



Paléoenvironnements sédimentaires du Nord Médoc à l'Holocène

Par: Simon Waly Faye

Sous la direction de : Frédérique Eynaud

Master 2 Océanographie
Parcours "Enregistrements sédimentaires et paléoclimats"

Année Universitaire
2014-2015



INTERLABEX LASCARBX COTE

Remerciements :

Ce présent mémoire n'a pu être fait que grâce au concours de nombreuses personnes auxquelles je tiens à rendre hommage.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadrante, Madame Frédérique Eynaud, qui m'a donné l'opportunité d'enrichir mes connaissances dans le domaine de la recherche. Son rigueur dans le travail, sa patience, sa disponibilité constante nous ont permis aujourd'hui d'aboutir aux résultats escomptés.

Qu'elle soit rassurée de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance.

Je remercie également toute l'équipe technique de l'EPOC ainsi que l'ensemble du personnel de la Plateforme Technique Analyse des Carottes Sédimentaires (PACS). Je veux citer Isabelle Billy, Pascal Lebleu, Olivier Ther, Ludovic Deveaux, Marie-Hélène Castera, Stéphane Bujan, Hervé Deriennic sans qui ce présent mémoire ne serait possible.

Un grand merci à Monsieur Zaragosi pour sa disponibilité et son aide inestimable pour le projet SIG.

Ce travail a pu être fait grâce à l'appui financier du projet IDEX InterLabEx COTE/LASCARBX que nous tenons à remercier profondément.

Je tiens à remercier également mon ami, mon frère Jean Paul Faye pour son soutien moral et ses encouragements lors des moments difficiles.

Mes profonds remerciements et ma profonde gratitude vont à mes parents, ils m'ont soutenu, encouragé et aidé tout au long de mon cursus. Ce présent travail vous est dédié.

A mes amis de fortune, sans qui la vie à Bordeaux serait morose, je vous dis un grand merci.

Je pense naturellement à J-P. Barthelemy, M. Sylla A. Dieng.

Au moment d'achever ce mémoire, mes yeux fixés vers l'avenir, mes pensées vont tout naturellement vers mes collègues à qui je souhaite pleine réussite et une brillante carrière dans la recherche.

Dioko Dial.

« Pourquoi désespérer quand une situation se retourne si facilement ?
Pourquoi croire que tout est perdu quand la chance est sur le point de te sourire ?
Rien n'est définitif à la surface de la terre.
Quand rien ne va plus c'est que tout est entrain de bien aller bientôt »

Maxime

Résumé

Le site archéologique de la Lède du Gurp présente un intérêt inestimable dans la reconstitution paléogéographique du littoral aquitain en raison des vestiges archéologiques qu'il renferme. En effet, ce site a fait l'objet de plusieurs études depuis la fin du 19^{ème} siècle dans le but de décrire sa stratigraphie et de la mettre en relation avec les occupations humaines successives. Autrefois enseveli sous la dune, il forme aujourd'hui une butte résiduelle de presque 3 m qui représente le dernier vestige du site archéologique. Une synthèse des travaux antérieurs associée à de nouvelles techniques d'investigations et d'analyses (analyse d'image : RX, spectrocolorimétrie, de données XRF et granulométrie Malvern) nous ont permis d'étudier la lithostratigraphie de la séquence holocène de la Lède du Gurp. Les sédiments, essentiellement tourbeux, se sont mis en place dans une dépression au sein de laquelle se sont interstratifiés des faciès sableux et argileux. L'hypothèse que nous privilégions pour l'origine de la dépression est un thermokast de type alass qui s'est mise en place à la fin du Pléistocène après le retrait de la couverture périglaciaire en Aquitaine.

Mots clés : Holocène, Changements côtiers, Lède du Gurp, Stratigraphie, Paléoenvironnements du Médoc, Soulac/Mer

Abstract

The archaeological site of the "Lède du Gurp" present an inestimable value regarding the paleogeographic reconstitution of the Aquitaine coast because of the archeological remains it contains. Indeed, since the late 19th century, this site was the subject of several studies in order to describe the stratigraphy in connection with the successive human occupations. Once buried under the dune, it forms now a residual hill of 3 m high which represents the last vestige of the archeological site. A summary of previous work associated with new investigations and analysis techniques (Image analysis: RX, spectrocolorimetry, XRF and particle size data Malvern) allowed us to study the lithostratigraphy of the Holocene sequence of the "Lède du Gurp". The sediments, mostly composed of peats, were set up within a depression and show interbedded sandy and clay facies. The hypothesis that we favor for the origin of depression is a thermokarst which were set up in the late Pleistocene after the withdrawal of the periglacial cover Aquitaine.

Keywords: Holocene, Coastal change, Lède du Gurp, Stratigraphy, paleoenvironment of Medoc, Soulac/Mer

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. Présentation de la zone d'étude	1
2.1. Cadre structural et géologique.....	2
2.2. Intérêt archéologique du secteur.....	3
3. Matériels et méthode.....	5
3.1. Mission sur le terrain.....	5
3.1.1 Carottage et prélèvement	5
3.1.2 Levés topographiques	6
3.2 Ouverture, description des séries sédimentaires	7
3.3. Analyses non destructives des carottes à la plateforme PACS du laboratoire EPOC.....	7
3.3.1 Radioscopie RX	7
3.3.2 Spectro-colorimétrie	7
3.3.3. Spectrométrie par fluorescence X (XRF)	8
3.3.4 Induration par litholamellage.....	8
3.4. Analyses sédimentologiques et micropaléontologiques.....	8
3.4.1 Extraction des fractions figurées.....	8
3.4.2 Granulométrie Laser.....	9
3.5. Outils géomatiques	9
4. Résultats	9
4.1. Description lithologique et recalage stratigraphique des dépôts.....	11
4.1.1 Carotte Litaq G1	11
4.1.2 Prélèvements Litaq G2, G3, G4	13
4.2. Analyses complémentaires des faciès.....	15
4.2.1 Variations des paramètres granulométriques	15
4.2.2 Morphométrie des échantillons de la carotte Litaq G4	16
4.2.3 Morphométrie des sables inférieurs de la Carotte Litaq G1	18
5. Discussion	18
5.1. Corrélation des carottes sédimentaires	18
5.2. Evolution paléoenvironnementale et stratigraphie de la lède du Gurb à l'Holocène	19
Hypothèse : thermokarst type alass.....	22
5.3. Comparaison des données à l'échelle européenne en relation avec les changements climatiques globaux à l'Holocène dans l'Atlantique nord.....	23
6. Conclusion	25

7. Références.....	26
--------------------	----

Annexes.....	29
--------------	----

Annexe 1. Carte géologique de la péninsule nord médoc redessiné à partir de la Carte Saint Vivien de Soulac 1/50000 (Dubreuilh, 1973).

Annexe 2. Carte Paléogéographique du Nord Médoc à 500 ans BP modifiée d'après Pontee et al. (1998). Le trait en tireté est la côte actuelle.

Annexe 3. Carte Paléogéographique du Nord Médoc à 6000 ans BP modifiée d'après Pontee et al. (1998). Le trait en tireté est la côte actuelle.

Listes des Figures et des Tables

- Figure 1. Localisation du site d'étude de la Lède du Gurp (point bleu ; carte géologique retravaillée sous ARCGIS d'après Bosq, 2014). p2
- Figure 2 : Equivalence des périodes climatiques (terminologie continentale) et archéologiques pour les derniers 70 000 ans. Source : Carte géologique de St Vivien de médoc, 1972. p4
- Figure 3. Armature de fosse ou nasse (source : Florence Verdin) p4
- Figure 4. Vue actuelle du site p4
- Figure 5. Prélèvement de G1 au niveau de la dune par le carottier Amaury. p6
- Figure 6. Levés topographiques des prélèvements du site de la Lède du Gurp (Points rouges). Le fond de carte utilisé (@google map) est antérieur à l'hiver 2014 alors que le site était encore rattaché à la dune...Source : S. Zaragosi et données M. Bosq (2015)- rapport de fouilles LDG p6
- Figure 7. Localisation des sites de prélèvements sur le site archéologique du Gurp, avec : A : vue sur l'estran des points de plaquettages G2, G3 et G4 et du carottage de haut de dune G1 (photographie prise en juin 2014), mise en corrélation avec la coupe type de la pointe de la Négade et ses calages stratigraphiques, (d'après Dubreuihl, 1971) ; B : Topographie du site de fouille de la Lède du Gurp (levée en octobre 2014 d'après Bosq, 2015). p10
- Figure 8. Description de la carotte sédimentaire et données XRF de Litaq G1. p12
- Figure 9. Description de la série sédimentaire et données XRF de Litaq G2. Les datations sont préliminaires et rattachées à la bibliographie, hormis celle de la base de la séquence (plusieurs dates sur bois moyennées à 9800 ans Cal BP ou ka dans la Figure). Mise en garde au lecteur : la série a été prélevée de haut en bas et la côte au sommet est à zéro (inversion pour G3 et G4). p13
- Figure 10. Description de la série sédimentaire et données XRF de Litaq G3. Les datations sont préliminaires et rattachées à la bibliographie, hormis celle de la base de la séquence (plusieurs dates sur bois moyennées à 9800 ans Cal BP ou ka dans la Figure). Mise en garde au lecteur : la série a été prélevée de bas en haut et la côte au sommet est à 270 cm. p14
- Figure 11. Description de la série sédimentaire et données XRF de Litaq G4. Les datations sont préliminaires et rattachées à la bibliographie, hormis celle de la base de la séquence (plusieurs dates sur bois moyennées à 9800 ans Cal BP ou ka dans la Figure). Mise en garde au lecteur : la série a été prélevée de bas en haut et la côte au sommet est à 225 cm. p14
- Figure 12. Paramètres granulométriques dans G3 avec (A) Distribution verticale de la fraction supérieure à 150 μm ; (B) D50 D90; (C) Distribution cartographique des données de granulométrie Malvern G3. p15
- Figure 13. Paramètres granulométriques dans G4 avec : (A) Distribution verticale de la fraction supérieure à 150 μm ; (B) D50 D90; (C) Fraction biogène sur la fraction terrigène; (D) Distribution cartographique des données de granulométrie Malvern p16
- Figure 14. Tableau récapitulatif des observations à la loupe binoculaire de G4 dans la fraction > 150 μm p17
- Figure 15. Corrélation des carottes G1 à G4 à partir de la description visuelle et des données XRF. p 19

Figure 16. *Paléogéographie du littoral aquitain modifiée d'après Gensous, 1971. 1 : chenal principal de la Gironde ; 2 Chenal de Soulac ; 3 : chenal du Gulp*
p20

Figure 17. *Etape simplifiée de la formation d'un themokarst (Costard et Kargel, 1995). 1 : Fossé annulaire. 2 : Dépression quasi circulaire. 3 : Dépression thermoclast. 4 : Allass. Sources des exemples de thermoclasts : (A) Matt Morney, 2011, (B) Constantine Alexander, 2013 (C) Tonolio et al.2009, (D) Agafonov, 2004.*
p22

Figure 18. *Régime des tempêtes et configurations de la NAO (Van Vliet Lanoë et al., 2014b).*
p 25

Tableau 1 : *Récapitulatif des prélèvements des missions LITAQ (2014 et 2015). En gras sont surlignés les prélèvements étudiés dans ce travail. Les sites de la Glaneuse ne seront pas traités ici.*
p 5

1. INTRODUCTION

Ce travail sur les paléoenvironnements sédimentaires du Nord Médoc a été fait dans le cadre du projet Litaq (projet financé par l'interLabEx COTE/ LASCARBX), qui de manière générale a pour but de reconstituer l'histoire à long terme des écosystèmes littoraux et des changements climatiques à l'Holocène du littoral aquitain. Cette zone côtière du sud-ouest de la France a fait l'objet de nombreuses études et on dispose de documents historiques ainsi que de restes et vestiges d'occupation humaine qui s'étalent du mésolithique à la fin du premier âge de fer avec un hiatus au bronze final (Frugier et al., 1982). Le site archéologique dit de la Lède du Gulp, sur lequel nous nous sommes focalisés, est connu depuis la fin du 19^{ème} siècle et a fait l'objet de nombreux sauvetages sporadiques en raison de sa position sur le littoral. En effet cette zone côtière est très vulnérable, elle subit une érosion marine particulièrement offensive. Le site d'étude, qui se trouvait autrefois sous la dune, forme aujourd'hui une butte résiduelle de presque 3m de hauteur positionnée sur l'estran. L'intérêt de ce secteur, tant du point de vue archéologique et géologique, est inestimable car il permet de mieux saisir l'ampleur des changements paléoenvironnementaux et climatiques de l'Holocène dans cette région.

Le but de ce mémoire est d'apporter non seulement des éléments de discussion afin de mieux comprendre l'architecture des dépôts au niveau de la Lède du Gulp mais surtout de reconstituer le contexte paléogéographique en relation avec les changements climatiques à l'Holocène et les occupations humaines successives.

Pour mener à bien cette étude nous nous sommes fixés plusieurs objectifs :

- nous avons tenté de définir un cadre chronostratigraphique cohérent de la séquence holocène du site archéologique de la Lède du Gulp. Pour cela nous avons synthétisé les études antérieures avant de les compléter par de nouvelles investigations.
- nous avons essayé de définir le cadre paléogéographique dans lequel se sont mis en place ces dépôts en relation avec les changements climatiques globaux et l'évolution géologique et géomorphologique du nord Médoc.

Ce présent mémoire est organisé en plusieurs parties. La première partie décrit de façon synthétique le contexte géologique et structural de la péninsule nord médoc ainsi que l'intérêt archéologique de la Lède du Gulp. La seconde partie présente la méthodologie employée. La troisième partie réunit les résultats de nos investigations. Et enfin dans la dernière partie, nous nous proposons de décrire et discuter le cadre chronostratigraphique et paléoenvironnemental de la séquence holocène de la Lède du Gulp.

2. Présentation de la zone d'étude

Notre site d'étude est localisé sur le littoral aquitain au nord de la pointe du Médoc, partie septentrionale de la Gironde dont les limites naturelles sont l'estuaire de la Gironde au nord-est et l'océan Atlantique à l'ouest.

Le secteur ciblé par ce travail concerne plus précisément le lieu-dit de "La Lède du Gulp" en bordure limitrophe des communes de Soulac sur Mer et de Grayan et l'Hôpital (Figure 1).

