



Université de Montréal

**Reconstitution paléo-écologique et contexte magnéto-  
stratigraphique de la forêt fossile de l'île Bylot (Nunavut)**

par

Alexandre Guertin-Pasquier

Département de Géographie  
Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Arts et des Sciences  
en vue de l'obtention du grade de M.Sc.  
en Géographie

Juin, 2012

© Alexandre Guertin-Pasquier, 2012

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

**Reconstitution paléo-écologique et contexte magnéto-stratigraphique de la forêt fossile  
de l'île Bylot (Nunavut)**

Présenté par :

Alexandre Guertin-Pasquier

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Laël Parrot, président-rapporteur

Daniel Fortier, directeur de recherche

Pierre J.H. Richard, co-directeur

Pierre Gangloff, membre du jury

## Résumé

Ce projet porte sur la reconstitution paléo-écologique d'un environnement forestier fossile retrouvé sur un plateau au sud-ouest de l'île Bylot. Il a comme objectifs 1) de préciser la chrono-stratigraphie du site; 2) d'établir une liste et une succession des différents taxons polliniques retrouvés dans les différentes unités stratigraphiques du site; 3) d'estimer leur âge et 4) d'en inférer des conditions climatiques (température et précipitations).

Plusieurs coupes stratigraphiques ont été excavées puis échantillonnées afin de réaliser des analyses stratigraphiques, paléomagnétiques et polliniques. Un GPS différentiel fut également utilisé afin de caractériser à petite et grande échelle les unités stratigraphiques associées aux unités organiques fossiles.

Les résultats des analyses granulométriques indiquent la séquence de dépôt suivante au sein d'une dépression dans la roche en place (schiste tertiaire) : 1) un diamicton glaciaire local ; 2) un sédiment limoneux d'origine glacio-lacustre ; 3) une unité organique tourbeuse; 4) une unité de type alluvial ; 5) un sédiment fluvio-glaciaire et 6) un diamicton glaciaire d'origine allochtone. Les analyses polliniques suggèrent une végétation similaire à celle présente près de la limite des arbres actuelle, environ 2000 km plus au sud. Les conditions climatiques plus humides et plus chaudes permettaient notamment la croissance du pin (*Pinus* type *strobus* et *banksiana*), de l'épinette (*Picea* cf. *mariana*), de l'aulne (type *crispa* et *incana*) et du mélèze (*Larix*, indifférencié). Enfin, les études paléomagnétiques et la présence d'espèces éteintes suggèrent un âge pour les dépôts organiques fossiles situé entre 2,14 et 2,15 Ma ou entre 2,581 et 3,040 Ma.

### Mots clés :

Plio-Pléistocène, stratigraphie, paléomagnétisme, palynologie, végétation fossile, île Bylot

## Summary

The project focuses on the paleo-ecological reconstitution of a fossil forest environment found on a plateau on the southwest part of Bylot Island, in the Canadian Arctic. The objectives were 1) to describe the chrono-stratigraphy of the site; 2) to establish a list and the succession of different pollen taxa found in organic and inorganic fossil units of the site; 3) to estimate their age and 4) to infer the past climatic conditions of the site.

Several stratigraphic cuts were excavated and sampled for stratigraphic, paleomagnetic and pollen analyses. Also, a differential GPS was used to characterise the stratigraphic units associated with the organic fossil units at a small and large scale.

Results of the granulometric analysis suggest the following deposition sequence starting from a depression in the bedrock (tertiary shale): 1) a glacial diamicton with local clasts; 2) a silty sediment of glacio-lacustrine origin; 3) an organic peat unit; 4) an alluvial type unit; 5) a fluvio-glacial sediment and 6) a glacial diamicton of allochthonous origin. The pollen analyses suggest vegetation similar to that of the current tree-line limit, situated about 2000 km south of the site. The climatic conditions were warmer and more humid, allowing the local growth of pines (*Pinus* type *strobus* and *banksiana*), spruce (*Picea* cf. *mariana*), alder (*Alnus* type *crispa* and *incana*) and larch (*Larix*, undifferentiated). Paleomagnetic analyses and the presence of extinct species finally suggest an age for the organic fossil deposits of between 2,14 and 2,15 My or most likely between 2,581 and 3,040 My.

### Key words :

Plio-Pleistocene, stratigraphy, paleomagnetism, palynology, fossil vegetation, Bylot Island.

