Spectrométrie de fluorescence des rayons X

La spectrométrie XRF (pour X-ray fluorescence) est une autre méthode d'analyse non destructive du sédiment. Un échantillon est soumis à des rayons X. Ces derniers vont avoir pour effet d'ioniser les atomes constituant le sédiment en éjectant un électron des couches électroniques. L'emplacement vide est alors comblé par la transition d'un électron en provenance d'un niveau plus énergétique. Cela va se traduire par l'émission d'un rayonnement électromagnétique, caractéristique d'un élément donné, qui sera capté par la machine

Les XRF permettent ainsi de capter la majorité des éléments majeurs et quelques éléments mineurs (Al, Si, S, K, Ca, Cl, Ti, Mn, Fe, V, Br, Rb, Zn, Zr, U, etc.) Les éléments les plus lourds sont détectés avec une tension d'accélération de 30 kV et les éléments légers avec une tension de 10 kV. Au préalable, il convient de s'assurer que l'échantillon soit le plus lisse possible pour que la mesure se fasse de manière continue. Au besoin, des « skips » peuvent être réalisés si l'échantillon présente des aspérités (inclusions de galets, cassures dans le sédiment, etc.). Il faut également prendre soin de recouvrir le sédiment à analyser avec du film polypropylène pour protéger la tête de l'instrument de mesure.

(Source : http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=pf_carottes_xrf).

3.3. Granulométrie

Des mesures granulométriques sur le sédiment de remplissage du panier ont été effectuées par le biais du dispositif MALVERN Mastersizer Hydro 2000G. Il permet de mesurer des particules allant de 0 à 2000 μm (Perelló, 2016). L'échantillonnage a été réalisé avec un pas de 5 mm, pour une longueur totale du prélèvement de 19,5 cm.

Le principe repose sur la diffraction laser. Chaque échantillon est placé dans une cuvette et immergé dans de l'eau. Cette cuvette est ensuite positionnée en face d'un laser. L'interaction du faisceau laser avec les particules dispersées constituant le sédiment va entraîner sa diffraction. L'appareil mesure alors la variation angulaire de l'intensité de lumière diffusée. En fonction de cet angle, l'appareil renverra alors la taille des particules rencontrées en sachant que plus une particule est grossière, plus l'angle de diffraction sera faible (Malvern, 2017).

3.4. Lames minces

L'atelier de litholamellage d'EPOC est en charge de la confection de lames minces à la demande des chercheurs afin de permettre à ceux-ci d'étudier en détail le contenu à une échelle de leurs séquences. Pour cela, l'échantillonnage s'effectue à l'aide de plaquettes en aluminium de 100 mm x 45 mm. Les échantillons sont ensuite déshydratés grâce à une solution d'eau/acétone pendant 3 jours, puis d'acétone pure sous circuit fermé à nouveau pendant 3 jours.

Puis les échantillons, alors débarrassés de toute eau, vont subir une imprégnation par de la résine epoxy avant d'être placés dans un dessiccateur pendant 2 jours. La phase de polymérisation sous hotte puis de durcissement à la lumière naturelle prendra 4 semaines.

Enfin, le bloc induré est sectionné verticalement puis poli manuellement avant d'être fixée sur une lame de verre grâce à une résine qui fait office de « colle » quand exposé à des rayonnements UV.

L'échantillon est alors prêt pour la taille. A l'aide d'une micro-scie de précision, le talon est ramené à 100 μm puis l'échantillon en lui-même est ramené à 30 μm . On recouvre le sédiment d'une lamelle en verre pour le protéger. La lame est alors prête pour observation sous loupe binoculaire.

(Source : http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=eq_sedimentologie5)

4. Résultats

4.1. Panier 2 (ST7)

4.1.1. Imagerie

La radioscopie RX du prélèvement ST7-PR2 (Figure 7) ne met pas en évidence de changement de densité particulièrement remarquable si ce n'est la partie qui semble plus dense dans le tronçon inférieur. Cela peut-être dû au fait que le prélèvement n'a pas une épaisseur constante. Une coupure dans le sédiment est visible sur le prélèvement, le séparant en deux tronçons. Elle apparaît très bien sur l'image RX marquée par une partie très claire.

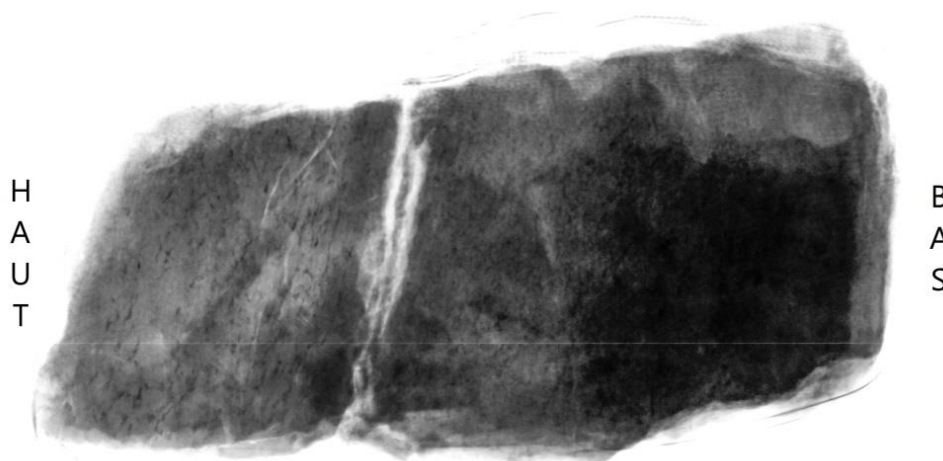


Figure 7 : Image RX du prélèvement ST7-PR2 (Echelle 1/2)

4.1.2. XRF

Les données XRF, disponibles sous forme de tableur, nous permettent de représenter graphiquement la concentration des éléments à la surface du prélèvement et leurs variations le long de ce dernier. Devant le grand nombre d'éléments chimiques qui ont été mesurés, il a été décidé de n'en étudier qu'une partie d'entre eux car permettant de tirer plus facilement des conclusions (qui seront détaillées dans la partie Discussion). L'exploitation des données s'est faite par le biais de ratios élémentaires. Ces derniers permettent de rendre compte de changements lithologiques au sein du sédiment.

Nous avons notamment cherché à étudier la variation du soufre le long du prélèvement, nous avons tracé deux courbes à partir des données XRF (Figure 8).