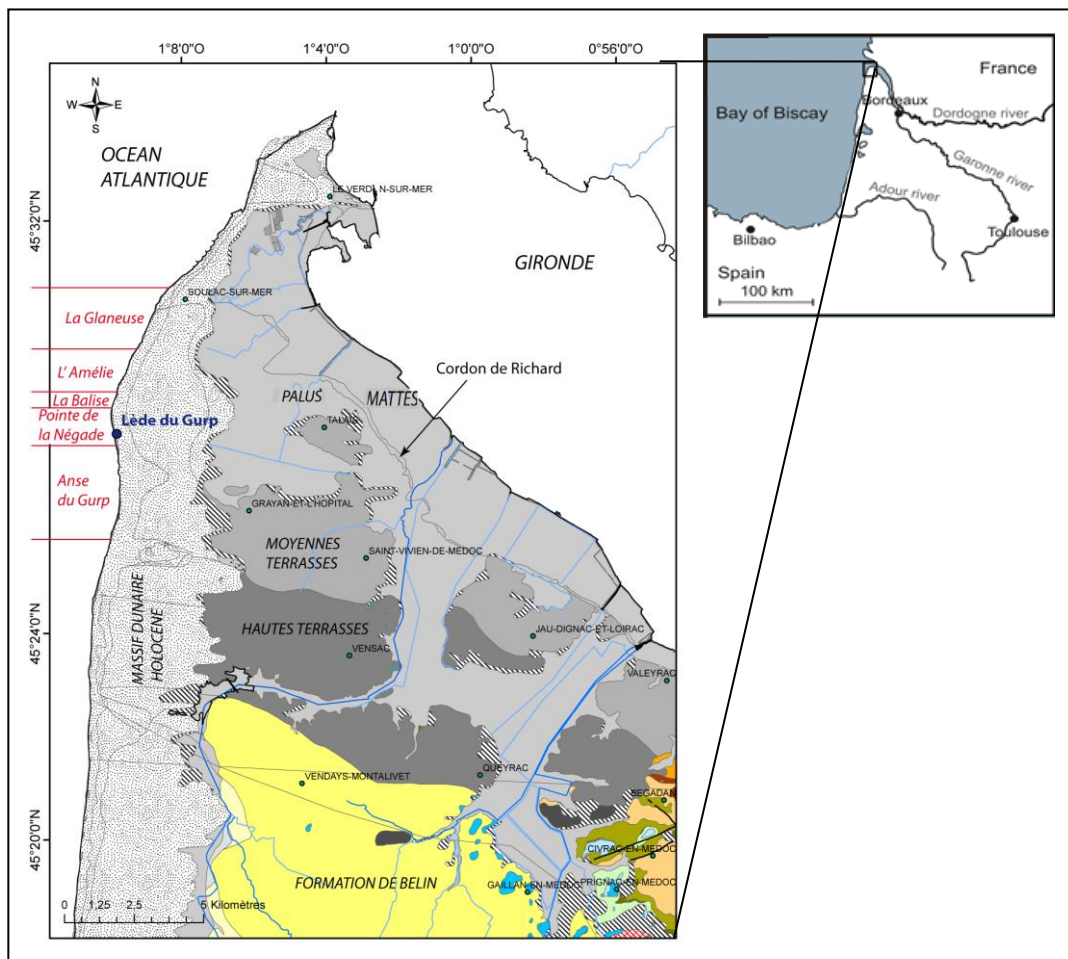


Figure 1. Localisation du site d'étude de la Lède du Gurp (point bleu ; carte géologique retravaillée sous ARCGIS d'après Bosq, 2014)

2.1. Cadre structural et géologique

Les structures géologiques sous-jacentes sont peu exprimées dans le paysage médocain. Dans l'ensemble, la région a une structure monoclinale avec un faible pendage vers le Sud-Ouest (Fabre, 1939). L'étendue des recouvrements alluviaux et éoliens sur la presqu'île du Médoc oblitère le relief des manifestations tectoniques existantes. Cependant, les rares affleurements et les données de forages mettent en évidence une zone synclinale d'orientation WSW-ENE qui se dessine dans les niveaux tertiaires. Le Bas-Médoc est caractérisé par l'importance des formations quaternaires et en particulier de l'Holocène, qui occupent le 9/10^{ème} de la surface totale (Dubreuilh, 1971). D'un point de vue synthétique, on peut donc distinguer selon Coquillas et al. (2004) un substrat anté-holocène et les dépôts récents de l'Holocène :

- **Le substrat anté-holocène** peut être divisé en un socle éocène à oligocène, des terrasses graveleuses pléistocènes et la couverture sableuse de la formation dite du sable des Landes. L'Eocène affleure sporadiquement sous forme de dôme, comme par exemple celui de Couquèques (Courège, 1997). Ces formations tertiaires caractérisent l'armature des reliefs de la région et sont en général couronnées de terrasses graveleuses pléistocènes d'origine fluviale (Figure 1, Fabre, 1939 ; Dubreuilh, 1971 ; Coquillas et al, 2004).

- **Les formations holocènes** du nord-médoc se composent essentiellement de grandes unités sédimentaires s'étendant latéralement à l'estuaire girondin ou parallèlement au littoral atlantique, avec ainsi à l'est les marais estuariens et à l'ouest les massifs dunaires (Pontee et

al., 1998 ; Clavé, 2001). Les marais estuariens occupent les dépressions du substrat. Ils se divisent en deux sous-unités morphologiques distinctes séparées par le cordon sableux coquillier de Richard (Coquillas et al., 2004). Les marais internes localement appelés "palus" sont les plus éloignés de l'estuaire et sont dits anciens. Les marais externes localement appelés "mattes" séparent aujourd'hui les palus des vasières intertidales estuariennes actives. Le cordon de Richard contemporain de l'âge du fer (750 à 50 ans avant J.C, 3000-2000 BP), s'est mis en place entre ces deux séries marécageuses sur une vasière intertidale sous l'action de fortes houles pénétrant dans l'estuaire. Il a isolé les palus de toutes influences marines (Diot et Tastet, 1995) alors que les mattes ont poursuivi leur accrétion jusqu'à l'endiguement au 18^{ème} siècle par les polders hollandais (Figure 1, Allen et al., 1974).

A l'ouest, le long de la côte aquitaine, s'étendent deux générations de dunes holocènes (Tastet, 1998 ; Tastet et Pontee, 1998, Clarke et al., 2002). Ces dunes reposent, le long de la côte atlantique, sur des épandages de sables éoliens d'âge préhistorique. L'un de ces épandages pourrait être contemporain du cordon de Richard. Les dunes dites primaires ont été mobiles des 6 et 11^{èmes} siècles de notre ère. Elles ont ensuite été naturellement fixées par la végétation durant l'optimum climatique médiéval. Les dunes modernes ont été mobiles entre le milieu du 15 et 18^{èmes} siècles (Clavé, 2001). Les mouvements dunaires sont stoppés au début du 19^{ème} par la plantation d'une forêt de pin maritime par Brémontier (Bouscau, 1982 ; Marambat, 1992).

D'un point de vue géomorphologique, ces principaux éléments se reflètent dans la topographie et on distingue d'ouest en est :

- le système dunaire côtier qui borde la façade atlantique, constitué de dunes de différentes morphologies (Tastet, 1998 ; Tastet et Pontee, 1998) dont l'altitude qui augmente du Nord au Sud peut dépasser 60 m.

- une grande étendue de terrain variée ; plutôt plats, entre les dunes et l'estuaire.

Immédiatement en contrebas des dunes, on observe des dépressions humides localement appelées "lette" ou "lède" (d'où tire son nom le lieu-dit de la Lède du Gulp).

2.2. Intérêt archéologique du secteur

Le site de la Lède du Gulp présente, à bien des égards, un intérêt inestimable pour les reconstructions paléogéographiques récentes du littoral aquitain en raison des témoins paléoenvironnementaux et archéologiques qu'il recèle. Les premiers témoignages écrits notant la présence de ces vestiges remontent au 19^{ème} siècle avec les travaux de Buffault (1897). Ce littoral fut habité dès une époque préhistorique reculée, nous renseigne Buffault (1942), puisqu'on a recueillie des traces d'outillages azilien et tardenoisien (12000 à 4000 ans av J.C).

On y trouve entre autres des rognons de silex, des poteries, des grattoirs et divers éclats, récoltés de façon assidue par les préhistoriens et les collectionneurs (Petorin, 1988). Dès 1972, le site est fouillé par G. Frugier, puis par J. Roussot-Larroque de 1984 à 1993, date à laquelle sont alors interrompues les fouilles. Ces travaux ont permis de déceler et définir plusieurs séries d'occupations successives s'étalant du Mésolithique sauveterrien jusqu'à l'Âge de Fer (cf Figure 2 pour équivalences temporelles paléoclimatologiques).

AGE BP	Périodes	
	Archéologiques	Climatologiques ou glaciaires
1000	Proto-historique/ historique	Sub-Atlantique
0/JC		
2000	FER	
3000	Bronze	
4000	Cuivre	Sub boréal
5000	Néolithique	Atlantique
6000		
7000	Mésolithique	Boréal
8000		Préboréal
9000	Epipaléolithique	Tardi glaciaire
10000		
15000	Paléolithique supérieur	Würm 4
20000		Würm 3-4
		Würm 3
40000		Würm 2-3
50000		Würm 2
60000	Paléolithique inférieur	Würm 1-2
70000		Würm 1

Figure 2 : *Equivalence des périodes climatiques (terminologie continentale) et archéologiques pour les derniers 70 000 ans. Source : Carte géologique de St Vivien de médoc, 1972*



Figure 3. *Armature de fosse ou nasse (photo : Florence Verdin)*



Figure 4. *Vue actuelle du site sur l'estran*

Jadis le site était enseveli dans les formations dunaires et une partie affleurerait sous forme de falaise résistant à la marée. Suite aux nombreuses tempêtes de l'hiver 2014, le site formant alors un éperon avançant sur l'estran, s'est définitivement individualisé du cordon dunaire. Il forme ainsi une sorte "d'îlot tourbeux" d'une superficie d'environ 150 m², positionné sur l'estran (Bosq, 2014). Cette individualisation favorise aujourd'hui une érosion progressive de la butte, qui risque sous les flots des hautes marées et les perturbations météoriques et anthropiques de disparaître en apportant avec lui le précieux matériel archéologique qu'il renferme. De ce fait, des fouilles d'urgence ont été conduites en octobre 2014, modifiant profondément l'architecture de la butte aujourd'hui creusée perpendiculairement à la dune. De plus, l'effondrement progressif des parties latérales de la butte, sous l'action de l'érosion marine et de phénomènes de dessiccations, a révélé récemment une armature de fosse ou nasse (observation faite lors d'une visite de terrain pour mon stage le 10/02/2015) actuellement conservé dans l'eau à Ausonius (Figure 3 et 4). Cette découverte spectaculaire nous renseigne, un fois de plus, sur l'intérêt majeur de ce site, qui n'a sans aucun doute pas encore révélé tous ses secrets avant sa disparition inéluctable.

3. Matériels et méthode

Dans le cadre du projet InterLabEX LITAQ de nombreuses techniques d'investigations ont été utilisées afin de mieux comprendre l'architecture des dépôts au niveau de la Lède du Gurp en relation avec les changements environnementaux et climatiques holocènes et les occupations humaines successives.

La partie ci-après détaille le matériel et les techniques utilisées dans ce contexte, ainsi que les collaborations avec d'autres laboratoires, et met en exergue l'approche originale de cette étude qui couple les aspects (pré)historiques et (paléo)environnementaux.

3.1. Mission sur le terrain

3.1.1 Carottage et prélèvement

Le carottage permet d'étudier la succession des sédiments sur plusieurs mètres en continu sans perturbation stratigraphique. Le carottier utilisé pour les prélèvements est le vibro carottier Amaury du laboratoire EPOC, du nom de son créateur. Le dispositif mobile et léger (Figure 5) permet le prélèvement de colonnes de sédiments de nature variée et la conservation des structures sédimentaires. La pénétration peut atteindre 7 m.

Dans le cadre des travaux portés par l'UMR EPOC au sein de LITAQ, des prélèvements par carottages et plaquettages ont eu lieu en mars et octobre 2014, ainsi qu'en février et mars 2015 et ont été associés à des relevés sur le terrain en collaboration avec plusieurs équipes universitaires (UMR Ausonius de Bordeaux Montaigne ; laboratoire PRODIG de l'Université Paris Diderot ; IUEM de Brest et UMR PACEA et BIOGECO de Bordeaux).

La campagne de carottage de 2015 a été menée au niveau de l'estran de "La Glaneuse" et n'a permis qu'un prélèvement court. Les sédiments qui y ont été prélevés feront l'objet d'études ultérieures.

L'une des carottes (G1), intégrée dans le cadre de notre étude, a été prise au sommet de la falaise dunaire du Gurp (Figure 5). Des prélèvements (G2, G3, G4) ont été faits au niveau de l'affleurement de la butte à l'aide de plaquettes en aluminium de 25 cm de longueur. La localisation des sédiments prélevés est répertoriée dans le **Tableau 1**. Des prélèvements plus ponctuels de bois, graines, paléosols et sédiments au niveau de l'affleurement dunaire et au niveau de l'estran ont aussi été effectués sur l'intégralité de la zone d'intérêt (jusqu'au lieu dit "La Glaneuse") en vue de datations et corrélations stratigraphiques.

Carottes	Site	Latitude WGS 84	Longitude WGS	Longueur (cm)
Litaq G1	Lède du Gurp	-1.1544	45.4664	338
Litaq G2	Lède du Gurp	-1.1544	45.4662	300
Litaq G3	Lède du Gurp	-1.1548	45.4662	271
Litaq G4	Lède du Gurp	-1.1547	45.4661	225
<i>Litaq A1</i>	<i>La glaneuse</i>	<i>-1.1396</i>	<i>45.5014</i>	<i>100</i>
<i>Litaq A2</i>	<i>La glaneuse</i>	<i>-1.1396</i>	<i>45.5014</i>	<i>238</i>
<i>Litaq A3</i>	<i>La glaneuse</i>	<i>-1.1411</i>	<i>45.5025</i>	<i>120</i>

Tableau 1 : Récapitulatif des prélèvements des missions LITAQ (2014 et 2015). En gras sont surlignés les prélèvements étudiés dans ce travail. Les sites de la Glaneuse ne seront pas traités ici.



Figure 5. Prélèvement de G1 au niveau de la dune par le carottier Amaury.

3.1.2 Levés topographiques

Des levés topographiques et altimétriques, de chaque prélèvement, ont été réalisés par un topographe de l'INRAP lors de la fouille d'octobre 2014 (Figure 6) et synthétisée dans un rapport de terrain fourni par M. Bosq (2015). L'ensemble de ces points a été repris sous Arcgis.

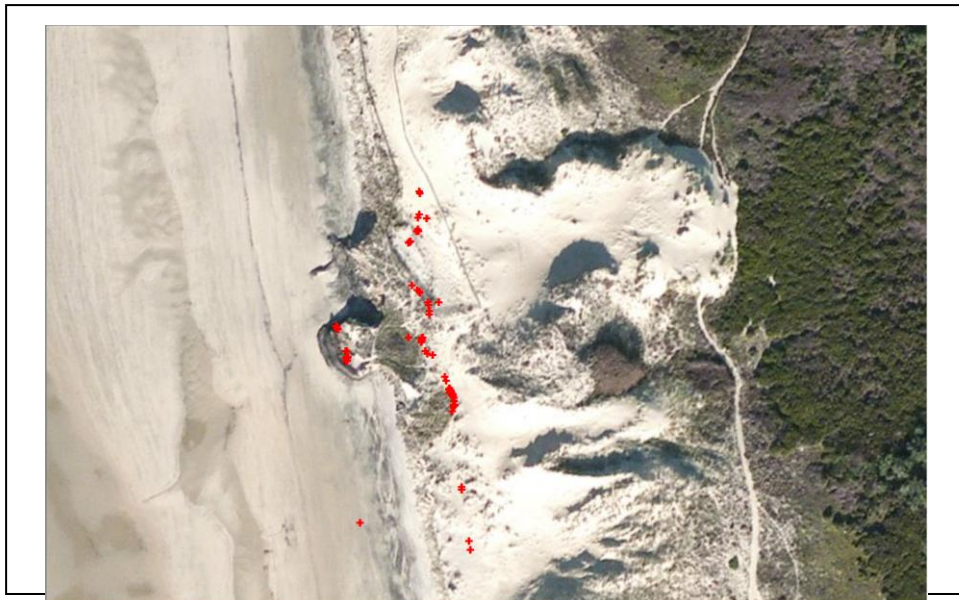


Figure 6. Levés topographiques des prélèvements du site de la Lède du Gurp (points rouges). Le fond de carte utilisé (@google map) est antérieur à l'hiver 2014 alors que le site était encore rattaché à la dune...Source : S. Zaragosi et données M. Bosq (2015)- rapport de fouilles LDG

3.2 Ouverture, description des séries sédimentaires

Les gaines des carottes en aluminium ont été ouvertes grâce au banc d'ouverture de la société Siame Technologies (cf. http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=pf_carottes_banc_ouverture). Cette machine permet l'ouverture propre et précise des archives sédimentaires. L'ensemble des prélèvements a été photographié tout de suite après ouverture à l'aide d'un appareil photo Leica (Cf. http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=pf_carottes_banc_photos) afin d'éviter toutes variations de couleurs liées aux processus d'oxydation. La couleur est calibrée grâce à une charte internationale de couleur "Munsell soil color chart". Un surfacage des sédiments a été préalablement fait.

Le carottage G1 et les plaquettes G2 et G3, intégrées dans ce stage, ont fait l'objet d'études antérieures, notamment pour les stages de Mathieu BOSQ et de Marjolaine SABINE.

Mon travail a été focalisé sur les plaquettes G4, dont le surplus a été échantillonné tous les 1 cm, récupéré et conditionné dans des sachets en vue d'analyses sédimentologiques et micropaléontologiques.

3.3. Analyses non destructives des carottes à la plateforme PACS du laboratoire EPOC

L'ensemble des analyses ont été réalisées entre 2014 et 2015 sur les prélèvements LITAQ G1 à G4 par les personnels dédiés de l'UMR de la Plateforme Technique « Analyse des Carottes Sédimentaires » PACS (I. Billy, P. Lebleu, O. Ther) à la demande de F. Eynaud.

3.3.1 Radioscopie RX

La radioscopie est une technique fortement utilisée en sédimentologie puisqu'elle permet une analyse sans perturbation ni destruction des structures des carottes sédimentaires (Hamblin, 1962 ; Klingebiel et al., 1967 ; Migeon et al., 1999). Ainsi, en soulignant les faibles variations de densité ; la radiographie RX permet une observation détaillée des structures primaires d'origine dynamique (fabrique) ou secondaires (diagénétiques et biologiques) (Bouma, 1964, 1969). L'appareillage utilisé est celui portant le nom de Scopix, développé à l'UMR EPOC (cf http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=pf_carottes_scopix, Migeon et al., 1999).