## Table des matières

<b>Résumé</b> .....	i
<b>Summary</b> .....	ii
<b>Table des matières</b> .....	iii
<b>Liste des figures</b> .....	vi
<b>Liste des tableaux</b> .....	xii
<b>Remerciements</b> .....	xiiiv
<b>Revue de littérature</b> .....	1
Introduction à la période Pliocène.....	1
Condition des océans.....	2
Gaz à effet de serre.....	4
Transition Plio-Pléistocène .....	5
Végétation pliocène dans l'hémisphère Nord .....	10
Alaska.....	11
Sibérie .....	12
Groenland.....	13
Formation de Beaufort .....	14
Baie de Baffin .....	17
Île d'Ellesmere .....	19
Île Bylot.....	20
Synthèse des connaissances .....	24
Limites et critiques des études botaniques pliocènes.....	27
<b>Objectifs de recherche</b> .....	32
<b>Présentation du site d'étude</b> .....	33
<b>Opérations de terrain</b> .....	36
Analyses stratigraphiques à grande échelle.....	36
Excavation et description de coupes .....	36
Prise d'échantillons .....	38
Échantillons pour analyses polliniques.....	38
Paléomagnétisme.....	38
<b>Opérations de laboratoire</b> .....	39
Tamisage et hydrométrie.....	39
pH et conductivité électrique .....	42

Pertes au feu .....	42
Analyses stratigraphiques .....	43
Analyses paléo-magnétiques.....	44
Traitement pollinique.....	488
Analyse pollinique .....	49
Interprétation des données polliniques en termes de végétation.....	50
Interprétation des données polliniques en termes de climat .....	51
<b>Résultats</b> .....	<b>53</b>
Description des unités stratigraphiques .....	53
Stratigraphie à échelle locale .....	60
Coupe 1 .....	63
Coupe 2 .....	66
Coupe 3 .....	69
Coupe 4 .....	72
Coupe 5 .....	75
Coupe 6 .....	78
Analyses granulométriques.....	81
Unité 2.....	82
Unité 3.....	86
Unité 7.....	89
Unité 8.....	92
Unité 9.....	96
Unité 10.....	99
Synthèse des analyses granulométriques .....	102
Analyses spatiales .....	108
Fonction Inverse Pondéré de la Distance (IDW) .....	108
Fonction <i>Différence (Minus)</i> .....	116
Analyses paléomagnétiques : .....	121
Analyses polliniques : .....	125
Unité 2.....	125
Unité 3.....	126
Unité 4.....	127
Unité 5.....	128
Unité 6.....	129
Unité 7.....	130
Synthèse des analyses polliniques .....	132
Variables physico-chimiques .....	134
Résultats des tests d'homogénéisation.....	134
pH.....	135
Conductivité électrique .....	135
Matière organique .....	135
Carbonates.....	136

<b>Discussion</b> .....	140
Historique du site et succession des paysages.....	140
Unité 2.....	141
Unité 3.....	144
Unité 4.....	148
Unité 5.....	151
Unité 6.....	154
Unité 7.....	158
Unité 8.....	161
Unité 9.....	162
Unité 10.....	164
Synthèse.....	166
Végétation.....	166
Climat.....	174
Age du site.....	178
Synthèse de l'historique sédimentaire.....	185
<b>Conclusion</b> .....	188
<b>Bibliographie</b> .....	190
<b>Annexe</b> .....	xv

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Estimation des variations de température moyenne annuelle et de précipitation moyenne annuelle durant l'optimum climatique du Pliocène par rapport à l'actuel. ....	2
<b>Figure 2 :</b> Variations de la température des océans (°C) au Pliocène moyen par rapport à l'actuel.....	3
<b>Figure 3 :</b> Estimation du couvert de glace actuel et durant l'optimum climatique du Pliocène.....	4
<b>Figure 4 :</b> Ratio smectite/illite et taux d'accumulation des sables à l'intérieur de la carotte marine ODP909C depuis 7 Ma .....	5
<b>Figure 5 :</b> Chagement du cycle des variations du ratio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de 41ka à 100ka durant la transition Plio-Pléistocène .....	7
<b>Figure 6 :</b> Comparaison de l'orographie estimée pour l'hémisphère Nord au milieu du pliocène par rapport à celle actuelle.....	9
<b>Figure 7:</b> Sites fossilifères pliocènes connus au-delà du 60°N.....	10
<b>Figure 8 :</b> Localisation des sites pliocènes retrouvés sur l'île du Prince Patrick (Formation de Beaufort) et images de terrain de l'unité stratigraphique fossilifère.....	15
<b>Figure 9 :</b> Évolution temporelle des concentrations polliniques dans la baie de Baffin (ODP 645) en fonction de la profondeur du forage .....	17
<b>Figure 10 :</b> Diagramme pollinique du nord la baie de Baffin (ODP 645) .....	18
<b>Figure 11 :</b> Diagramme pollinique provenant du sud la baie de Baffin (ODP 646) .....	19
<b>Figure 12 :</b> Synthèse des analyses stratigraphiques et paléomagnétiques réalisées au site de la forêt fossile de l'île Bylot.....	22
<b>Figure 13 :</b> Température moyenne annuelle (MAT) en °C et température moyenne du mois le plus chaud (JJ Temperature) interpolées grâce à des analyses isotopiques réalisées sur des troncs provenant du site plio-pléistocène de l'île Bylot.....	24
<b>Figure 14 :</b> Représentation de la répartition des biomes de toundra et de forêt coniférienne de type boréale durant le Pliocène moyen et aujourd'hui.....	25
<b>Figure 15 :</b> Position géographique du site d'étude.....	33