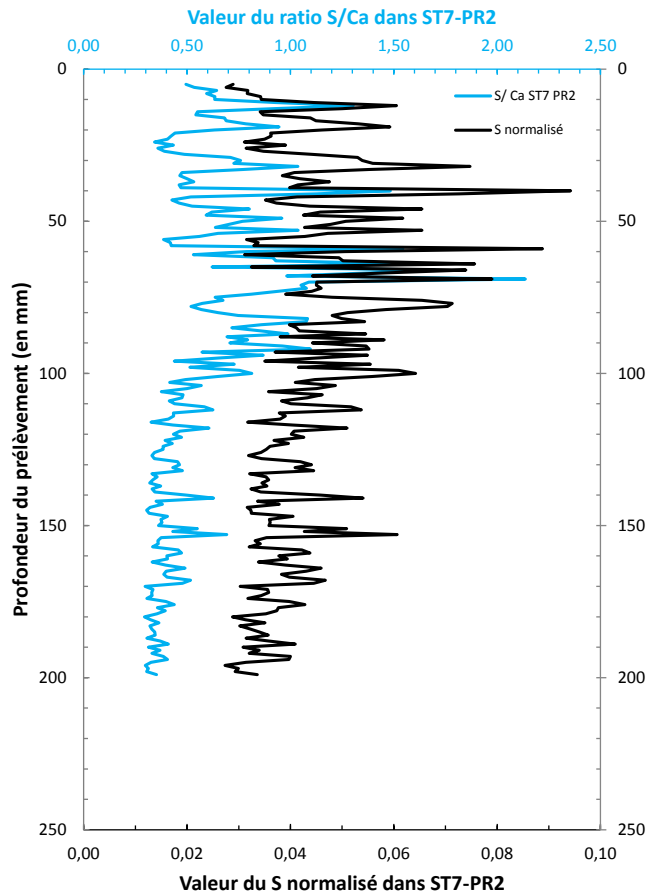


Figure 8 : Courbes XRF du soufre (ST7-PR2). Bleu : S/Ca ; Noir : S normalisé.

L'une représente le soufre normalisé par rapport au calcium. Ce choix a été fait afin de rendre compte du comportement du soufre par rapport à un élément biogène et présent dans les mêmes quantités (par rapport au nombre de coups si l'on se base sur les données XRF) dans le sédiment. La deuxième, quant à elle, montre les variations du soufre normalisé cette fois-ci par rapport à l'ensemble des éléments chimiques dont nous disposons dans le jeu de données XRF (à savoir Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Zn, Br, Rb, Sr et Zr) ; on le notera S_{norm} .

Les variations des deux courbes sont globalement les mêmes. La seule différence notable se situe au niveau de la limite supérieure de la fracture (profondeur 75-80 mm) où le ratio S/Ca diminue tandis que S_{norm} augmente.

Pour les deux courbes, les fluctuations du soufre sont faibles dans le tronçon inférieur (environ de 0,30 à 0,50 pour S/Ca et de 0,03 à 0,06 pour S_{norm}). Les valeurs augmentent cependant dans sa partie supérieure, à proximité de la cassure. Concernant le tronçon supérieur, les variations sont en revanche très importantes (environ de 0,40 à 2,10 pour S/Ca et de 0,03 à 0,09 pour S_{norm}).

Le ratio Fe/Al (Figure 9) croît de la base au sommet du tronçon inférieur avec de fortes valeurs avant la fracture (le ratio passe d'environ 17 à 50 avec un pic au niveau de la fracture à 56). Les fluctuations sont relativement faibles. Dans le tronçon supérieur, le ratio revient à des valeurs semblables à la base du prélèvement (soit autour de la valeur 20). Les fluctuations sont cependant légèrement plus marquées. On retiendra donc l'augmentation importante du ratio dans la section sous-jacente à la cassure.

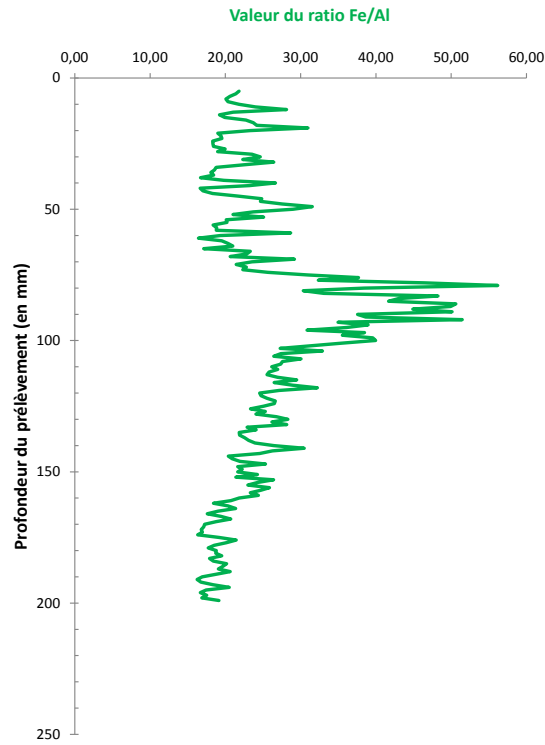


Figure 9 : Courbe XRF du ratio Fe/Al (ST7-PR2).

Dans le tronçon inférieur, le ratio $(Sr+Ca)/(Si+Al+K)$ est plutôt stable (Figure 10). Dans sa partie supérieure, il diminue notablement (passant de valeurs avoisinant 0,3 à 0,2). Puis au niveau de la cassure, il y a un énorme pic (jusqu'à un peu moins de 0,5). Dans le tronçon supérieur, le signal atteint son point le plus bas avec une valeur de 0,13 avant de reaugmenter autour de 0,25 pour enfin rediminuer.

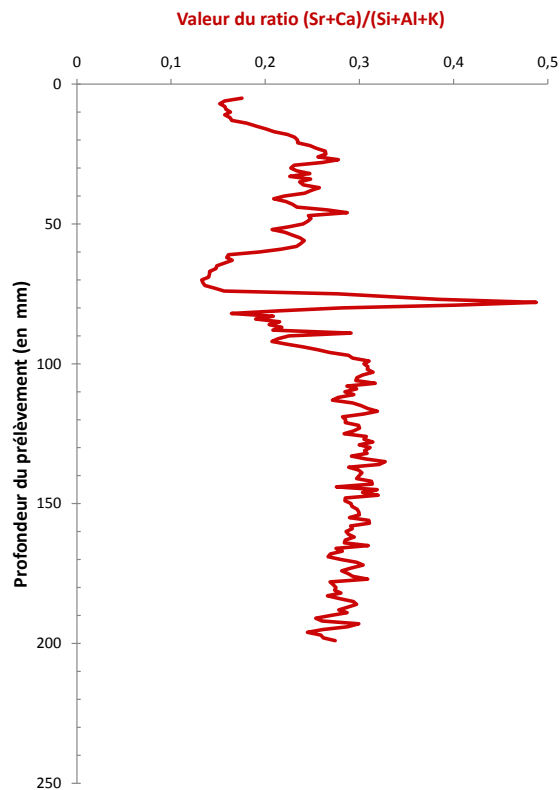


Figure 10 : Courbe XRF du ratio $(Sr+Ca)/(Si+Al+K)$ (ST7-PR2).