3.3.2 Spectro-colorimétrie

Le spectromètre Kanonica Minolta CM2000d est un appareil portatif conçu pour mesurer les indices de couleur et brillance du sédiment, soit : SCI (Composante Spectrale Inclue) et SCE (Composante spectrale Exclue). Il sert à analyser la réflectance des matériaux, c'est à dire le pourcentage d'énergie réfléchi par une surface. Cette dernière est basée sur l'analyse des couleurs, qui est la perception de l'œil humain du rayonnement réfléchi dans le domaine visible du spectre électromagnétique situé entre 400 et 700 nm. A partir de ce spectre il est possible d'obtenir plusieurs paramètres : la réflectance totale (L^*) et les variables de Chromaticité (a^* et b^*) (Debret, 2011). Ce système permet de surmonter un grand nombre d'inconvénients du système Munsell en spécifiant l'illumination et en quantifiant la description des couleurs (Balsam et al., 1999). L^* représente la luminance ou la clarté et elle est souvent utilisée comme proxy pour les teneurs en carbonates (e.g., Schneider et al., 1995). Elle est comprise entre 0 (noir) et 100 (blanc). Le paramètre a^* permet de déceler les changements de couleur passant du rouge (+60) ou vert (-60) et b^* mesure le passage de la couleur jaune (+60) au bleu (+60). Chacun de ces paramètres peut être utilisé dans la détermination de la composition des sédiments (Debret et al., 2011).

Dans le cadre de notre étude les plaquettes G4 ont été préalablement lissées pour éviter les variations issues de l'oxydation et des effets de la saturation en eau et les mesures ont été faites tous les 0,5 cm.

3.3.3. Spectrométrie par fluorescence X (XRF)

La spectrométrie par fluorescence est une technique d'analyse non destructive de la composition des sédiments. Elle consiste à bombarder la matière avec des rayons X. La matière réémet de l'énergie sous forme de fluorescence X. Le spectre réémis est caractéristique de la composition de l'échantillon et on en déduit la concentration massique des éléments. Les résultats obtenus sont semi-quantitatifs et donnent une réelle estimation de la variabilité des éléments chimiques d'un enregistrement sédimentaire. Le XRF core scanner utilisé à EPOC (http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=pf_carottes_xrf) recherche donc sur l'enregistrement sédimentaire une variation de la composition chimique en éléments majeurs principalement et en quelques, mineurs et traces) (Richter et al., 2006).

Chaque section a été mesurée sous une tension d'accélération de 10 kv pour les éléments légers puis de 30 kv pour les éléments lourds.

Cette technique permet de faire une analyse de surface sur une aire plane. Les irrégularités de l'échantillon, dues à la rhéologie cassante de la tourbe, n'ont pas permis d'avoir une mesure continue des éléments chimiques sur certains enregistrements sédimentaires. Les plaquettes G4 ont notamment été indurées (cf. ci-dessous), puis mesurées une deuxième fois au XRF, afin d'avoir une estimation continue de la composition chimique.

3.3.4 Induration par litholamellage

L'induration des plaquettes G4 a été faite par Bernard Martin (Atelier de litholamellage d'EPOC, http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=eq_sedimentologie5). Les échantillons ont été préalablement déshydratés sous un circuit fermé par échange eau/acétone, puis placés pendant deux jours sous vide dans un mélange constitué d'une résine epoxy, d'un catalyseur et d'acétone, enfin polymérisés à température ambiante pendant deux semaines. (Cf. http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=eq_sedimentologie7).

3.4. Analyses sédimentologiques et micropaléontologiques

3.4.1 Extraction des fractions figurées

En vue de l'étude microscopique des éléments figurés, plusieurs étapes mécaniques sont nécessaires et consistent en : (1) lavage sous un filet d'eau avec un tamis de 150µm des échantillons prélevés ; (2) récupération et mise à l'étuve des refus ainsi que de la fraction inférieure à 150µm ; (3) après séchage, pesage des poids secs et détermination des pourcentages ; Pour ce travail, nous y avons rajouté : (4) inventaire au microscope des éléments figurés ; (5) appréciation quantitative de la fraction terrigène et biogène.

La fraction inférieure à 150µm a fait l'objet d'un traitement palynologique, grâce à un protocole de traitements par Ludovic Deveaux pour les plaquettes G3 et G4 (Cf. http://www.epoc.u-bordeaux.fr/index.php?lang=fr&page=eq_paleo_pollens). Dans le cadre de notre étude les analyses des pollen ont été confiés à la société "Pollen & Cores" (Célia Baudoin, étude en cours) pour avoir une estimation des assemblages végétaux qui sont intimement liés aux changements du climat.

Plusieurs échantillons ont été envoyés pour datations au laboratoire VERA (Université de Vienne, Autriche) dans le cadre de notre étude. Les échantillons ont été prélevés sur la fraction > 150 µm à différents niveaux de la carotte G4 ainsi que sur des graines et des bois localisés au niveau de la dune et de l'estran de la Glaneuse, et sont en cours. Le principe de datation du radio carbone est le suivant : toute matière vivante contient une faible quantité de carbone 14 radioactif provenant du gaz carbonique de l'atmosphère. Lorsqu'une plante ou un animal meurt, ses échanges avec l'atmosphère cessent et la quantité de C14 qu'il renferme diminue tous les 5570 ans (période de désintégration conventionnelle). Il est alors possible en

mesurant la radioactivité d'un échantillon, de connaître le temps qui s'est écoulé entre la mesure et la mort du végétal ou de l'animal (Magny, 1995).

Cette méthode doit être utilisée avec précautions car des erreurs peuvent être induites par des phénomènes de pollution du matériau (Clavé, 2001).

3.4.2 Granulométrie Laser

Des échantillons prélevés tous les 2 cm, et recueillis dans des plots, ont été analysés grâce à un granulomètre laser malvern. Cette technique est basée sur l'éclairage de la matière par la lumière laser. La quantité de lumière déviée et l'importance de l'angle de déviation permettent de mesurer avec précision la taille des particules. La gamme des diamètres mesurables s'étend de 0,05 à 900 microns avec une option jusqu'à 3,5 mm (cf. Malvern instruments). Le traitement des échantillons a été fait par Béatrice Cosson. Les sédiments ont été préalablement tamisés avec un tamis de 1115 µm pour éliminer la fraction grossière qui pourrait éventuellement bloquer la machine.

3.5. Outils géomatiques

Une partie de ce mémoire était basée sur la représentation et l'analyse de données dans un système d'information géographique. Nous avons recensé les cartes anciennes et paléogéographiques disponibles sur notre site d'étude, que nous avons essayé d'intégrer dans un SIG sous Arcgis. Toutefois nous avons rencontré des soucis, pour le géoréférencement de quelques cartes anciennes, par manque de points de contrôles fiables car le littoral aquitain a énormément évolué entre l'époque gallo-romaine et aujourd'hui. Ce SIG est inclus sous forme de CD en complément de ce mémoire.

4. Résultats

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats que nous avons obtenus, dans le cadre de notre étude, au niveau du site archéologique de la Lède du Gulp (prélèvements G2, G3, G4) ainsi qu'au niveau de la dune (G1) (Figure 7). Dans l'attente des datations ¹⁴C, les arguments chronologiques dont on dispose se basent sur des études antérieures. Ces points de calage chronologiques ont été établis sur la base de datations ¹⁴C (e.g. Dubreuilh, 1971) complétées d'informations issues de vestiges archéologiques et d'analyses palynologiques (cf. principalement synthèse dans Marambat et Roussot Laroque, 1989). Plusieurs datations avaient été également effectuées en 2014 par F. Eynaud, dans le cadre de la collaboration avec le laboratoire BIOGECO, ciblant des bois localisés dans la partie inférieure du site (en tout 6 pièces de bois massifs dont les âges sont compris dans une fourchette allant de 9300 à 10200 ans CAL BP pour une moyenne de 9800 ans CAL BP, F. Eynaud, com. personnelle).

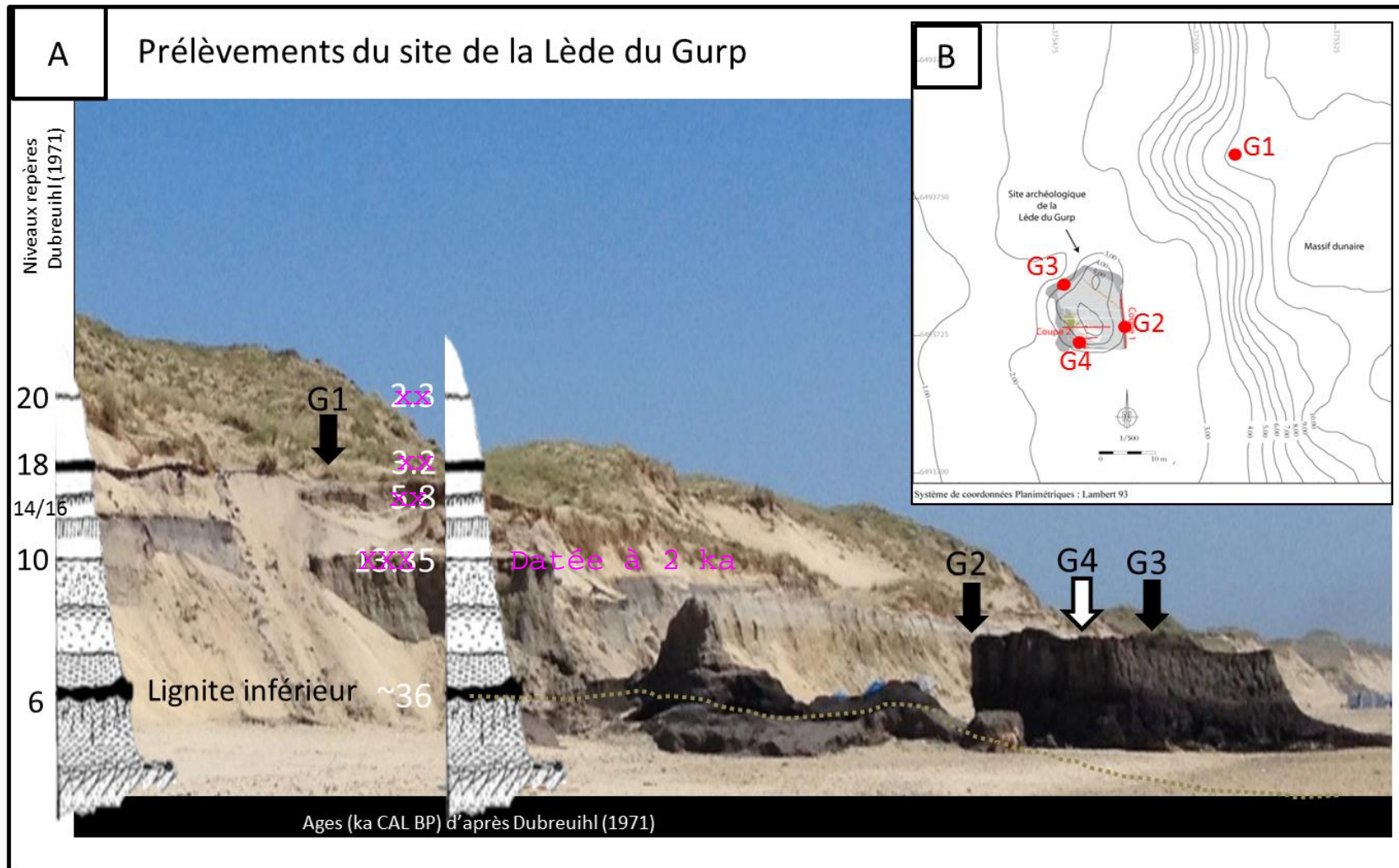


Figure 7. Localisation des sites de prélèvements sur le site archéologique du Gurp, avec : A : vue sur l'estran des points de plaquettages G2, G3 et G4 et du carottage de haut de dune G1 (photographie prise en juin 2014), mise en corrélation avec la coupe type de la pointe de la Négade et ses calages stratigraphiques, (F. Eynaud d'après Dubreuihl, 1971) ; B : Topographie du site de fouille de la Lède du Gurp (levée en octobre 2014 d'après Bosq, 2015)

4.1. Description lithologique et recalage stratigraphique des dépôts

4.1.1 Carotte Litaq G1

La carotte G1, prise au niveau de la dune, répond à un besoin de mieux contraindre les dépôts sur le site archéologique de la lède du Gurp. Sur cette séquence, les dépôts stratifiés composés à la base par des sables à graviers qui passent successivement à des tourbes sableuses noirâtres puis à des dépôts sableux aliotisés à éoliens, sont couronnés au sommet par des sables humiques (Figure 8). Ce site présente l'intérêt d'avoir été déjà étudié par Dubreuilh (1971), dans le but de décrire la chronologie et la dynamique des dépôts éoliens à l'Holocène. Cette étude était basée sur la morphologie des édifices dunaires et sur quelques datations radiocarbone (Figure 7 et 8).

Le niveau à sables et graviers argileux de la base de la séquence G1 (classés comme "sables fluviaux du Gurp" d'après Dubreuilh 1971) est caractérisé par un faciès relativement homogène intercalés avec des niveaux plus argileux. A 210 cm de profondeur la réflectance augmente avec à un pic du rapport Si/Al, révélateur du taux d'élément silicaté, elle est associée à un faciès plus sableux. Au-dessus des sables à graviers argileux, s'identifie un niveau noirâtre bien différencié caractérisé par des tourbes sableuses. Il correspond au niveau 6 de Dubreuilh 1971 (Figure 7). Une datation par ^{14}C sur ce niveau tourbeux (11450 ± 100 ans B.P d'après Dubreuilh 1971, soit ~ 13300 ans Cal BP), suggère une période rattachée chronologiquement à la fin du Bølling-Allerød. La réflectance diminue fortement à ce niveau. Cette diminution est synchrone de valeurs élevées des ratios :

- Fe/Al : révélateur de l'abondance des apports terrigènes (Richter et al., 2006)
- Ti/Al : en relation avec les apports éoliens (Prins, 1999)
- Br/Al : traceur de la matière organique
- Ca/Al : Abondance du carbonate biogénique (Richter et al., 2006)
- Sr+Ca/Si+Al+K : pour tracer les influences marines.

De par ses caractéristiques et les datations obtenues par Dubreuilh (1971), ce niveau précède et pourrait même être contemporain de la mise en place latérale des tourbes à troncs de bois rencontrées à la base des carottes G2, G3, G4 (datations faites en 2014 donnant un âge de 10200 ans CAL BP pour la plus ancienne, autres datations en cours permettant cette vérification).

Ce paléosol est surmonté par des sables éoliens jaunâtres aliotisés (Figure 8) puis par des sables éoliens riches en matière organique, ce qui se traduit par une diminution progressive de la réflectance et une légère baisse des apports silicatés. Ce niveau semble correspondre aux niveaux 14 à 16 de Dubreuilh (1971) et sont datés de 5100 ± 90 ans B.P soit ~ 5800 ans Cal BP, ce qui correspond au Néolithique moyen (Roussot Larroque, 1975);

Entre 40 et 10 cm de profondeur, s'observent des sables éoliens caractérisés par une augmentation de la réflectance et des apports silicatés. Ces dépôts sont coiffés par des sables humiques datés de 3000 ± 90 ans B.P. (Niveau 18 de Dubreuilh 1971, soit 3200 ans Cal BP). Ces dépôts présentent le même signal dans la composition chimique du sédiment que le paléosol datant du Bølling-Allerød (Figure 8).