<b>Figure 16</b> : Courbes de Hjulström permettant d'estimer un courant en centimètres par seconde en fonction des particules déposées et correspondant au contenu granulométrique .....	41
<b>Figure 17</b> : Magnétomètre cryogénique, Laboratoire de paléomagnétisme sédimentaire, ISMER, Université du Québec à Rimouski .....	46
<b>Figure 18</b> : Exemple de courbes de démagnétisation d'un échantillon.....	47
<b>Figure 19</b> : Illustration du principe de l'approche de coexistence .....	52
<b>Figure 20</b> : Représentation de l'unité 1 telle qu'observée sur le terrain .....	54
<b>Figure 21</b> : Représentations de l'unité 2 telle qu'échantillonnée sur le terrain.....	54
<b>Figure 22</b> : Représentation de l'unité 3 telle qu'échantillonnée sur le terrain .....	55
<b>Figure 23</b> : Représentation de l'unité 4 telle qu'échantillonnée sur le terrain .....	55
<b>Figure 24</b> : Représentation de l'unité 5 telle qu'échantillonnée sur le terrain .....	56
<b>Figure 25</b> : Représentations de l'unité 6 telle qu'échantillonnée sur le terrain.....	56
<b>Figure 26</b> : Représentations de l'unité 7 telle qu'échantillonnée sur le terrain.....	57
<b>Figure 27</b> : Représentation des unités 8 et 9 telles qu'échantillonnées sur le terrain.....	57
<b>Figure 28</b> : Représentation de l'unité 10 telle qu'échantillonnée sur le terrain .....	58
<b>Figure 29</b> : Représentation de l'unité 11 telle qu'échantillonnée sur le terrain .....	58
<b>Figure 30</b> : Représentation spatiale des points DGPS recueillies sur le terrain durant les campagnes de 2009 et 2010 .....	59
<b>Figure 31</b> : Schéma conceptuel illustrant l'hypothèse de succession des milieux sédimentaires associés au site de la forêt fossile de l'île Bylot.....	59
<b>Figure 32</b> : Principales espèces retrouvées près des coupes stratigraphiques.....	60
<b>Figure 33</b> : Position des coupes stratigraphiques étudiées dans ce travail. Vue sommitale, de la face sud du plateau et de la face nord du plateau.....	61
<b>Figure 34</b> : Position des amphithéâtres d'érosion affectant la face sur du plateau et aires correspondantes, ainsi que position des affleurements organiques observés sur le terrain ..	62

<b>Figure 35</b> : Illustration de la coupe 1 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 6 et de l'unité formée par des blocs blancs cristallins imbriqués .....	66
<b>Figure 36</b> : Stratigraphie détaillée de la coupe 1 et des unités stratigraphiques qui y sont associées.....	64
<b>Figure 37</b> : Illustration de la coupe 2 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 6 et de l'unité formée par des blocs blancs cristallins imbriqués .....	66
<b>Figure 38</b> : Stratigraphie détaillée de la coupe 2 et des unités stratigraphiques qui y sont associées.....	67
<b>Figure 39</b> : Illustration de la coupe 3 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail des unités 4, 5 et 6 et de l'unité 2.....	69
<b>Figure 40</b> : Stratigraphie détaillée de la coupe 3 et des unités stratigraphiques qui y sont associées.....	70
<b>Figure 41</b> : Illustration de la coupe 4 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 7 et de l'unité 2 .....	72
<b>Figure 42</b> : Stratigraphie détaillée de la coupe 4 et des unités stratigraphiques qui y sont associées.....	73
<b>Figure 43</b> : Illustration de la coupe 5 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 7 et de l'unité 3 .....	75
<b>Figure 44</b> : Stratigraphie détaillée de la coupe 5 et des unités stratigraphiques qui y sont associées.....	76
<b>Figure 45</b> : Illustration de la coupe 6 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail des unités 4, 5 et 6 et de l'unité 2.....	78
<b>Figure 46</b> : Stratigraphie détaillée de la coupe 6 et des unités stratigraphiques qui y sont associées.....	79
<b>Figure 47</b> : Représentation des valeurs de pendage et d'orientation recueillies sur le terrain .....	81
<b>Figure 48</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 1 (exemple provenant de l'échantillon CP3_180). .....	84
<b>Figure 49</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 2 (exemple provenant de l'échantillon CP1_180). .....	84