4.1.3. Granulométrie

Le graphe obtenu à partir des mesures granulométrique (Figure 11) et comparé à la vue RX du tronçon nous révèle plusieurs choses.

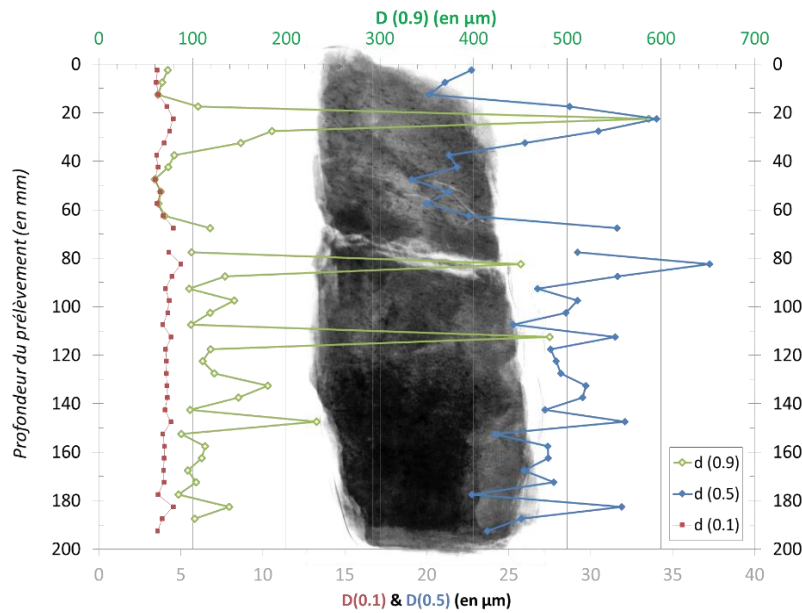


Figure 11 : Graphe des principaux percentiles granulométriques.

La courbe d0.1 nous indique que moins de 10% du sédiment est représenté par des argiles, dont on rappelle la limite avec les silts qui se situe à $\sim 4 \mu\text{m}$ selon la classification de Wentworth (1922) (Figure 12).

The Pieces	The Aggregate
Boulder 256 mm.	Boulder gravel
Cobble 64 mm.	Cobble gravel
Pebble 4 mm.	Pebble gravel
Granule 2 mm.	Granule gravel
Very coarse sand grain 1 mm.	Very coarse sand
Coarse sand grain 1/2 mm.	Coarse sand
Medium sand grain 1/4 mm.	Medium sand
Fine sand grain 1/8 mm.	Fine sand
Very fine sand grain 1/16 mm.	Very fine sand
Silt particle 1/256 mm.	Silt
Clay particle	Clay

Figure 12 : Classification granulométrique de Wentworth (modifié d'après Wentworth, 1922).

De plus, trois pics se démarquent des autres points sur les courbes d0.9 et d0.5. En les omettant, le sédiment est majoritairement constitué de particules de type silts (entre $4 \mu\text{m}$ et $63 \mu\text{m}$) et de quelques sables très fins (entre $63 \mu\text{m}$ et $125 \mu\text{m}$).

Tant par rapport au d0.5 qu'au d0.9, le sédiment est relativement plus grossier à la base du prélèvement (avec $d_{0.9\text{mini}} \approx 100 \mu\text{m}$) qu'à son sommet (où $d_{0.9\text{mini}} \approx 60 \mu\text{m}$). A proximité de la cassure, les courbes montrent un pic de sédiments plus grossiers à la profondeur 80 mm.

La cartographie (Figure 13) et la courbe granulométriques (Figure 14) font apparaître quant à eux 3 « familles » granulométriques qui se démarquent : une à $16\text{--}63 \mu\text{m}$ qui regroupe la grande majorité des particules ; une deuxième à $\sim 400 \mu\text{m}$ et la dernière à $1000\mu\text{m}$.

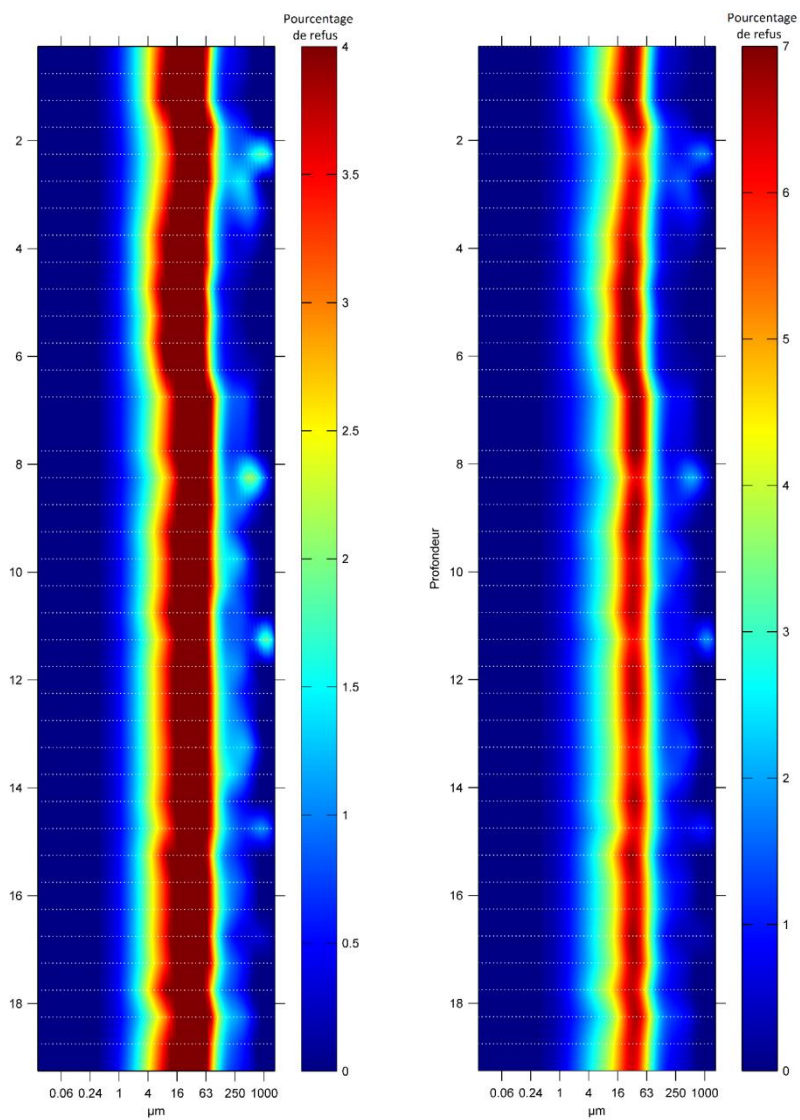


Figure 13 : Cartographie granulométrique de ST7-PR2. Gauche : échelle adaptée à un refus maximum de 4% ; Droite : échelle adaptée à un refus maximum de 7% (réalisé avec Zaragosi, 2017).