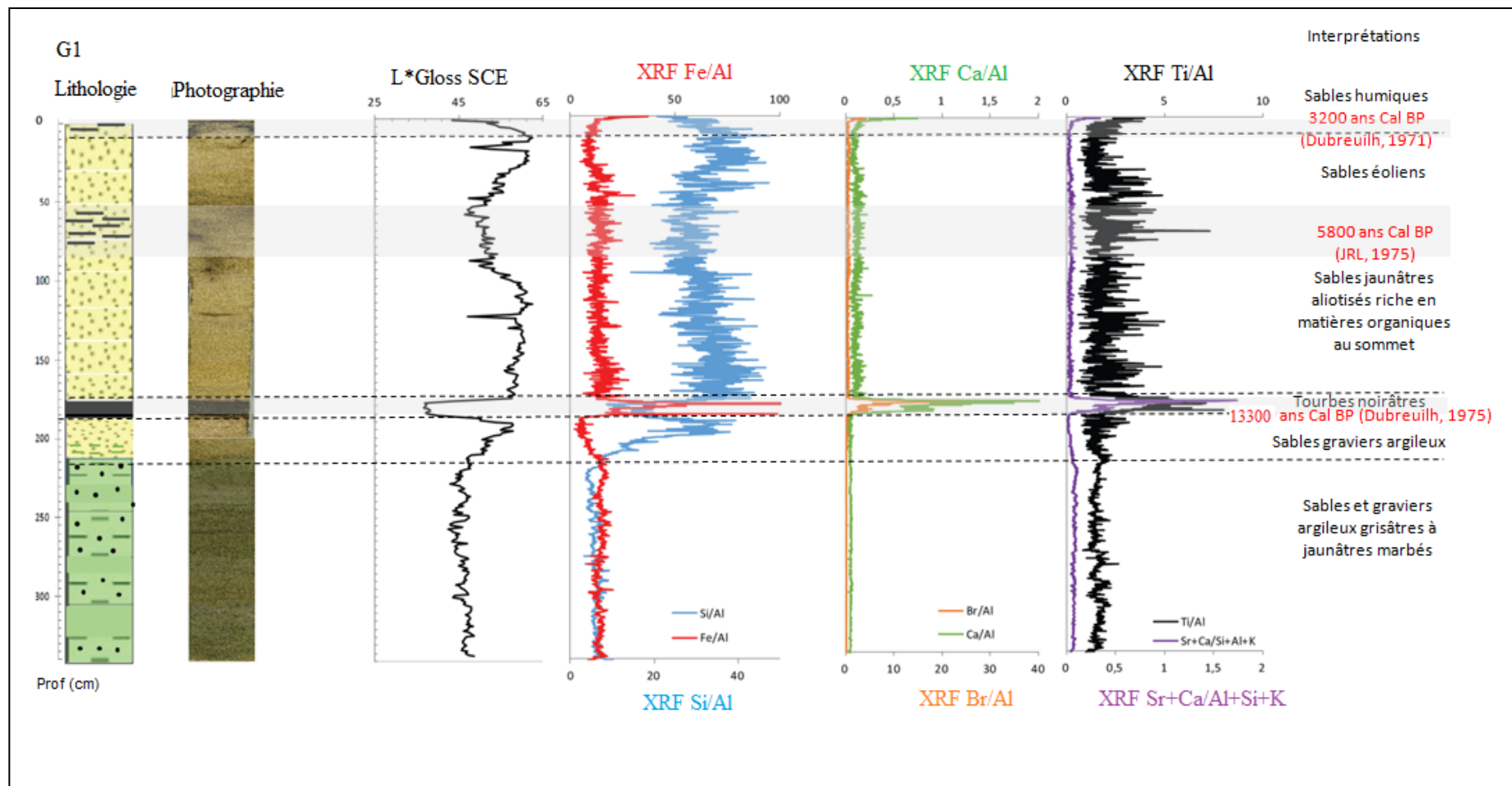


Figure 8. Description de la carotte sédimentaire et données XRF de Litaq G1

4.1.2 Prélèvements Litaq G2, G3, G4

Dans les prélèvements étudiés trois unités ont été mises en évidence à partir de la description visuelle, des analyses granulométriques et des données de XRF et nommées respectivement U1, U2, U3 depuis la base (Figures 9 à 15). Les dépôts stratifiés du site archéologique du Gurp sont composés successivement de tourbes sableuses à argileuses (U1), d'argiles silteuses organiques (U2) coiffées par de tourbes brunes (U3). Ces sédiments se sont empilés sur à peu près 3 m de hauteur et paraissent refléter de rapides changements des conditions locales de sédimentation.

G2, prélevé sur le flan Est du site, est caractérisé à la base par une alternance de tourbes avec des intervalles plus sableux à argileux (U1). Les niveaux les plus tourbeux montrent dans la composition du sédiment un pic sur les ratios Br/Al et $Sr+Ca/Al+Si+K$ et de nombreuse oscillation dans les ratios élémentaires. Ce faciès daterait du Mésolithique au Néolithique (attribution chronoculturelle établie sur la base du mobilier archéologique, Marambat et Roussot Larroque, 1989). Les niveaux les plus sableux sont marqués par un ratio important en Fe/Al et Ti/Al . A 125 cm de profondeur le passage des niveaux sableux aux argiles silteuses organiques (U2) est marqué dans l'imagerie RX par une transition d'un niveau plus clair dans les tourbes à sombre dans les argiles donc plus dense. Cette limite entre les deux faciès pourrait appartenir au Bronze moyen (Marambat et Roussot Larroque, 1989). La sédimentation des argiles silteuses est relativement homogène avec de légères variations de sédiments plus sableuse à organique. Ce niveau passe progressivement à des tourbes brunes (U3) au sommet marqué par une densité plus faible dans l'imagerie RX et une reprise de l'influence terrigène (éolienne et détritique) avec un enrichissement en matière organique (Figure 9).

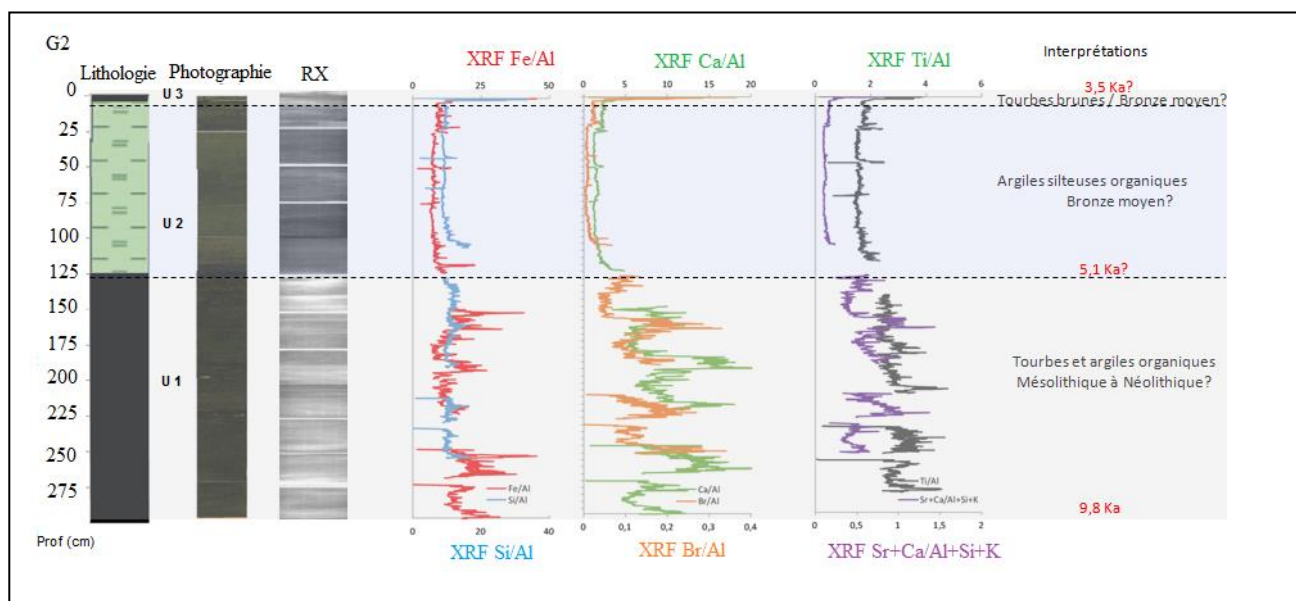


Figure 9. Description de la série sédimentaire et données XRF de Litaq G2. Les datations sont préliminaires et rattachées à la bibliographie, hormis celle de la base de la séquence (plusieurs dates sur bois moyennées à 9800 ans Cal BP ou ka dans la Figure). Mise en garde au lecteur : la série a été prélevée de haut en bas et la côte au sommet est à zéro (inversion pour G3 et G4).

Sur **G3**, qui provient du flan Nord du site, s'observent les mêmes successions de faciès que G2 mais le niveau inférieur le plus bas des tourbes et argiles organiques (U2) semble être beaucoup plus homogène avec des ratios élémentaires beaucoup moins fluctuant. On note aussi une tendance fluviatile ($Sr+Ca/Al+Si+K$) qui diminue progressivement à partir de 150 cm dans la séquence à des événements d'apports terrigènes et éoliens. Le passage des argiles organiques aux argiles silteuses organiques n'est pas net dans cette carotte. Il a été placé

arbitrairement à 150 cm de profondeur (en partant de la base) à partir de la description faite sur les plaquettes.

L'unité intermédiaire (U2) qui serait du Bronze moyen (Marambat et Roussot Larroque, 1989) est caractérisée par une sédimentation argileuse intercalée avec des faciès plus sableux marqués par des apports terrigènes (Fe/Al) à éoliens (Ti/Al) importants (Figure 10).

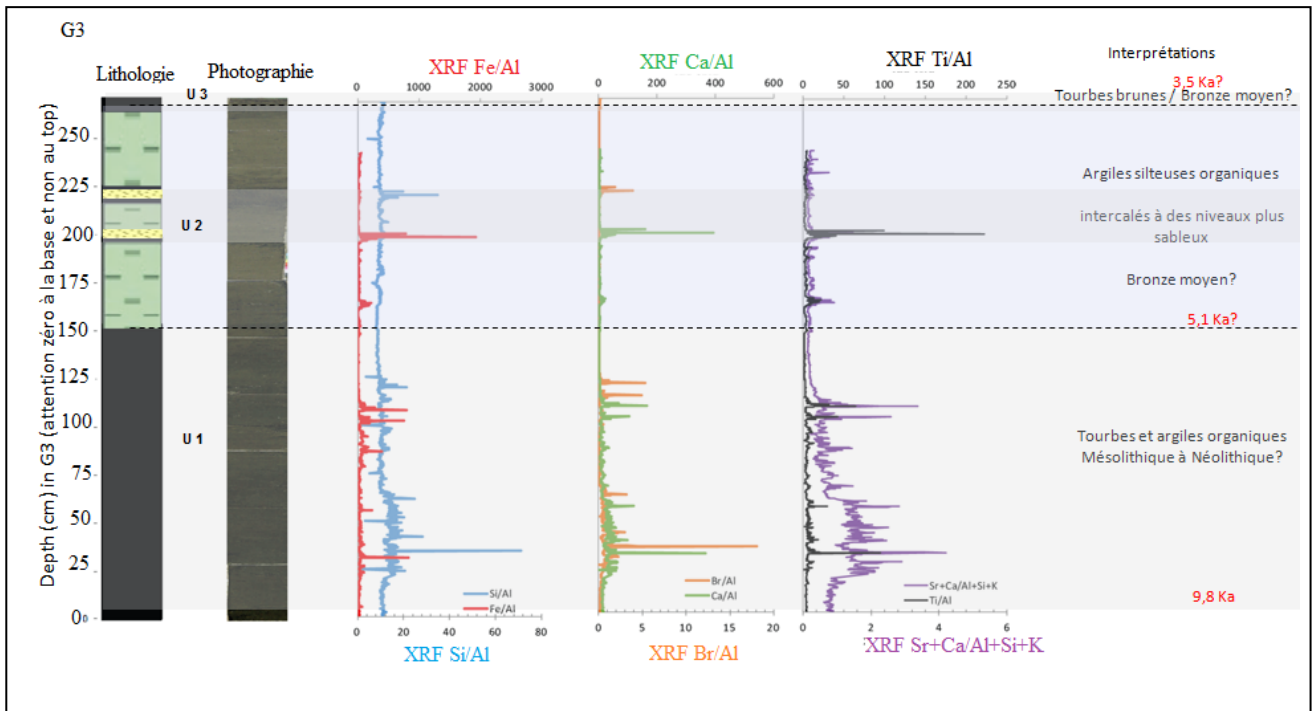


Figure 10. Description de la série sédimentaire et données XRF de Litaq G3. Les datations sont préliminaires et rattachées à la bibliographie, hormis celle de la base de la séquence (plusieurs dates sur bois moyennées à 9800 ans Cal BP ou ka dans la Figure). Mise en garde au lecteur : la série a été prélevée de bas en haut et la cote au sommet est à 270 cm.

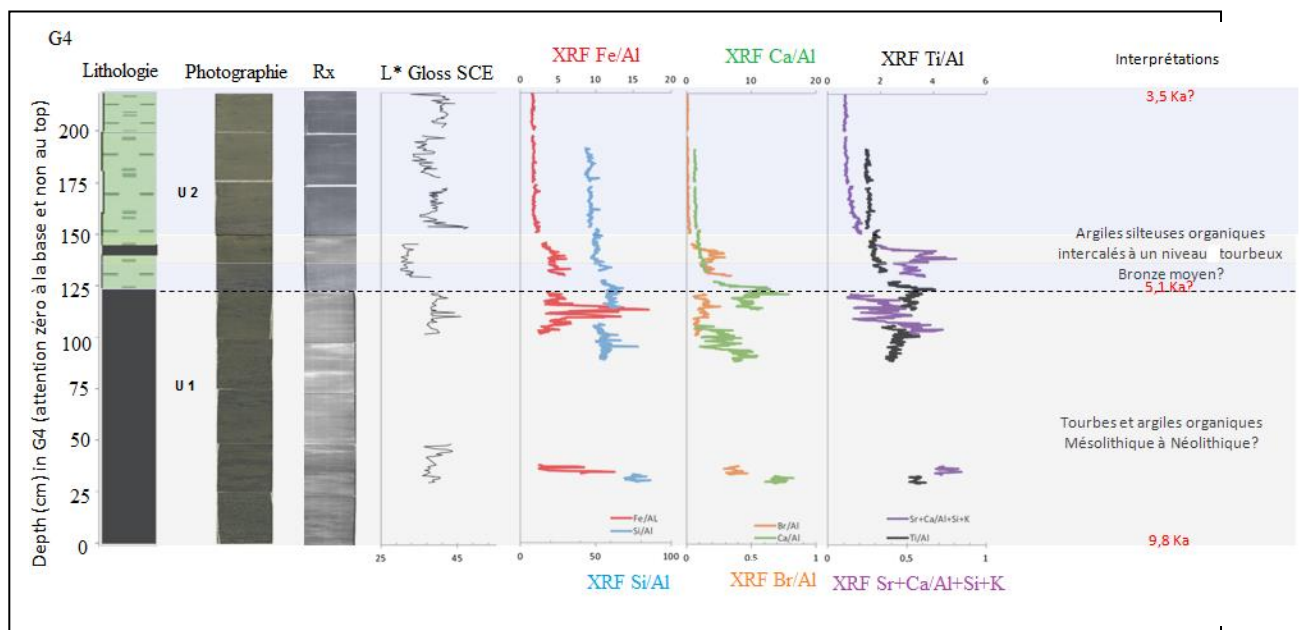


Figure 11. Description de la série sédimentaire et données XRF de Litaq G4. Les datations sont préliminaires et rattachées à la bibliographie, hormis celle de la base de la séquence (plusieurs dates sur bois moyennées à 9800 ans Cal BP ou ka dans la Figure). Mise en garde au lecteur : la série a été prélevée de bas en haut et la cote au sommet est à 225 cm.

G4, située sur la bordure sud du site, répète les mêmes faciès que G2 et G3, les tourbes sableuses et argiles organiques passant à un faciès argileux à 120 cm dans la séquence, en partant de la base. Cette transition est marquée par une diminution des influences marines et des apports terrigènes. On remarque aussi un changement de densité au niveau de l'imagerie RX. Cependant le niveau intermédiaire (U2) à argiles silteuses organiques est intercalé à un niveau plus tourbeux à 70 cm de profondeur (Figure 10).

4.2. Analyses complémentaires des faciès

4.2.1 Variations des paramètres granulométriques

Les prélèvements de G3 et G4 ont été traités en vue d'analyses granulométriques et d'observation morphoscopiques et micropaléontologiques plus poussées. Les données établies à partir des lavages et des analyses granulométriques de **G3** nous indiquent que, sur les 3 mètres du prélèvement : la partie supérieure à 150 μm , recueillie dans le tamis, constitue 10 à 20% du sédiment brut dans U1 et peut atteindre 40% dans U2 (Figure 9A). Le D50 est aux alentours de 37-101 μm et D90 est comprise entre 68-324 μm pour les niveaux les moins sableux de U1 et peut aller jusqu'à 882 μm pour les intervalles les plus sableux (Figure 9B). Le sédiment est relativement bien classé à la base avec une densité élevée des éléments situés entre 4 et 5 ϕ (63-250 μm) (Figure 9C). Dans le faciès argileux (U2), la D90 est comprise entre 165 et 1066 et atteint un pic à 200 cm (Figure 9A). Cet événement est corrélé aux niveaux sableux intercalés dans les faciès argileux (Figure 8). Le sédiment est moins bien classé qu'à la base avec une classe de taille située à environ 1 ϕ (500-400 μm) à 200cm et entre 4 et 7 ϕ (4-63 μm) (Figure 9C). Il est à garder en tête que l'analyse granulométrique, faite sur des sédiments tourbeux, peut être biaisée par l'allongement des fibres ligneuses.