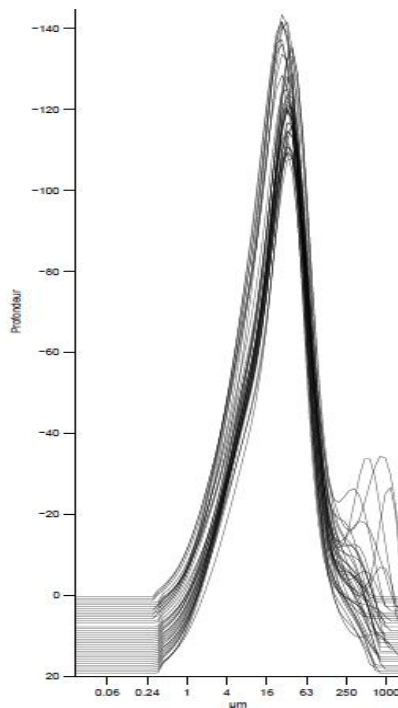


Figure 14 : Courbe de distribution granulométrique de ST7-PR2 (réalisé avec Zaragosi, 2017).

Il y a confirmation d'une fraction argileuse très faible. A partir de 2 cm, on remarque sur les cartographies granulométriques un petit shift de la majorité des particules qui sont alors légèrement plus grossières par rapport au reste du prélèvement. Entre 3 et 8 cm, la cartographie rend compte d'un déficit relatif de particules d'une taille supérieure à 63μm.

Les points de mesures granulométriques ont également été reportés sur un diagramme CM (Figure 15). Ce dernier est un diagramme particulier établi par Passega (1964) qui permet de rendre compte du mode de dépôt des particules sédimentaires en milieu fluviatile. Cela se base sur les percentiles d0.5 et d0.99 d'une courbe granulométrique. Dans notre cas, le percentile d0.99 a été substitué par le percentile d0.9.

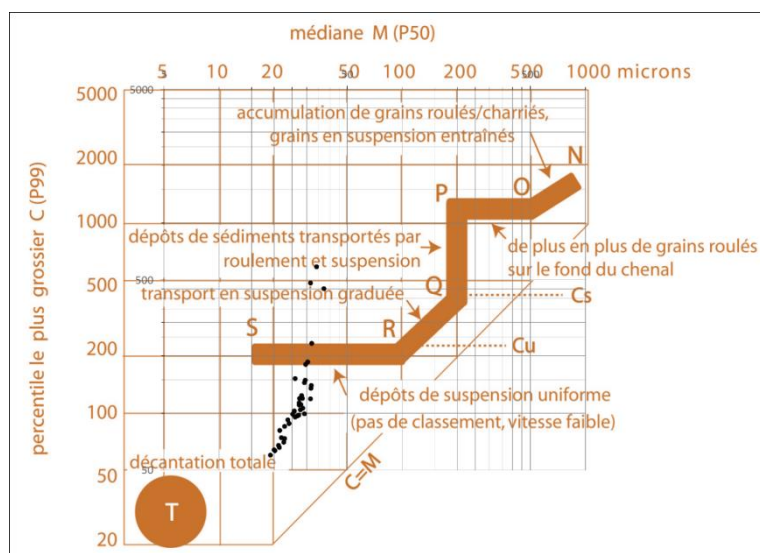


Figure 15 : Diagramme CM de Passega (calage par Eynaud, 2017).

La quasi-totalité des points s'alignent dans la section de décantation totale. Quelques points sont dans la classe de dépôt de suspension uniforme. Enfin, trois points sont complètement à l'écart, correspondant vraisemblablement aux trois pics visibles de la courbe d0.9 du graphique plus haut.

4.2. Carotte LDG-ST8-EXT

4.2.1. Imagerie

L'image finale RX n'apporte pas beaucoup d'informations sur la structure interne de la carotte si ce n'est la base de la carotte qui semble moins dense (Figure 16). Deux galets ressortent très bien dans la partie supérieure.

Ces deux niveaux ne seront pas mesurés au XRF et constitueront donc des vides dans les courbes résultantes (skip n°1 de 0 à 80 mm et skip n°2 de 280 à 310 mm).



Figure 16 : Photographie et image RX de la carotte LDG-ST8-EXT extérieure au panier.
La base de la carotte se situe à droite.

4.2.2. XRF

A la différence du prélèvement PR2 du panier, le ratio S/Ca ne présente pas de variation importante (Figure 17). En effet, plutôt stable sur l'ensemble de la carotte, on remarque cependant une légère augmentation entre 300 et 400 mm. Des valeurs un peu plus importantes à la base de la carotte (à partir de 800 mm) sont aussi observées avec un pic à 920 mm où le ratio passe d'une valeur d'environ 0,40 à 0,95.

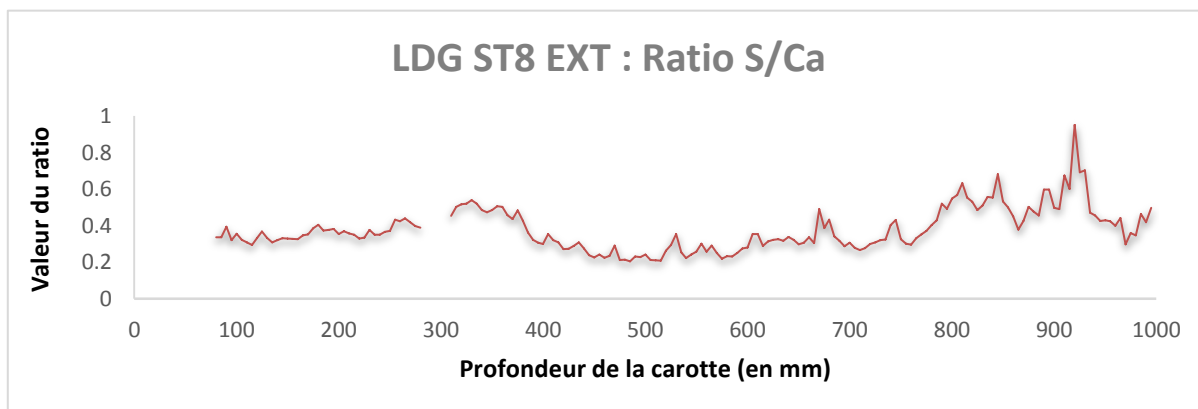


Figure 17 : Courbe XRF du ratio S/Ca (LDG-ST8-EXT).

Le ratio $(Sr+Ca)/(Si+Al+K)$ (Figure 18) est également très stable sur les 650 millimètres supérieurs de la carotte bien qu'il baisse légèrement au fur et à mesure du temps avec des valeurs passant de 0,2 à 0,1. A la base, le ratio augmente de manière significative dans la partie comprise entre 650 et 780 mm et atteint sa valeur maximale à 990 mm avec une valeur de 0,90.

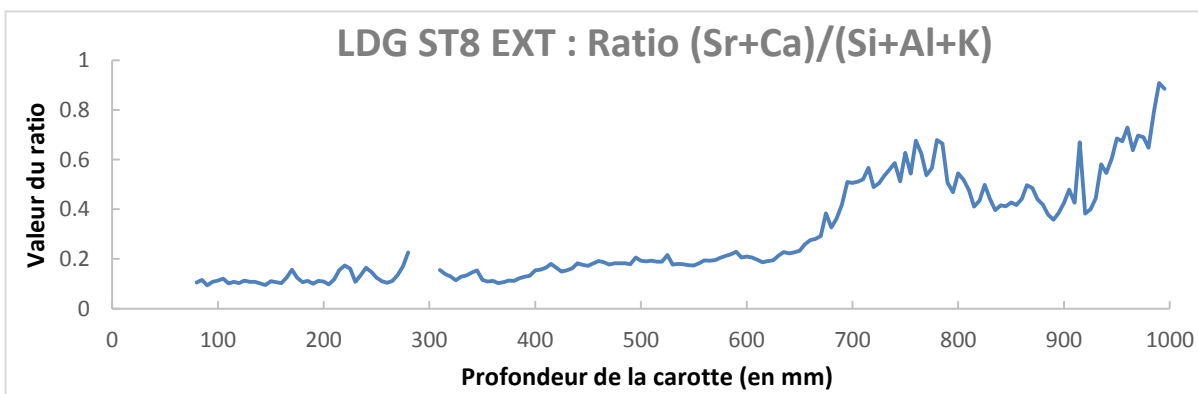


Figure 18 : Courbe XRF du ratio $(Sr+Ca)/(Si+Al+K)$ (LDG-ST8-EXT).

Le comportement du brome, normalisé par l'aluminium, est très similaire à celui du ratio $(Sr+Ca)/(Si+Al+K)$ (Figure 19). La valeur du ratio est très stable entre 0 et 680 mm ($Br/Al = 0,05$) avant de subitement montrer de fortes valeurs pour atteindre 0,2 à 700 mm. A 720 mm et entre 815 et 910 mm, les valeurs rediminuent jusqu'à 0,1 avant d'atteindre 0,3 à 990 mm.

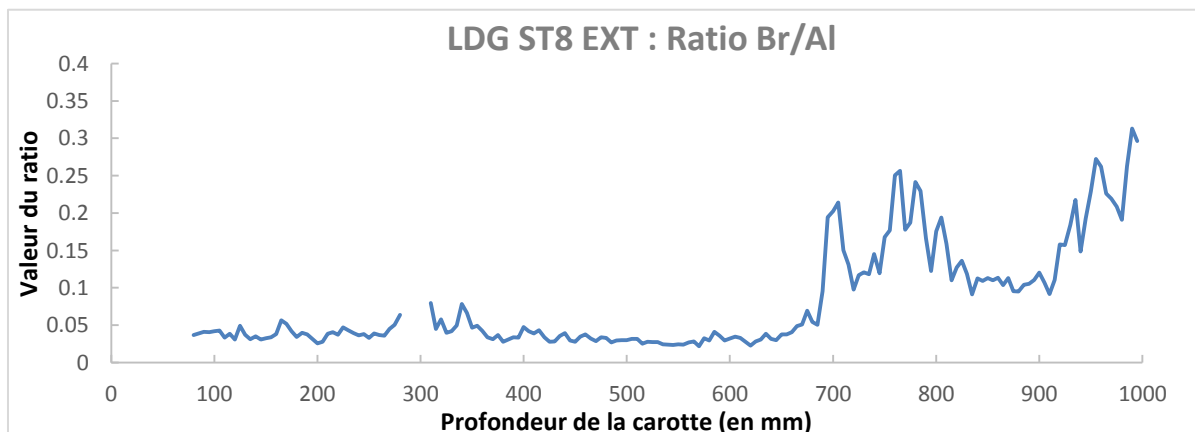


Figure 19 : Courbe XRF du ratio Br/Al (LDG-ST8-EXT).

5. Discussions

Exceptés les travaux menés par P. Fenies (2016), aucune étude n'a été réalisée sur les séquences étudiées dans ce mémoire, notamment sur le remplissage sédimentaire du panier.

5.1. Panier 2 (ST7)

Le tracé de la courbe de Fe normalisé par rapport à Al (Figure 9) met en évidence un épisode d'apports terrigènes important. En effet, Faye (2015) indique que sur le site d'étude le ratio Fe/Al peut être utilisé en tant que marqueur de l'abondance d'apports terrigènes comme cela a été fait avec d'autres sédiments (Richer *et al.*, 2006).

Au vu de l'allure de la courbe, on aurait donc une augmentation de ces apports avant la cassure. Cette dernière semblerait elle-même témoigner d'un niveau particulièrement marqué par un apport terrigène important (car pic du ratio). Cette information semblerait être soutenue par les cartographies granulométriques (Figure 13) qui montrent une augmentation de la taille des particules dans la partie proximale sous la cassure, entre 80 et 100 mm de profondeur. Malheureusement, il n'y a pas moyen de vérifier cette hypothèse au niveau de la cassure en elle-même car elle représentait un « vide » lors de l'échantillonnage (entre 70 et 75 mm).

Ces apports terrigènes pourraient même être d'origine éolienne. Le ratio Ti/Al est, selon les cas d'application, en relation avec les apports éoliens (Bertrand *et al.*, 1996 ; Prins, 1999). Ce ratio appuierait en effet notre hypothèse avec une augmentation des valeurs dans la partie sous-jacente à la cassure (Figure 20).

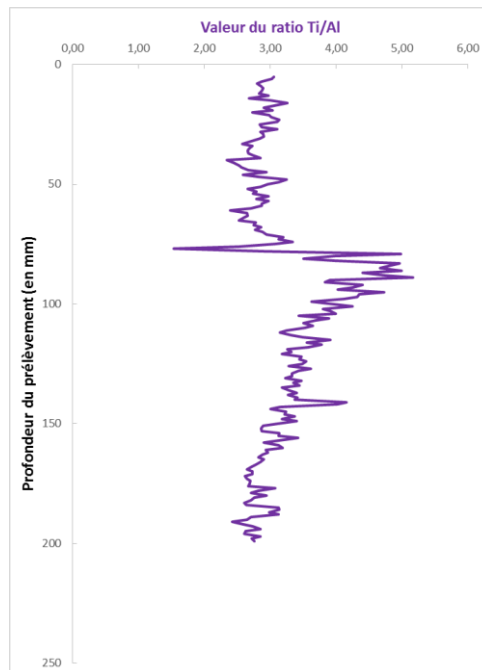


Figure 20 : Courbe XRF du ratio Ti/Al (ST7-PR2).

Pour le tronçon supérieur en revanche, si Fe/Al fait apparaître une succession de brefs épisodes terrigènes, ce n'est pas le cas de Ti/Al qui reste stable. Cela signifierait potentiellement une autre source d'apport.