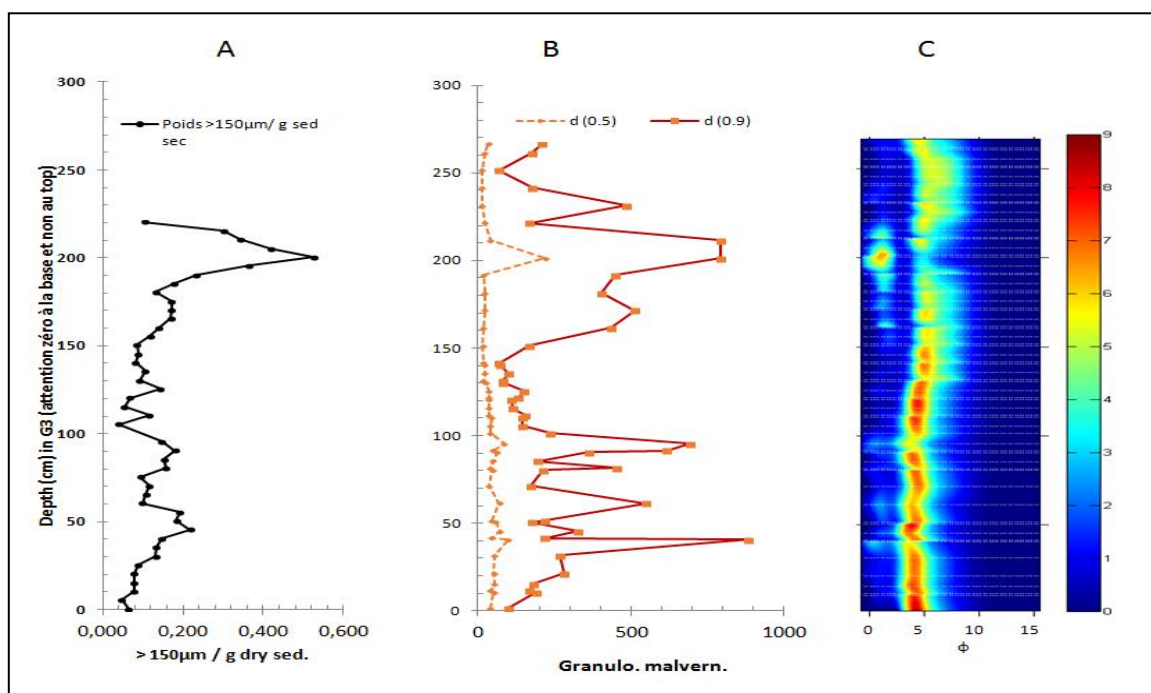


Figure 12. Paramètres granulométriques dans G3 avec (A) Distribution verticale de la fraction supérieure à 150 μm ; (B) D50 D90; (C) Distribution cartographique des données de granulométrie Malvern G3.

Les données établies à partir des lavages et des analyses granulométriques révèlent que dans **G4**, la fraction supérieure à 150 μm varie entre 10 et 30% dans U1 (Figure 10A). La D50 est aux alentours de 27 et 57 μm alors que la D90 est entre 101 et 797. La fraction terrigène est beaucoup plus faible dans ce niveau. Le sédiment est relativement bien classé, avec des

fortes densités qui fluctuent entre 4 et 5 ϕ (63-250 μm) (Figure 10D). Dans le faciès argileux (U2) la fraction terrigène devient plus importante et dépasse 80 % (Figure 10C). Les sédiments sont beaucoup plus fins et varient entre 4 et 500 μm . La D90 augmente aussi dans ce niveau et la fraction supérieur à 150 μm fluctue entre 10 et 20% (Figure 10A). Ce niveau est moins classé que l'unité tourbeuse avec de fortes densités qui varient entre 4 et 7 ϕ (Figure 10).

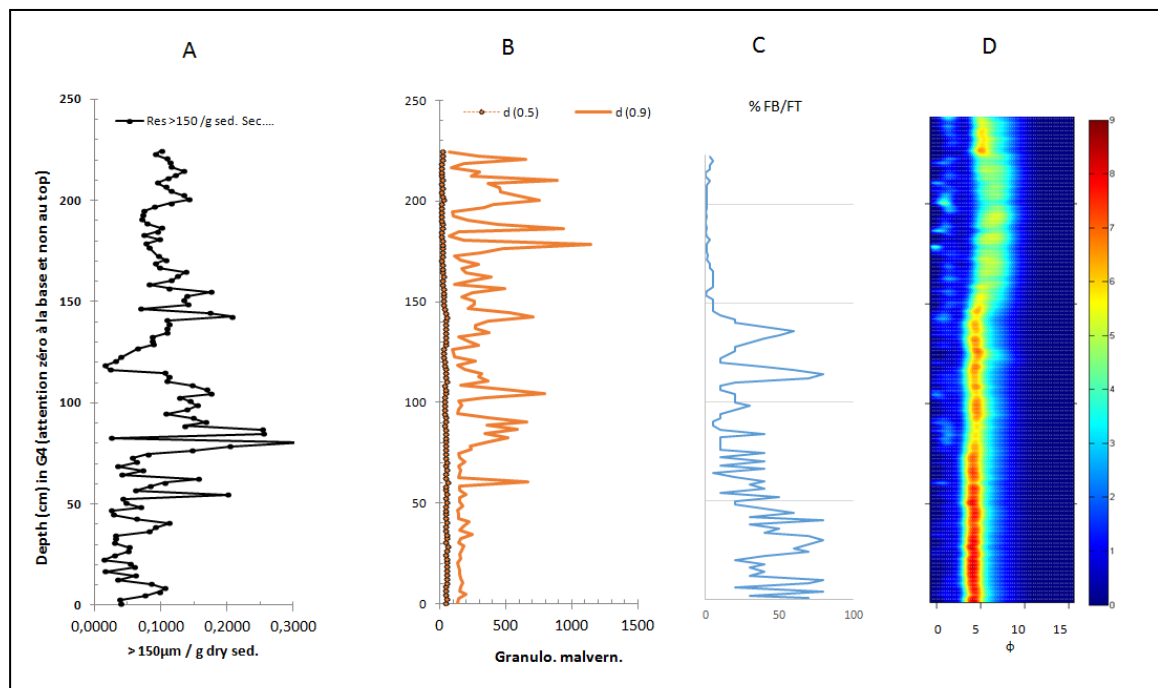


Figure 13. Paramètres granulométriques dans G4 avec : (A) Distribution verticale de la fraction supérieure à 150 μm ; (B) D50 D90; (C) Fraction biogène sur la fraction terrigène; (D) Distribution cartographique des données de granulométrie Malvern

4.2.2 Morphométrie des échantillons de la carotte Litaq G4

L'observation à la loupe binoculaire de la fraction supérieure à 150 μm révèle la présence de quartz, de débris de végétaux, de graines, de bois, de grains ferrugineux et des fragments d'insectes (élytres). Les minéraux lourds et les micas sont rares.

U1 est caractérisée par des tourbes, faiblement voire moyennement sableuses à la base et très sableuses au sommet, riches en débris végétaux filamenteux, en bois et en graines. La fraction biogène peut atteindre 80% de la fraction supérieur à 150 μm dans cette unité. L'étude morphoscopique des grains de quartz révèle une nouvelle distribution. En effet il apparait nettement une prédominance d'éléments anguleux et arrondis jusqu'à 76 cm en partant de la base. Ce qui pourrait être dû à un remaniement de sable d'origine fluvatile. On peut supposer de même une activité aussi bien éolienne que fluvatile. L'intervalle le plus sableux est marqué par une nette prépondérance des grains de quartz arrondis donc d'origine éolienne.

U2, caractérisée par des sédiments argileux compacts plastiques, est marquée par une prédominance de grains de quartz exclusivement arrondis dans la fraction supérieur à 150 μm . La fraction minérale est donc d'origine éolienne. Les graines et les débris ligneux sont rares dans cette unité.

4.2.3 Morphométrie des sables inférieurs de la Carotte Litaq G1

Une analyse sédimentologique a été faite sur les sables et graviers argileux sous-jacents jusqu'au niveau tourbeux daté de la fin du Bølling-Allerød, afin de mieux comprendre les conditions paléogéographiques prévalant à leur mise en place. La morphologie des formations sous-jacente à ces sables et graviers (niveau 10 et 9, Figure 7) est quelque peu perturbée. On remarque la présence de coin de glace et de déformations initialement interprétées comme liées à la cryoturbation (Dubreuilh, 1971 ; Tastet, 1999). Le dépôt sableux serait donc venu coiffer des séries ayant subi des processus périglaciaires.

Les résultats de lavage nous renseignent que la fraction supérieure à 63 µm est constituée essentiellement de quartz arrondis à subarrondis associés à des graviers. Ce faciès est beaucoup plus grossier au sommet. La taille des grains les plus grossiers dépasse 400 µm. Ceci suggère a priori un dépôt mélangeant des grains d'origine éolienne remaniés par des processus fluviaux. Des études plus poussées sur les fractions les plus fines devraient permettre une interprétation plus tranchée.

5. Discussion

5.1. Corrélation des carottes sédimentaires

Afin de définir le cadre chronostratigraphique du site archéologique de la Lède du Gulp, nous avons tenté de corréler les quatre séquences sédimentaires étudiées, en utilisant l'attribution chronoculturelle du mobilier qui y fut trouvé ainsi que les datations ¹⁴C (Marambat et Roussot Larroque, 1989), et la chronologie des épisodes éoliens définie par (Dubreuilh, 1971).

Une étude géologique, mandatée par le SRA (Service Régional archéologique) en 1994, montre que la morphologie des formations encaissantes est quelque peu perturbée au niveau de la dépression. Les argiles du Gulp et les sables inférieurs forment un bourrelet au niveau de la dépression. Les auteurs ont observé la présence de cryoturbations importantes affectant ces dépôts, au contact même du comblement de la dépression. Ils en ont conclu que le remplissage de la dépression était postérieur à des processus périglaciaires.

L'unité 0 d'origine éolienne serait donc issue du remaniement par le vent des sables inférieurs. Au dessus de ce faciès se sont mises en place les tourbes noirâtres (U1) datées à la base à ~13 000 ans CAL BP. De par ces caractéristiques, ce niveau à tourbe serait l'équivalent latéral des tourbes et argiles organiques à la base de G2, G3 et G4. Ces faciès semblent reposer dans la dépression en discordance sur l'ensemble sous-jacent (sables grisâtres marbrés : U0 ?, couche 12 de Roussot Larroque) avec à la base des éléments ligneux renfermant des troncs d'arbres. Les datations obtenues en 2014 à partir de pièces de bois issues du niveau à lignite suggèrent un âge moyen de 9800 ans Cal BP. Au niveau de la dépression (G2, G3, G4), cette unité peut atteindre une épaisseur de 175cm. Ce faciès est intercalé à des intervalles plus sableux avec des changements latéraux de faciès difficilement corrélable entre eux. A proximité de la dépression se met en place au néolithique un système dunaire (Dx) qui recouvre le niveau à tourbe (U1). L'analyse pollinique de la formation Dx révèle une flore froide encore dominée par le pin sylvestre, marquant le début du Post glaciaire (Dubreuil, 1973). L'ensemble de cette séquence (U1) s'étend du mésolithique au néolithique (phase boréale et atlantique de la terminologie climatique).

Ces dépôts sont couverts au niveau de la dépression par des faciès argileux (U2), coiffés par des tourbes brunes (U3). Ces dépôts sont entrecoupés par des épisodes ponctuels U2a au niveau de G4 (présence d'une couche d'inondation temporaire ?), U2b, U2c au niveau de G3 (associées à des pics du rapport Ti/Al et Ca/ Al dus peut être à des apports

éoliens ou à la proximité avec le cordon dunaire). Ces deux unités ont été datées du bronze moyen (Marambat et Roussot Larroque, 1989). Au-dessus des dunes mésolithique à néolithique se met en place un nouveau système de dune parabolique (Dya). Le sédiment de cette formation résulte de matériaux déjà éolisés provenant peut être en partie de la formation Dx (Dubreuilh, 1973). Sur la base des vestiges archéologiques et d'une datation de ^{14}C couronnant le sommet de ce système éolien à Dépe (3200 ans CAL BP), Dubreuil admet que cette formation s'est mise en place pendant l'âge du cuivre et du bronze (période subboréale et début subatlantique). Ce niveau pourrait donc correspondre à la dernière unité au niveau du site archéologique (U3).

Le sommet de la séquence de la Lède du Gurp, telle qu'échantillonnée en 2014, ne témoigne plus de la présence de dunes primaires ou modernes, celles-ci ayant été arasées par érosion puis par décapage lors de la préparation du site. Il s'agit tout simplement de dunes littorales qui recouvraient jadis le site archéologique (Clavé, 2001). Ce site était à l'origine une dépression naturelle humide autour d'une nappe d'eau douce pérenne permettant la formation d'une séquence constituée de niveaux interstratifiés bien individualisés, alternativement argileux, tourbeux et sableux dont l'épaisseur dépasse par endroit 3m (Marambat, Roussot Larroque 1989).

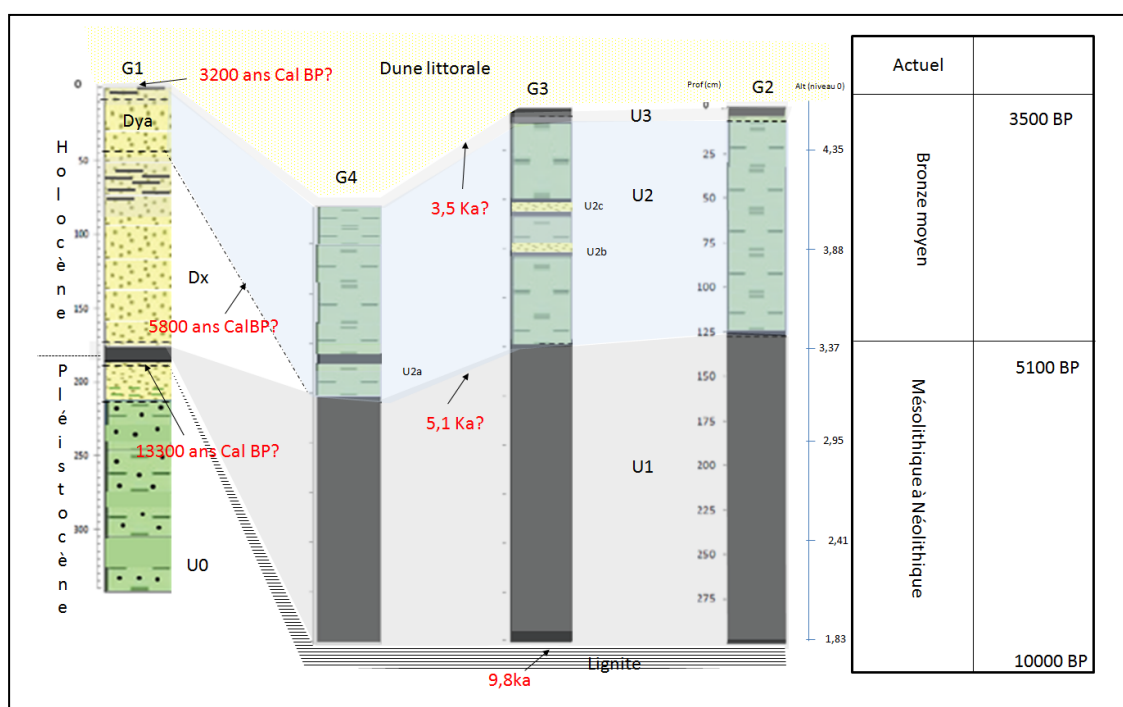


Figure 15. Corrélation des carottes G1 à G4 à partir de la description visuelle et des données XRF.