Le ratio $(\text{Sr}+\text{Ca})/(\text{Si}+\text{Al}+\text{K})$ pourrait apporter un élément de réponse quant à cette autre source. Il a été utilisé par Faye (2015) sur les prélèvements portés sur la butte (plaquettes G2, G3 et G4) pour rendre compte des influences marines. Si on s'y réfère (Figure 9), on peut voir qu'aucun changement n'a occurred sur le tronçon inférieur (ratio stable). Cependant, le tronçon supérieur semblerait avoir connu une influence marine relativement marquée par rapport à son sommet et sa base. On pourrait penser que cela serait la cause de l'apport du matériel terrigène mais on ne peut l'affirmer vu que la valeur du ratio reste inférieure à celle du tronçon inférieur.

En définitive, on ne peut pas conclure sur la source des apports du tronçon supérieur. Quoiqu'il en soit, on peut supposer penser au vu des cartographies granulométriques (Figure 13) et de la valeur de $(\text{Sr}+\text{Ca})/(\text{Si}+\text{Al}+\text{K})$ que lors du dépôt du tronçon inférieur, l'influence marine était plus importante, donc un hydrodynamisme sans doute plus important qui aurait permis l'apport de particules plus grossières.

Cet apport marin pourrait également expliquer la cassure. Nous avons supposé qu'il s'agissait en fait d'un niveau finement sableux. En tant que sédiment non-cohésif contrairement à l'encaissant argilo-silteux tourbeux, il ne se serait pas conservé lors du prélèvement. On retrouve cependant quelques grains à son niveau. Cela est cohérent avec le saut granulométrique indiqué par les percentiles (Figure 11) à proximité de la cassure. Ce niveau sableux pourrait provenir d'un important épisode éolien, mais le ratio Ti/Al ne rend pas compte d'un tel événement avec une absence de pic (Figure 20). Il pourrait alors provenir d'un apport de sable par des entrées d'eau de mer (pic important du ratio $(\text{Sr}+\text{Ca})/(\text{Si}+\text{Al}+\text{K})$ Figure 10). Il y aurait donc une contribution d'une eau marine qui aurait participé à la sédimentation du remplissage du panier.

En définitive, le remplissage du panier ST7 se serait effectué de manière naturelle. Les ratios utilisés sur PR2 ne rendent pas compte d'un remplissage anthropique auquel cas le sédiment aurait été remanié. Le sédiment étant tourbeux avec une légère contribution argileuse, on peut soupçonner un environnement de dépôt marécageux mais exposé à des courts épisodes d'entrées marines et d'apport de sables éoliens. Ces derniers seraient alors responsables des passées sableuses au sein du sédiment et donc de la présence de sédiments plus grossiers (Figure 11, Figure 13 et Figure 14). Le diagramme de Passega (Figure 15) indique lui aussi un milieu de décantation totale à hydrodynamisme très faible, cohérent avec l'hypothèse d'un milieu marécageux. Toutefois, il faut rester vigilant quant à

l'information qu'il délivre car son utilisation est normalement cantonnée à des environnements fluviatiles, d'autant plus que chaque cours d'eau a ses particularités (Bravard et Peiry, 1999).

Les travaux de P. Fenies (2016) confortent ce supposé environnement de dépôt avec les interprétations des lames minces de PR2 qu'il a mené. Il a distingué 4 couches en se basant sur les différents éléments figurés (renforçant l'idée de remplissage naturel). Il y a observé de fins grains de quartz anguleux et émoussés placés de manière éparse interprétés comme des apports éoliens provenant probablement d'un cordon dunaire non loin du site. La présence de bois, de graines de potamogéon et d'œufs de daphnie lui a permis de reconstituer un milieu de dépôt marécageux à faible influence saumâtre, cette dernière provenant d'entrées marines.

Remarques :

- Il faut rester vigilant par rapport aux valeurs des ratios et des graphes associés au niveau de la cassure. En l'absence de la plupart du sédiment à cet endroit là, les résultats donnés peuvent être biaisés.
- Concernant le prélèvement PR2 dans sa totalité, il faut garder en tête que sa faible épaisseur (seulement 20 cm de long) ne peut pas rendre compte des changements de sédimentation éventuels comme on pourrait le voir sur une carotte ou un prélèvement plus long (à partir de 1m par exemple).

5.2. Carotte LDG-ST8-EXT

De la même façon que pour le panier ST7, le ratio $(Sr+Ca)/(Si+Al+K)$ rend bien compte d'une influence marine très marquée à la base de la carotte extérieure au panier ST8 (Figure 18). L'image RX de la carotte offrait déjà un premier indice comme quoi la base de la carotte présentait une différence de densité par rapport au reste (Figure 16). Ces deux particularités pourraient alors être liées.

De la même façon, le ratio Br/Al montre exactement la même tendance (Figure 19). Faye (2015) mentionne qu'une valeur élevée du ratio Br/Al est révélateur d'un taux de matière organique important comme déjà observés dans d'autres sédiments (Caley *et al.*, 2013). Le sédiment est essentiellement tourbeux et donc est de base très concentré en matière organique. Une telle augmentation du ratio n'est donc peut-être pas significative. Si elle l'est, elle pourrait témoigner d'un milieu plus productif et donc de conditions climatiques plus clémentes. Cependant, cela reste difficile à prouver. L'interprétation de cette carotte ne peut pas être très poussée dans le cadre de notre étude. En effet, seules des mesures XRF ont été réalisées. Une étude ultérieure prenant en compte la granulométrie, l'observation en lame mince du contenu en éléments figurés et des datations pourraient permettre d'y voir plus clair et d'apporter des éléments d'interprétation plus convaincants.

De plus, la présence des deux galets reste difficile à expliquer. Au vu de leur taille pluricentimétrique, l'hypothèse d'apports naturels peut être écartée. Leur aspect arrondi indiquerait qu'ils aient subi un transport fluviatile (Fèvre, 2005), mais le fait de n'être en présence que de deux galets est curieux. On peut alors se demander si leur présence ne serait pas liés à des rejets anthropiques contemporains ou non du dépôt, d'autant plus que le galet au sommet de la carotte se trouve à 2 cm maximum de la surface du sommet de la butte. Le site est en effet accessible au public et n'importe qui pourrait intervenir. Il resterait alors le cas du second galet qu'il conviendrait d'élucider.

5.3. Corrélations

S'est posée la question de savoir si les différents signaux XRF pouvaient être corrélés non seulement entre ST7-PR2 et LDG-ST8-EXT mais aussi avec les prélèvements G2, G3 et G4 effectués autour de la butte et étudiés (pour G4) par Faye (2015). Cela a permis de vérifier plusieurs choses. Déjà, si le panier contenait une signature élémentaire aberrante ou non. De même pour la carotte extérieure. Enfin le calage des courbes pourrait permettre d'estimer l'âge des dépôts du panier ou de la carotte, les prélèvements G2, G3 et G4 ayant été datés à certains niveaux (par F. Eynaud).

Pour le calage des courbes, les profondeurs ont toutes été fixées par rapport à la corrélation des signaux XRF du rapport $(Sr+Ca)/(Si+K+Al)$. En effet, la courbe de LDG-ST8-EXT se prêtait particulièrement bien à une superposition avec celle de G2 (Figure 21A). On remarque sur les autres figures que LDG-ST8-EXT se superpose toujours plutôt bien aux courbes des prélèvements G3 ou G4 (Figure 21B et Figure 21C). Les valeurs du ratio sont du même ordre de grandeur voire quasiment les mêmes, tout en présentant les mêmes variations globales. Cependant, le calage n'a été fait que par tâtonnement et ne repose sur aucun repère précis car aucune datation n'a encore été réalisée sur LDG-ST8-EXT. Toutefois, le résultat reste satisfaisant sur chacune des figures.

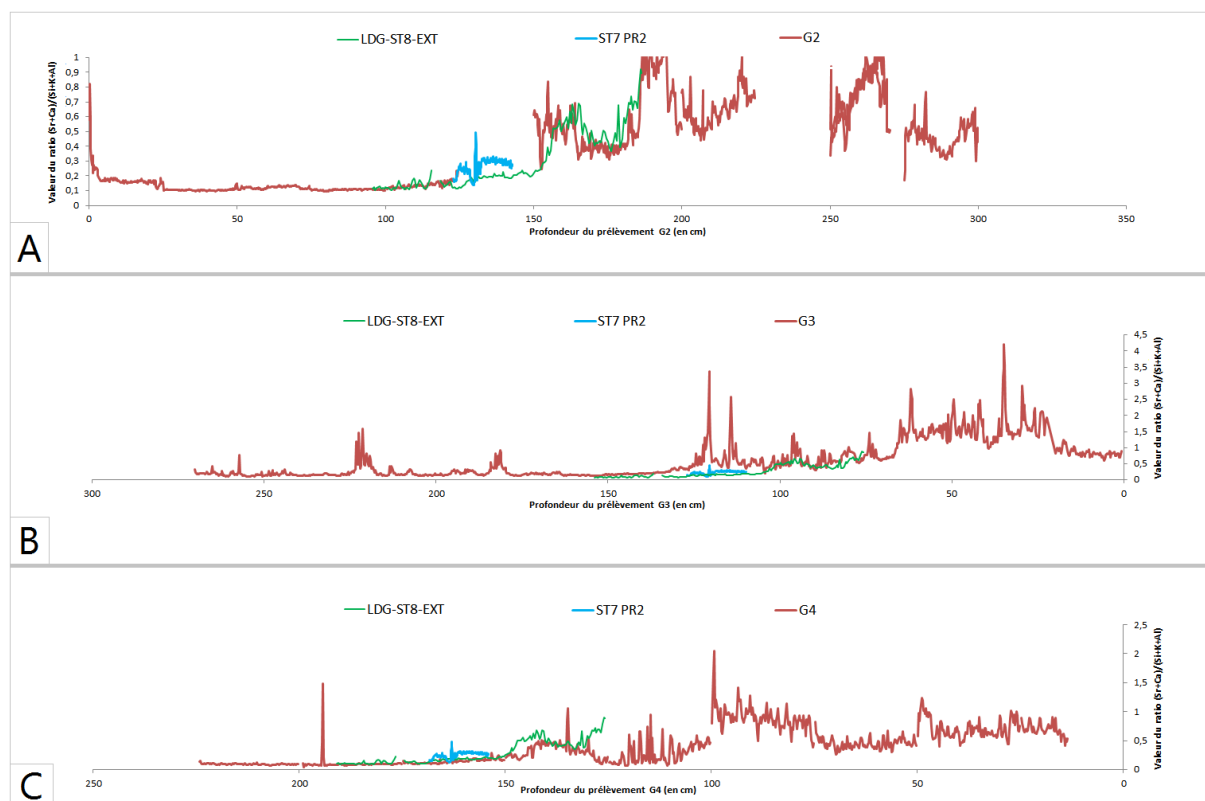


Figure 21 : Comparaison des ratios $(Sr+Ca)/(Si+K+Al)$ entre le panier ST7, la carotte LDG-ST8-EXT et les prélèvements de la butte.

A : Comparaison avec le prélèvement G2 ; B : Comparaison avec le prélèvement G3 ; C : Comparaison avec le prélèvement G4. Le sommet des prélèvements est à gauche (échelle inversée pour G3 et G4).

Concernant le panier, son remplissage présente lui aussi des valeurs de ratio tout à fait dans le même ordre de grandeur que les prélèvements G2 à G4 (Figure 21). Les variations de valeur des ratios ne sont cependant pas les mêmes comme avec le prélèvement G3 où le panier ne fait pas apparaître les deux pics entre 100 et 130 cm (Figure 21B). Le panier ST7 posséderait alors une sédimentation légèrement différente de la butte encaissante.

Le graphe des ratios S/Ca montre que, si la carotte LDG-ST8-EXT s'aligne plutôt bien avec le prélèvement G2, ce n'est pas tellement le cas du panier ST7 (Figure 22). Les valeurs décollent en effet, tout en restant dans un ordre de grandeur cohérent avec les autres signaux.

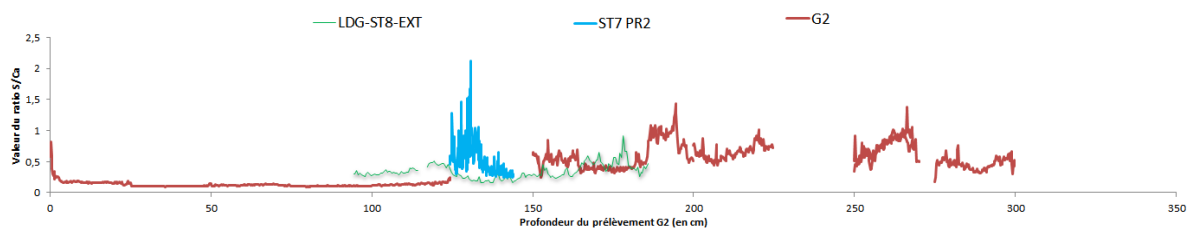


Figure 22 : Comparaison des ratios S/Ca entre le panier ST7, la carotte LDG-ST8-EXT et le prélèvement G2.

Avec l'aide de F. Eynaud, il a été soupçonné que cela pouvait être dû à l'utilisation du panier. Ce dernier servant à la production du sel, il aurait très bien pu servir de cuve où l'on y faisait directement le salage des viandes. Les exsudats alors libérés des viandes pourraient être l'origine de cet excès de soufre au sein du panier par rapport aux niveaux correspondant de la butte.