5.2. Evolution paléoenvironnementale et stratigraphie de la lède du Gurp à l'Holocène

Après la dernière époque glaciaire, l'Holocène marque le réchauffement du climat et une remontée rapide du niveau de la mer. La vitesse de transgression diminue considérablement aux environs de 6000 ans BP, la mer avoisinant alors le niveau actuel (Diot et Tastet, 1995). En effet vers 18 000 ans BP, la transgression flandrienne s'amorce et elle est très rapide puisque entre 13 000 et 9 000 ans BP la ligne de rivage passe de -80 m passe à -40 m. A cette époque la mer envahit largement l'estuaire de la Gironde. En raison de la topographie accidentée du bas-médoc trois bras principaux de la Gironde vont se mettre en place (Allen et al., 1974). L'un au Nord qui prolongeait le chenal principal, un deuxième entre Soulac et le Verdon et un troisième au Sud dans la région du Gurp (Figure 15). Dulignon (1877) nous renseigne que vers la fin du 19^{ème} siècle, un ruisseau non figuré sur les cartes

d'Etat major coulait encore au Gulp. Le prolongement en mer de ce chenal a été mis en évidence par les travaux de Froidefond (1984). Au niveau de la Lède du Gulp, de nombreux auteurs ont ainsi tenté de relier la présence des tourbes argileuses sous dunaires à cet historique (e.g. Roussot Larroque, 1984). Fabre (1939) pense à un remblaiement anté-néolithique associé à la transgression flandrienne, Dubreuilh (1971) suggère un comblement plus ancien anté-wurmien. Petorin (1988) reviendra sur l'hypothèse de Fabre. En revanche le bras de Soulac plus au nord (Figure 15) serait resté actif longtemps après celui du Gulp jusqu'à l'invasion du littoral par les sables des dunes modernes au 5^{ème} siècle (Petorin, 1988).

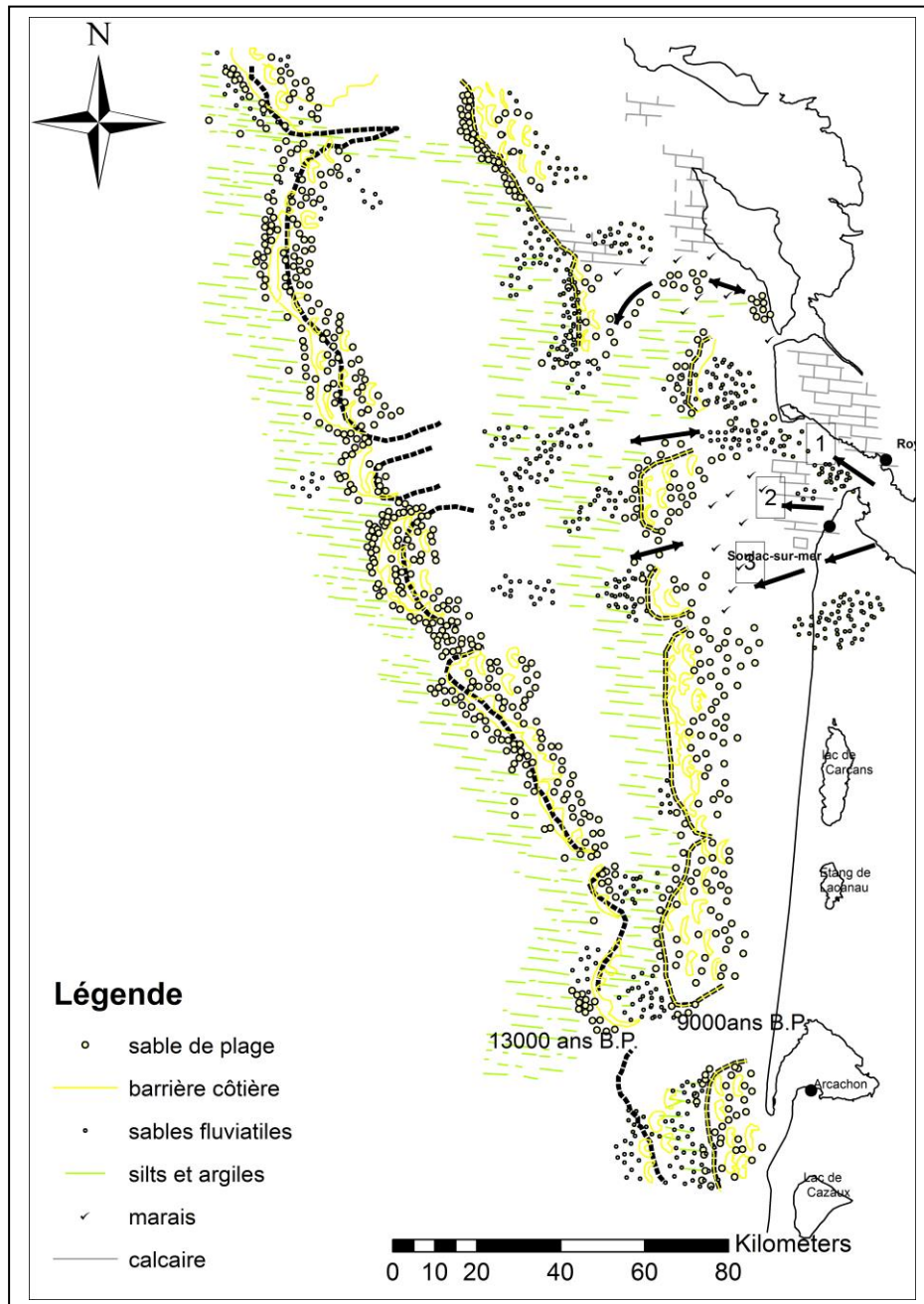


Figure 16. Paléogéographie du littoral aquitain modifiée d'après Gensous, 1971. 1 : chenal principal de la Gironde ; 2 Chenal de Soulac ; 3 : chenal du Gulp

Au cours de la transgression flandrienne, la remontée rapide du niveau marin diminue la compétence de la Gironde et on assiste à l'installation de zones marécageuses sur la plaine d'inondation (Allen, 1970). Au niveau de la Lède du Gulp se développe une sédimentation sablo-tourbeuse d'âge mésolithique à néolithique. Ces dépôts se sont accumulés sur 1,75 m au

niveau d'une dépression puis s'amincissent latéralement et sont recouverts de sables jaunâtres éoliens (Dx) au niveau de la dune. Selon Bosq (2014), cette unité se serait mise en place dans un contexte de balancement de la nappe phréatique. Cette alternance a laissé sur place des couches de tourbes compactes riches en débris organiques séparées par des lits clairs. Cette unité est marquée par une phase de tourbification intense avec le développement d'un couvert forestier comme le démontre la présence de troncs d'arbres enchevêtrés à la base.

L'édification du cordon dunaire Dx a dû se faire dans un contexte de péjoration climatique associée à une intensification du vent et une disponibilité du sable comme en témoigne la présence de flore froide dominée par le pin sylvestre dans ces dépôts. A l'échelle du site ce niveau est marqué dans la dépression par des intervalles plus ou moins sableux qui passent latéralement à des faciès tourbeux. La différence vient-elle des apports éoliens ou de la proximité avec le cordon dunaire induisant des variations latérales de faciès ? Ces tourbes, issues de la dégradation de la matière végétale, se sont mises en place dans un milieu saturé en eau soumis épisodiquement à des apports fluviaux de la Gironde (pics de Sr+Ca/Al+Si+K). Chaque niveau tourbeux porte à sa surface des traces de piétinements d'animaux et de nombreux vestiges archéologiques (Roussot Larroque, 2001). D'après cette auteure, c'est sous le refuge de ces dunes, entre rivière et marécage que ce sont installés les populations méso- néolithiques.

Le Néolithique récent coïncide avec une période humide, le sédiment englobant les sables éoliens riches en matière organique au niveau de la dune. Cette humidité se traduit plus au sud par la réouverture du marais estuarien de Reysson vers 4500 BP, avec les dépôts de sédiment argileux (Diot et al., 2001). A cette période l'estuaire de la Gironde devait être un bras de mer plus large et plus profond que l'estuaire actuel (Klingébiel et Tastet, 1995).

Le bronze moyen coïncide avec une phase de haut niveau des eaux attestée par des dépôts argileux compacts au niveau de la dépression de la Lède du Gurg. Le passage au sédiment plus fin pourrait être dû à l'élévation de la nappe phréatique. Le Gurg connaît une intensification évidente et marquée de l'activité anthropique, avec des traces d'élevage, d'agriculture et de métallurgie, associées au mobilier typique du Bronze moyen médocain : moule, hache, creuset, scories, céramique à pastillage (Roussot Larroque, 2007). Au niveau de la dune on assiste à un remaniement des sables éoliens Dx en édifices paraboliques (Dya).

L'organisation générale des dépôts de l'unité 2 correspond à une accumulation d'argile grise dans un milieu calme de type lacustre ou palustre (Bosq, 2015). Les niveaux marqués par un pic de Ti/Al semblent avoir une origine éolienne. Cette phase atteste d'un développement d'espèce arborée (Marambat et Roussot Larroque 1989). Nous pouvons penser qu'à cette époque la diminution du couvert forestier fixateur due à l'anthropisation du milieu entraîne une augmentation des capacités de transport par le vent. D'où la présence de fraction minérale exclusivement formée de quartz éolien au niveau de cette unité. Lors de la dernière phase, la dépression est comblée par des tourbes brunes qui marquent le retour à des conditions plus humides avec le développement d'un couvert forestier. Le site n'a livré aucun indice du bronze final. Cette déprise agricole n'affecte pas seulement la frange littorale, une bonne partie de France en est affectée (Roussot Larroque, 2001). Pour un demi-millénaire ou plus, le site va être déserté. La réoccupation en masse n'aura lieu que lors d'une nouvelle période humide, correspondant à l'étape moyenne du 1er âge de fer (Roussot Larroque, 2001).

Pour expliquer les conditions paléogéographiques qui ont précédé la mise en place de la séquence holocène de la Lède du Gurg deux hypothèses ont été avancées.

La première, comme vue précédemment, suggère un comblement d'un bras de méandre ou chenal abandonné (Gé et al., 1995). Cependant l'absence de figures sédimentaires (litages, rides de courants, stratification en auges) dans la partie la plus basale du site semble être en désaccord avec cette proposition, même si il faut noter que ces niveaux basaux n'ont pas été entièrement vus et atteints lors de la fouille d'octobre 2014 (Bosq, 2015). L'existence du chenal du Gurg a été mise en évidence dans plusieurs études antérieures, il serait donc hasardeux d'écarter totalement cette hypothèse. La seconde évoque une doline de soutirage ou

d'effondrement (Bosq, 2015), cette hypothèse se base sur les travaux de Courèges (1997) et est renforcée par l'existence de dépressions dues à la karstification dans le bas-Médoc (e.g. Poljé de Reysson, près de Saint Germain d'Esteuilh). Plusieurs arguments non moins substantiels sont en faveur de cette présomption, on peut citer le pendage centripète des dépôts tourbeux et l'isolement du site sur le littoral.

Cependant pour expliquer la mise en place de cette dépression, nous nous proposons de faire appel à d'autres processus dont des phénomènes thermokarstiques de type *alass*.

*Les thermokarst de type *alass**

Les processus thermokarstiques, auxquels nous nous proposons de faire appel pour expliquer la géomorphologie du substrat des dépôts holocènes de la Lède du Gulp, se basent principalement sur des phénomènes de loading, de surpression et de fluidification lors de la dégradation d'un pergélisol.

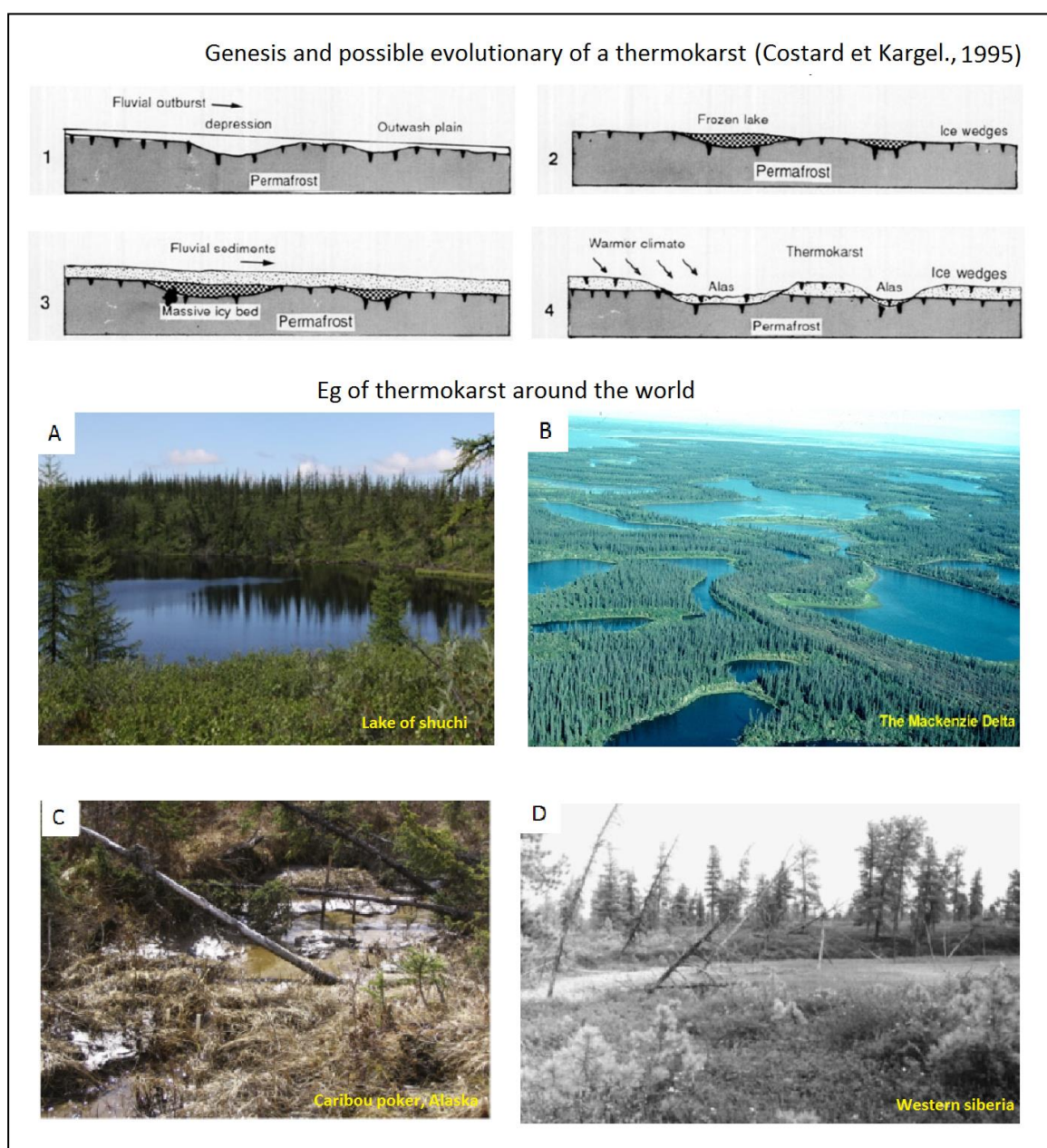


Figure 17. Schéma de formation d'un thermokarst (Costard et Kargel, 1995). 1 : Fossé annulaire. 2 : Dépression quasi circulaire. 3 : Dépression thermoclast. 4 : *Alass*. Sources des exemples de thermoclasts : (A) Matt Morney, 2011, (B) Constantine Alexander, 2013 (C) Tonolio et al. 2009, (D) Agafonov, 2004.

On rencontre ces phénomènes dans les régions de l'île de Summer dans le delta pléistocène du Mackenzie mais aussi en Sibérie, où elles occupent une couche de dégel tardi-wisconsinienne au début de l'Holocène (Murton et French, 1993). Dans plusieurs pays d'Europe occidentale beaucoup de structures et formes périglaciaires sont dues en réalité à ces thermokarsts (Dylik & Rybcynska, 1964). Ces cavités sont produites (ou du moins débutent) par la fonte de réseaux de fente de coin (ice wedge) (Figure 16, Cailleux, 1971). Ces figures témoins d'une couverture périglaciaire ont été notées par Gé (1997) et Tastet (1999) sur les sables inférieurs d'âge Pléistocène qui sous-tendent aux dépôts holocènes de la Lède du Gurd. Au lac Albanal ces thermokarsts coexistent souvent avec des cours d'eaux et des tourbières (Cailleux, 1971). Présomption supplémentaire en faveur de l'origine thermokarstique de la dépression. Au niveau de la mer de Laptev une étude faite par Romanovski et al. (2000) met en évidence plusieurs alass qui ont été formés pendant les périodes 11,5 à 8,5 BP. Ces complexes de glaces de sol ont été mis en relation avec la régression à la fin du Pléistocène (stade isotopique 5 et 3). En se basant sur ces dates ces thermokarsts se sont mis en place à la transition vers la période chaude du Bølling allerød. Cette période coïncide au niveau de la Lède du Gurd avec l'intervalle tourbeux qui enrobe les sédiments supposés fluviatiles qui se trouvent à la base de la dépression témoignant de l'augmentation de l'humidité dans ce secteur.

Sur la base de ces observations, nous pouvons supposer l'existence de processus de pédogénèse de type péri-glaciaires au niveau de la Lède Gurd pendant le Pléistocène terminal associés ou non au bras présumé du Gurd. Le réchauffement du début holocène a dû être associé à des phénomènes de loading (densité plus élevée des couches supérieures), adossés ou non à des processus saisonniers, entretenant la dépression thermokarstique de type alass comme actuellement au sein du delta du Mackenzie. Cette cuvette est devenue un piège où s'est développée une sédimentation turbo-sableuse à argileuse qui a comblé la dépression durant l'Holocène.

5.3. Comparaison des données à l'échelle européenne en relation avec les changements climatiques globaux à l'Holocène dans l'Atlantique nord

Dans cette partie, nous allons tenter de replacer les changements paléoenvironnementaux dans un contexte climatique plus global. L'Holocène a longtemps été considéré comme une période de relative stabilité ou seuls trois épisodes froids notables ont été relevés autour de 11.4-9.2 et 8.2 ka CAL BP (Fernane, 2014). Les principaux facteurs agissant sur le climat à l'Holocène sont l'insolation et les réorganisations internes associées (fonte des glaciers, courants, champs de vents...), ainsi que pour les derniers millénaires l'activité solaire (période historique) le volcanisme et pour la période la plus récente, les activités anthropiques (e.g. Stuiver et al., 1997). L'événement froid de 8200 ans CAL BP est lié à la disparition complète de la calotte de glace laurentienne et au drainage du lac d'Agassiz (Clarke et al., 2004). D'autres épisodes moins spectaculaires ont été reportés dans l'Atlantique nord au cours de l'Holocène, dû à l'advection de glace dérivante provenant principalement de la mer de Labrador et de l'Océan Arctique (e.g. Bond et al., 2001). Cependant les processus qui régissent ces instabilités climatiques infra-orbitales restent toujours sujet à débat. L'insolation n'explique pas à elle seule ces changements climatiques, il a été démontré que l'océan avait certainement joué un rôle amplificateur dans les événements rapides (Fernane, 2014). Des études menées à l'échelle de l'Europe du nord mettent en évidence des périodes de fortes tempêtes à l'Holocène. La plupart de ces tempêtes ont été mise en relation avec des périodes froides (Van Vliet Lanoë, 2014b). La Lède du Gurd est caractérisée par l'édification de système dunaire Dx et Dya au néolithique qui témoigne de conditions climatiques plus froides. Des études montrent que cette période de l'Holocène moyen, où la mer a atteint son niveau actuel entre 5900-5850 ans BP, est marquée par des tempêtes particulièrement importantes ; ces événements tempétueux sont mis en évidence en

Bretagne (Van Vliet Lanoë et al., 2014b). Cette période est marquée par une désertion des habitats côtiers dans le Nord-Ouest de la France par les populations néolithiques contrairement à la Lède du Gурp. Durant cette période la détérioration du climat s'accroît en relation avec l'extension des glaciers dans l'Hémisphère Nord (Denton and Karlen, 1973 ; long et al., 2009 ; Magny et Haas, 2004). L'augmentation des tempêtes au subboréal est en relation avec la reprise de l'AMOC (Atlantique Meridional Overturning Circulation) selon Sorel et al. (2009), et une transition des hautes fréquences de l'oscillation nord-atlantique (Van Vliet Lanoë, 2014b). D'après cette auteure, l'oscillation nord-atlantique (gradient de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression de l'Islande) est le principal phénomène qui contrôle la variabilité climatique en Europe et impacte sur la fréquence et l'intensité des tempêtes.

A 2950 ans BP le climat devient instable (Lamb, 1981), un refroidissement lié à l'activité solaire survient. Cela correspond au Homeric solar minimum (2900-2750 BP, Stuiver et al., 1998), début de l'aggradation des dunes primaires dans le bas Médoc. Les témoins archéologiques au niveau de la Lède du Gурp révèlent un hiatus au bronze final, soit autour de 2500 ans BP. Ce hiatus pourrait trouver des explications dans l'apparition de conditions climatiques non favorables pour les peuplements des zones côtières. Il semble que des mises en eau des marais aient lieu au cours de cet épisode et c'est aussi la période où se met en place le Cordon de Richard (Clavé, 2001). La comparaison de ces résultats avec les données paléoenvironnementales européennes met en évidence la synchronicité des événements à l'échelle ouest européenne. Les données archéologiques mettent en évidence une désertion des zones humides en Europe du Nord et au Pays Bas entre 850 et 100 ans BC ; désertion attribuée à l'apparition de conditions climatiques plus humides (précipitations, inondations, e.g Van Geel et al., 1996). Les dunes primaires auraient été végétalisées naturellement après cette période durant l'optimum climatique médiéval. En Bretagne le maximum d'efficacité des tempêtes, responsable de l'édification des dunes récentes, a eu lieu au cours du petit âge glaciaire (Van Vliet Lanoë et al., 2014). Cette période est synchrone de l'édification des dunes modernes dans le Médoc. Les phases actives de formation de ces systèmes dunaires auraient lieu durant les stades négatifs de l'Oscillation Nord Atlantique (NAO-) en relation avec la disponibilité de matériel sédimentaire (Figure 17, Van Vliet Lanoë et al., 2014b).

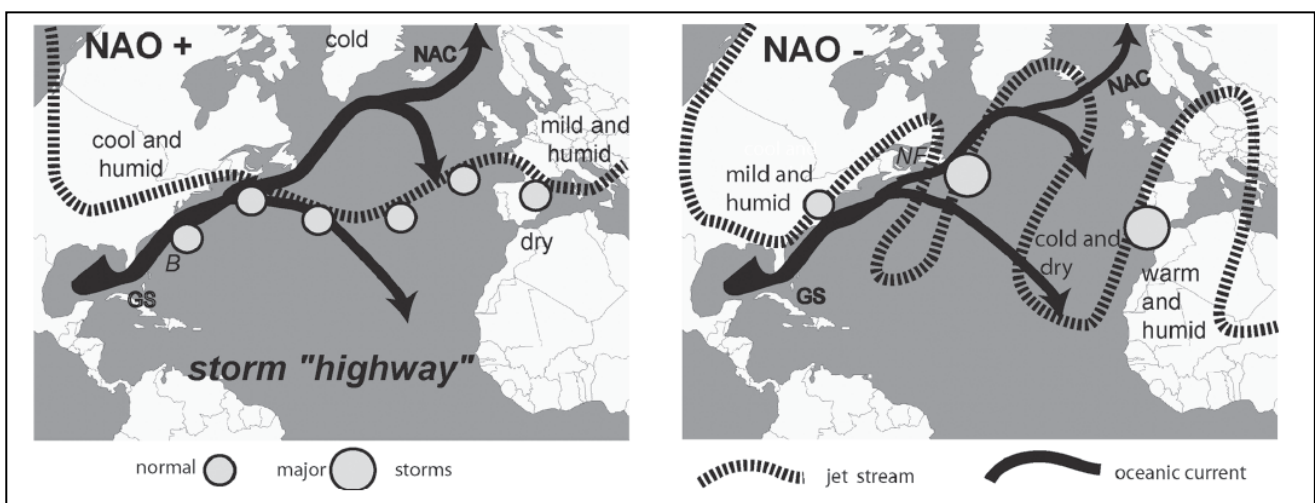


Figure 18. Régime des tempêtes et configurations de la NAO (Van Vliet Lanoë et al., 2014b).

6. Conclusion

Cette étude sur les paléoenvironnements sédimentaires du nord médoc a été faite dans le cadre du projet Litaq. Ce travail nous a permis : (i) de compiler une chronostratigraphie de la séquence holocène du site archéologique de la Lède du Gulp, mais aussi (ii) de discuter du cadre paléogéographique dans lequel se seraient mis en place ces formations, (iii) et enfin de comparer l'évolution des changements côtiers nord-girondins avec les variations climatiques dans l'Atlantique Nord. Les investigations menées en Bretagne révèlent des périodes de fortes tempêtes (Van Vliet Lanoë et al., 2014b) qui semble être synchrones avec l'édification des systèmes dunaires dans le Bas-Médoc.

Cette étude s'est révélée extrêmement enrichissante en raison des techniques d'analyses utilisées pour mieux saisir l'architecture des dépôts. Au niveau de notre site d'étude, des sédiments sablo-tourbeux à argileux ce sont empilés sur plus de 3 m de hauteur dans une dépression d'origine thermokarstique et traduisent un rapide changement dans les conditions de sédimentation.

Les conclusions de cette étude ne constituent à l'heure actuelle que des résultats et interprétations préliminaires dans l'attente de datations supplémentaires et d'étude sédimentologique approfondie sur l'ensemble des prélèvements sédimentaires au niveau de la Lède du Gulp (G2, G3 et G1) afin de mieux contraindre la stratigraphie fine et l'évolution chronologique des dépôts au regard de l'occupation humaine du site.

Dans le but d'améliorer notre connaissance sur les changements paléoenvironnementaux et d'apporter quelques éléments supplémentaires nous préconisons :

- une étude géophysique couplée à un carottage des unités basales pour visualiser la disposition des formations inférieures afin de confirmer l'hypothèse de formation du site.

- un partenariat européen pour faire une étude plus synthétique à l'échelle européenne enfin d'avoir une vision synoptique des changements paléoenvironnementaux côtiers à l'Holocène et les mécanismes forçant les perturbations climatiques.

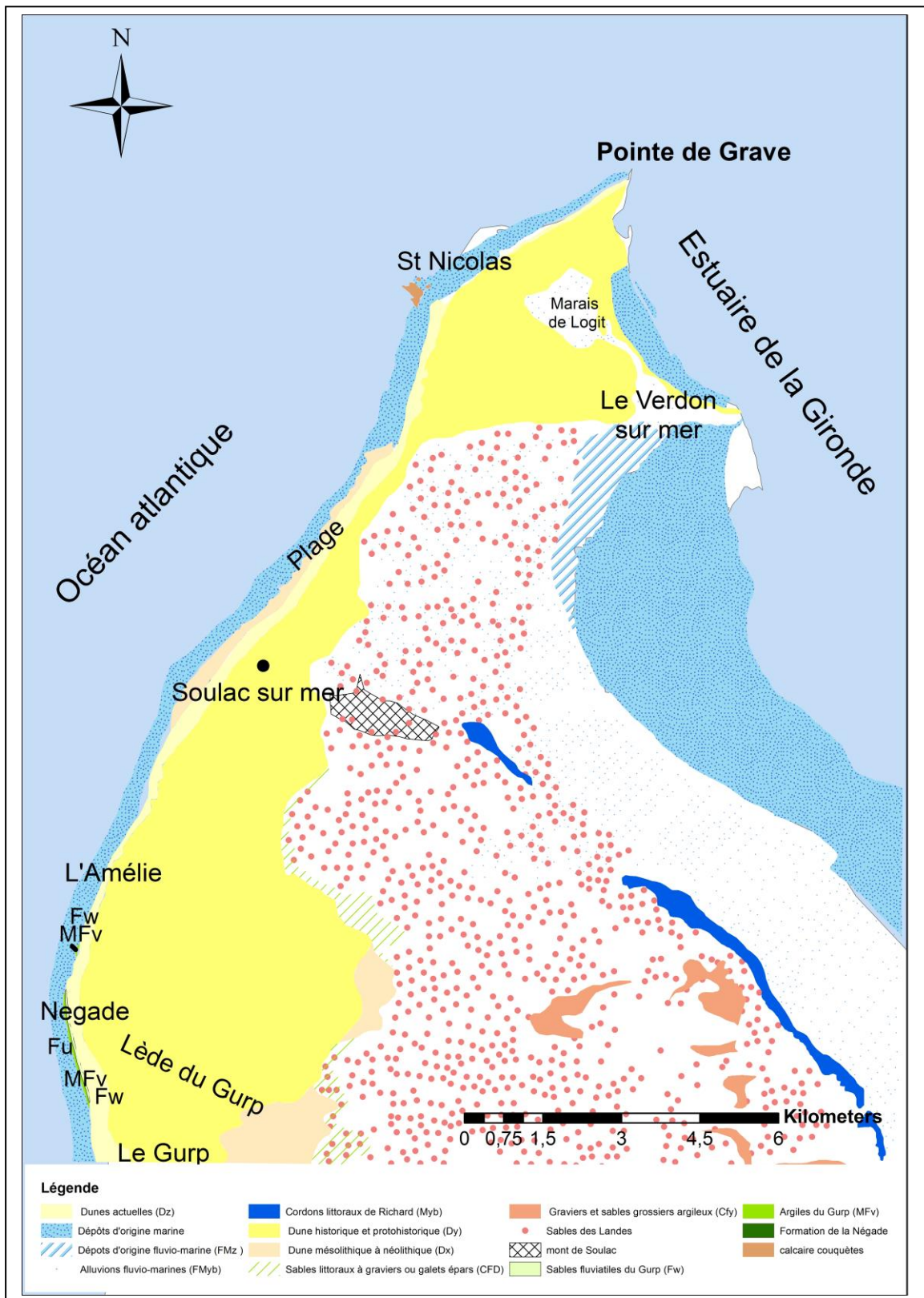
7. Références

- Agafonov, L., Strunk, H., Nuber, T., (2004). Thermokarst dynamics in Western Siberia: insights from dendrochronological research. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 209, 183–196. doi:10.1016/j.palaeo.2004.02.024
- 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.
- Balsam, W. L., Deaton, B. C., & Damuth, J. E. (1999). Evaluating optical lightness as a proxy for carbonate content in marine sediment cores. *Marine Geology*, 161(2), 141-153.
- Bouma, A. H. (1969). *Methods for the study of sedimentary structures* (pp. 140-244). New York: Wiley-Interscience.
- Bouma, A. H. (1964). Notes on X-ray interpretation of marine sediments. *Marine geology*, 2(4), 278-309.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., ... & Bonani, G. (2001). Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294(5549), 2130-2136.
- BOSQ, M. (2014). *Géologie des formations pléistocènes/holocènes du littoral du Nord Médoc : révisions bibliographiques et nouvelles données. Relation avec le peuplement*, mémoire de master 2, université Bordeaux 1, Bordeaux, 76 p.
- Bosq, M. (2015). Etude Géologique préliminaire de la fouille de sauvetage de la Lède du Gurg, université de Bordeaux 1, Bordeaux, 21 p.
- Bouscau, F. (1982). Pays de Buch et communes limitrophes, bulletin de la société historique et archéologique d'arcachon, 17 p.
- Buffault, P. (1942). *Histoire des dunes maritimes de la Gascogne*, Paris, Delmas, 446 p.
- Buffault, P. (1897). *Côtes et les dunes du Médoc : littoral ancien, littoral actuel*, gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France, 316 p.
- Cailleux, A. (1971). Lacs en ourson, cernes et thermokarst. *Cahiers de géographie du Québec*, 15(34), 131-136.
- Clarke, G. K., Leverington, D. W., Teller, J. T., & Dyke, A. S. (2004). Paleohydraulics of the last outburst flood from glacial Lake Agassiz and the 8200BP cold event. *Quaternary Science Reviews*, 23(3), 389-407.
- Clavé, B. (2001). Évolution des paléo-environnements côtiers à l'Holocène : exemple de l'Aquitaine septentrionale, thèse de doctorat, université Bordeaux 1, Bordeaux, 316 p.
- Coquillas D., Diot, M F., Clave B., Taset J P. (2004). L'homme dans le paysage côtier du Nord Médoc (Gironde) entre Néolithique et Âge Fer, 6 rencontres de Préhistoire récente, 55-67.
- Constantine Alexander (2013). <http://www.constantinealexander.net/2013/06/potentially-catastrophic-changes-underway-in-canadas-northern-mackenzie-river-basin-report.html>
- Courrèges, M. (1997). Le crypto-karst de la péninsule du Médoc. Crypto-altération, dissolution, karst sous-marin et évolution quaternaire, *Quaternaire*, 8, 2, p. 289-304.
- Costard, F. M., & Kargel, J. S. (1995). Outwash plains and thermokarst on Mars. *Icarus*, 114(1), 93-112.
- Debret, M., Sebag, D., Desmet, M., Balsam, W., Copard, Y., Mourier, B., ... & Winiarski, T. (2011). Spectrocolorimetric interpretation of sedimentary dynamics: the new "Q7/4 diagram". *Earth-Science Reviews*, 109(1), 1-19.
- Denton GH and Karleń W (1973). Holocene climatic variations – Their pattern and possible cause. *Quaternary Research* 3: 155–205
- Diot M-F., Massé, L., Coquillas, D., Clavé, B. (2001). Utilisation des groupes polliniques dans la reconstitution des paléo-environnements holocènes de marais de la perge Nord Medoc