6. Conclusions et perspectives

Ce mémoire confirme certains points avancés par une étude précédente quant au milieu de dépôt de la base du remplissage du panier ST7. La sédimentation semble s'être effectuée de manière naturelle et dans un type d'environnement spécifique. Cependant, n'ayant étudié que la base du remplissage, les suppositions que nous avons amené nécessitent d'être confirmées par des études ultérieures, notamment sur le sommet du remplissage. Un autre prélèvement du panier (ST7-PRL) attend en effet d'être analysé. A ce jour, seules des lames minces ont été réalisées sur cette autre portion du remplissage de ST7.

De plus, le lecteur doit alors garder à l'esprit que toutes les interprétations qui sont proposées ici quant aux circonstances du remplissage demeurent à l'état de pures hypothèses, ayant principalement basé notre analyse sur des ratios élémentaires utilisés par d'autres auteurs. De ce fait, ces ratios n'ont pas été utilisés sur le même type de sédiment ni dans le même environnement d'où une certaine vigilance à avoir. L'interprétation des ratios élémentaires doit en effet toujours se faire par rapport au contexte environnemental considéré (López Laseras *et al.*, 2006).

Dans le contexte du réchauffement climatique actuel, nul doute que de nombreux autres sites seront révélés par l'érosion des dunes sableuses. Si le site de la Lède du Gurp n'a sans doute pas fini de surprendre par ce qu'il renferme, il disparaîtra malheureusement rapidement d'ici les prochaines années. Il est donc de la plus grande importance d'effectuer très vite toutes les manipulations nécessaires à sa compréhension globale.

Bibliographie

- Allen G. P., Bouchet J. M., Carbonel P., Castaing P., Gayet J., Gonthier E., Jouanneau J. M., Klingebiel, Latouche C., Legigan P., Orgeron C., Pujos M., Tesson M., Vernet G.** (1974) - Environnements et processus sédimentaires sur le littoral Nord Aquitain, bulletin institut de géologie du bassin aquitain, 181 p.
- Bertrand P., Shimmield G. B., Martinez P., Grousset F. R., Jorissen F., Paterne M., Pujol C., Bouloubassi I., Buat-Menard P., Peyrouquet J. P., Beaufort P., Sicre M. A., Lallier-Verges E., Foster J. M., Ternois Y.** (1996) - The glacial ocean productivity hypothesis: the importance of regional temporal and spatial studies. *Mar. Geol.*, 130: 1-9.
- Bravard J.-P. & Peiry J.-L.** (1999) - The CM pattern as a tool for the classification of alluvial suites and floodplains along the river continuum. In Marriot S. & Alexander J. (Eds.) *Floodplains: Interdisciplinary Approaches*. Geological Society of London. 259-268.
- Buffault P.** (1897) - Côtes et les dunes du Médoc : littoral ancien, littoral actuel. Bibliothèque nationale de France. 316 p.
- Caley T., Zaragosi S., Bourget J., Martinez P., Malaizé B., Eynaud F., Rossignol L., Garlan T., Ellouz-Zimmermann N.** (2013) – Southern Hemisphere imprint for Indo-Asian summer monsoons during the last glacial period as revealed by Arabian Sea productivity records. *Biogeosciences*. 10. 11. p. 7347- 7359.
- Clave B.** (2001) - Evolution des paléo-environnements côtiers à l'Holocène : exemple de l'Aquitaine septentrionale. Thèse. Université Bordeaux 1. 316.
- Courrèges M.** (1997) - Le crypto-karst de la péninsule du Médoc. Crypto-altération, dissolution, karst sous-marin et évolution quaternaire [The covered karst of the Medoc peninsula. Crypto-alteration, dissolution, submarine karst and quaternary evolution.]. *Quaternaire* 8. 289–304.
- Faye S.** (2015) - Paléoenvironnements sédimentaires du Nord Médoc à l'Holocène. Université de Bordeaux. Master 2 Océanographie. 39p.
- Fenies P.** (2016) – Formation Holocène du Gurg - Analyse du remplissage sédimentaire d'un panier néolithique. Université de Bordeaux. 12p.
- Fèvre Y.** (2005) - Mécanismes et vitesses d'érosion à l'échelle géologique sur une île volcanique jeune à relief élevé - La Réunion (Océan Indien). *Hydrologie*. Université de la Réunion.
- Google Earth** (2017) – Données cartographiques. Logiciel Google.
- López Laseras P., Navarro E., Marce Romero R., Ordóñez Salinas J., Caputo Galarce L., Armengol J.** (2006) - Elemental ratios in sediments as indicators of ecological processes in Spanish reservoirs. *Limnetica* 25. 499–512.
- Malvern** (2017) – Diffraction laser. Site web. <https://www.malvern.com/fr/products/technology/laser-diffraction> (site web consulté en juin 2017)
- Marambat L. et Roussot-Larroque J.** (1989) - Paysage végétal et occupations humaines sur la côte atlantique : l'exemple de La Lède du Gurg. *Bull. de l'Assoc. française pour l'étude du Quaternaire* 2. 73-89.
- Passega R.** (1964) - Grain size representation by CM pattern as a geological tool. *Journal of Sedimentary Petrology*. 34(4). 830-847.
- Perelló M.-C.** (2016) – Granulométrie à diffraction laser : L'échantillon. Poster d'information sur la granulométrie.
- Prins, M.** (1999) - Pelagic, hemipelagic and turbidite deposition in the Arabian Sea during the Late Quaternary: unraveling signals of eolian and fluvial sediment supply as functions of tectonics, sealevel and climate change by means of end-member modelling of siliciclastic grain-size distributions. Ph.D. Thesis, University of Utrecht, 192 pp.
- Richter T. O., Van der Gaast S., Koster B., Vaars A., Gieles R., de Stigter H. C., de Haas H., van Weering, T. C. E.** (2006) - The Avaatech XRF Core Scanner: technical description and applications to NE Atlantic sediments. Geological Society, London, Special Publications, 267(1), 39-50.

Roussot-Larroque, J. (1995) - La séquence néolithique de la Lède du Gurg et sa chronologie. Rev. Archéol. Ouest, supplément n°7, 75-87.

Roussot-Larroque, J. (1997) - Eight millenia under the sand dunes : a detailed Holocene sequence on the atlantic shoreline in the north Médoc : La Lède du Gurg. Rapport INQUA, Réunion Bordeaux, 19-25 Avril 1997.

Toucanne S. (2008) – Reconstruction des transferts sédimentaires en provenance du système glaciaire de mer d'Irlande et du paléo-fleuve Manche au cours des derniers cycles climatiques. Thèse. Université Bordeaux 1. 370 p.

Verdin F. (2016) – Compte-rendu de la mission effectuée au laboratoire Arc Nucleart. *Suite de l'étude de la structure en clayonnage ST7 (3325-2940 cal BC)*. Document non publié. CNRS. Ausonius.

Wentworth, C. K. (1922) - A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. The Journal of Geology, 30(5), 377-392.

Annexes