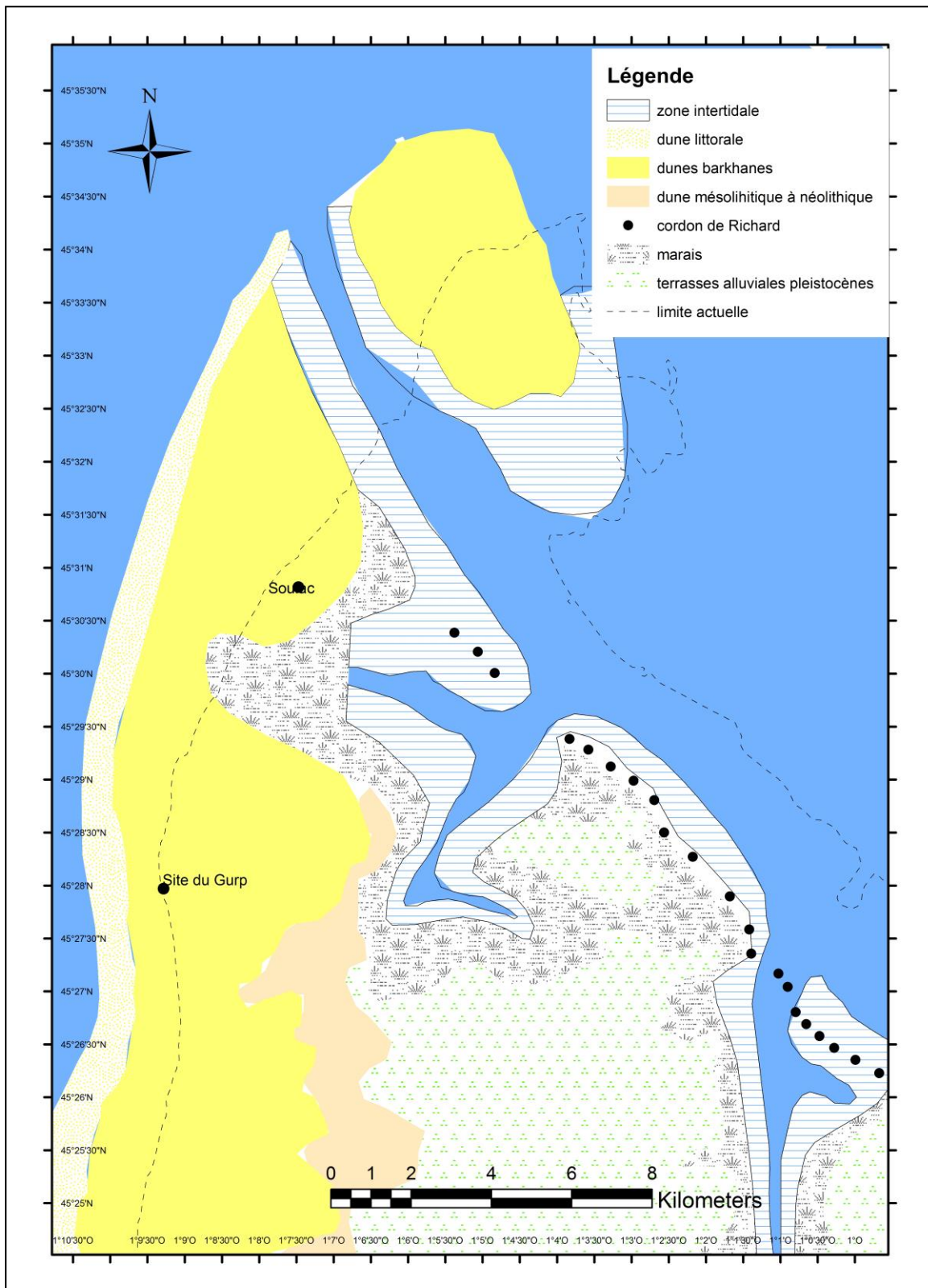
- Gironde (France) : implications sur l'occupation humaine. Archéométrie. Actes Colloque GMPCA.
- Diot, M.F., Tastet, J.P. (1995).** Paléo-environnements holocènes et limites chronoclimatiques enregistrés dans un marais estuarien de la Gironde (France) [Holocene paleo-environments and chrono-climatic limits recorded in a reclaimed marsh of the Gironde estuary (France).]. *Quaternaire* 6, 63–75. doi:10.3406/quate.1995.2039
- Dubreuilh J., Marionnaud J.M. (1973).** Notice explicative, carte géologique de la France (1/50000), feuille St-Vivien de Médoc - Soulac-sur-Mer (730), BRGM : Orléans, 47.
- Dubreuilh, J (1971).** *Étude géologique des formations quaternaires du Bas-Médoc. Essai de corrélations stratigraphiques*, mémoire de DEA, université Bordeaux 1, Bordeaux, 158 p.
- Dulignon-Desgranges A. (1877).** Excursion sur le littoral de Gascogne. Actes de la société Linéenne de Bordeaux, 1, Bordeaux, p. 41-60.
- Dylik, J., & Rybczynska, E. (1964).** Le thermokarst, phénomène négligé dans les études du Pléistocène. In *Annales de géographie* (pp. 513-523). Armand Colin.
- Fabre, A. (1939).** Les terrains de revêtement du Médoc, Bordeaux, Drouillard, 334 p.
- Frugier, G. (1982).** Le site littoral de la Lède du Gulp (Gironde), *Bulletin de la Société Préhistorique française*, 79, 6, p. 168-171.
- Fernane, A (2014).** Reconstitutions des fluctuations holocènes en relation avec les changements climatiques et l'antropisation sur les côtes bretonnes à partir de bio-indicateurs fossiles (Chironomidae, pollen et foraminifères benthiques, thèse de doctorat, université Bretagne occidentale, Bretagne occidentale, 247 p.
- Gé, T., Rouzeau, N., Chauvrière, F-X. (1995).** Rapport géologique du gisement de la Lède du Gulp (Grayan et l'hôpital), rapport non publié, SRA d'Aquitaine, 30p.
- Hamblin, W. K. (1962).** X-ray radiography in the study of structures in homogeneous sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 32(2).
- Lamb, HH (1981).** Climate from 1000 bc to 1000 ad. In: Jones M and Dimble G (eds) *The Environment of Man: The Iron Age to the Anglo-Saxon Period* (volume 87 of British Series). Oxford: British Archaeological Reports, pp. 53–65.
- Costard, F. M., & Kargel, J. S. (1995).** Outwash plains and thermokarst on Mars. *Icarus*, 114(1), 93-112.
- Long, A-J, Woodroffe SA, Dawson S et al. (2009).** Late Holocene relative sea-level rise and the Neoglacial history of the Greenland Ice Sheet. *Journal of Quaternary Science* 24: 345–359.
- Magny, M and Hass, J-N (2004).** A major widespread climatic change around 5300 cal. yr BP at the time of the Alpine Iceman. *Journal of Quaternary Science* 19: 1–8.
- Marambat, L., Roussot-Larroque, J., 1989.** Paysage végétal et occupations humaines sur la côte atlantique : l'exemple de la Lède du Gulp. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire* 26, 73–89. doi:10.3406/quate.1989.1895.
- Matt Morney (2011).** <http://www.thepolarisproject.org/is-that-a-fish-rising-no>
- Migeon, S., Weber O., Faugères, J-C., St Paul, J. (1999).** Scopix : a new imaging system for core analysis. *Geo. Mar. Lett.* 18, 251-255.
- Murton, J. B., & French, H. M. (1993).** Thermokarst involutions, summer island, pleistocene mackenzie delta, Western Canadian arctic. *Permafrost and Periglacial Processes*, 4(3), 217-229.
- Pétorin, N. (1988).** *Contribution à l'étude sédimentologique des dépôts supérieurs de la falaise du Gulp. Essai d'interprétation paléogéographique : évolution d'un paléochenal de la Gironde depuis l'interstade würmien*, mémoire de DEA, Institut du Quaternaire (Bordeaux), 84 p.
- Pontee, N.I., Tastet, J-P., Masse, L., (1998).** Morpho-sedimentary evidence of Holocene coastal changes near the mouth of the Gironde and on the Medoc Peninsula, SW France. *Oceanologica Acta* 21, 243–261.

- 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., ... & van Weering, T. C. (2006).** The Avaatech XRF Core Scanner: technical description and applications to NE Atlantic sediments. *Geological Society, London, Special Publications*, 267(1), 39-50.
- Romanovskii, N., Hubberten, H. W., Gavrillov, A., Tumskoy, V., Tipenko, G. S., Grigoriev, M., & Siegert, C. (2000).** Thermokarst and land–ocean interactions, Laptev Sea region, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 11(2), 137-152.
- Roussot-Larroque. (2007).** Le temps qui passe et le temps qu'il fait : emprises et déprises agricoles en Médoc surant l'âge de fer. Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques, 129 e, Besançon, 2004. Paris, CTHS, P. 285-295
- Roussot-larroque. (2001).** Territoires, déplacements, mobilité, échanges durant la préhistoire : terres et hommes du Sud, éditions du comité des travaux historiques et scientifiques, paris, p 471-495.
- Scheinder, R., Cramp, A., Damuth, J.E., Hiscott, R., Kowsmann, R., Lopez, M., Nanayama, F., Normark, F, W, Shipboard scientific Party. (1995).** Color-reflectance measurements obtained from Leg 155 cores. Proc. ODP, Init. Rep. 155, 697-700
- Stuiver, M and Brazuinas, T.F. (1989).** Atmospheric 14C and century scale solar oscillations. *Nature* 338, 405-408.
- Tastet, J-P. (1999).** Le Pléistocène de la façade atlantique du Nord-Médoc (France) : état des connaissances sur la lithologie et la chronostratigraphie des « Argiles du Gurd » s.l [The Pleistocene of the atlantic side of the north-Medoc (France) : progress achieved with respect to the lithology and chronostratigraphy of the « Argiles du Gurd » s. l.]. *Quaternaire* 10, 199–212. doi:10.3406/quate.1999.1643
- Tastet, J-P. (1998).** Chronologie et cartographie d'un complexe dunaire côtier holocène, l'exemple aquitain du Nord-Médoc (France) [Chronology and cartography of an holocène coastal dune complex, the example of the North-Médoc in Aquitaine (France)]. *Quaternaire* 9, 157–167. doi:10.3406/quate.1998.1600
- Tastet, J-P., Pontee, N.I., (1998).** Morpho-chronology of coastal dunes in Médoc. A new interpretation of Holocene dunes in Southwestern France. *Geomorphology* 25, 93–109.
- Toniolo, H., Kodial, P., Hinzman, L.D., Yoshikawa, K., (2009).** Spatio-temporal evolution of a thermokarst in Interior Alaska. *Cold Regions Science and Technology* 56, 39–49. doi:10.1016/j.coldregions.2008.09.007
- Van Geel, B., Buurman, J. and Waterbolk, H. T. (1996).** Archaeological and palaeoecological indications of an abrupt climate change in The Netherlands, and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP. *Journal of Quaternary Science* 11, 451-460.
- Van Vliet-Lanoë, B., Goslin, J., Hallégouët, B., Hénaff, A., Delacourt, C., Fernane, A., Franzetti, M., Le Cornec, E., Le Roy, P., Penaud, A. (2014).** Middle-to late-Holocene storminess in Brittany (NW France): Part I–morphological impact and stratigraphical record. *The Holocene* 0959683613519687

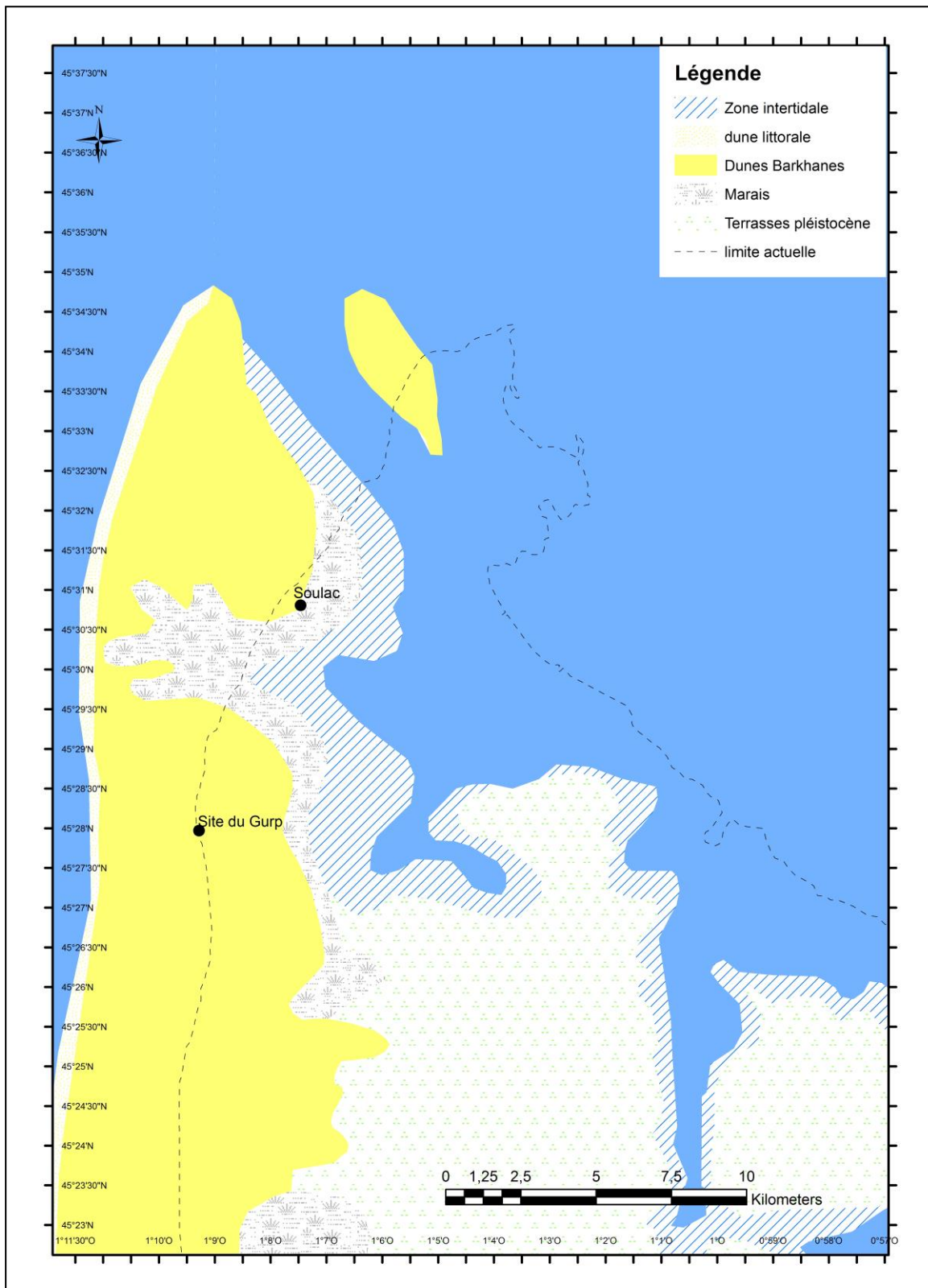
Annexes



Annexe 1. Carte géologique de la péninsule nord médoc redessinée à partir de la Carte Saint Vivien de Soulac 1/50000 (Dubreuilh, 1973).



Annexe 2. Carte Paléogéographique du Nord Médoc à 500 ans BP modifiée d'après Pontee et al. (1998). Le trait en tireté est la côte actuelle.



Annexe 3. Carte Paléogéographique du Nord Médoc à 6000 ans BP modifiée d'après Pontee et al. (1998). Le trait en tireté est la côte actuelle.