<b>Figure 50</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 1 (exemple provenant de l'échantillon CP5_170).....	87
<b>Figure 51</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 3 (exemple provenant de l'échantillon CP1_160).....	87
<b>Figure 52</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 1 (exemple provenant de l'échantillon CP4_55).....	90
<b>Figure 53</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 2 (exemple provenant de l'échantillon CP4_85).....	90
<b>Figure 54</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 1 (exemple provenant de l'échantillon fgg3). ....	93
<b>Figure 55</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 2 (exemple provenant de l'échantillon fgg5). ....	94
<b>Figure 56</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant au type 3 (exemple provenant de l'échantillon fgg1). ....	94
<b>Figure 57</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant à l'unité 9 (exemple provenant de l'échantillon CP6_130).....	97
<b>Figure 58</b> : Distribution granulométrique type des échantillons appartenant à l'unité 10 (exemple provenant de l'échantillon fgg1).....	100
<b>Figure 59</b> : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 2.....	103
<b>Figure 60</b> : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 3.....	103
<b>Figure 61</b> : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 7.....	104
<b>Figure 62</b> : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 8.....	104
<b>Figure 63</b> : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 9.....	105
<b>Figure 64</b> : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 10.....	105

<b>Figure 65</b> : Teneur granulométrique en matière grossière (graviers, sables, limons + argiles) des échantillons analysés dans cette étude.....	107
<b>Figure 66</b> : Teneur granulométrique en matière fine (sables, limons, argiles) des échantillons analysés dans cette étude. ....	107
<b>Figure 67</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position spatiale des points DGPS recueillis pour l'unité 1 et représentation 3D de cette interpolation. ....	109
<b>Figure 68</b> : Représentation graphiques des altitudes interpolées le long des transects 1 à 4 représentés à la figure 66, à l'aide de l'option <i>Trace Profil Graphs</i> de ArcGIS .....	110
<b>Figure 69</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 2. ....	111
<b>Figure 70</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 3. ....	112
<b>Figure 71</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 4. ....	112
<b>Figure 72</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 5. ....	113
<b>Figure 73</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 6. ....	113
<b>Figure 74</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 7. ....	114
<b>Figure 75</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 8. ....	114
<b>Figure 76</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 9. ....	115
<b>Figure 77</b> : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 10. ....	114
<b>Figure 78</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 2 et celles de l'unité 1 (mètres). ....	116
<b>Figure 79</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 3 et celles de l'unité 2 (mètres). ....	117

<b>Figure 80</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 4 et celles de l'unité 3 (mètres). .....	117
<b>Figure 81</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 5 et celles de l'unité 4 (mètres). .....	118
<b>Figure 82</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 6 et celles de l'unité 5 (mètres). .....	118
<b>Figure 83</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 7 et celles de l'unité 6 (mètres). .....	119
<b>Figure 84</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 8 et celles de l'unité 7 (mètres). .....	119
<b>Figure 85</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 9 et celles de l'unité 8 (mètres). .....	120
<b>Figure 86</b> : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 10 et celles de l'unité 9 (mètres). .....	120
<b>Figure 87</b> : Propriétés magnétiques des échantillons analysés provenant des coupes 4, 5 et 6. ....	124
<b>Figure 88</b> : Principaux taxons polliniques retrouvés à la limite des arbres dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord.....	169
<b>Figure 89</b> : Principaux taxons polliniques retrouvés à la limite des arbres dans le nord du Québec.....	171
<b>Figure 90</b> : Principaux taxons polliniques observés au site de la tourbière de la rivière aux Feuilles (Nouveau-Québec) et évolution de cette dernière durant les 5000 dernières années.....	172
<b>Figure 91</b> : Estimations de température dans l'arctique canadien et américain durant le Pliocène, réalisée à l'aide d'assemblages entomologiques .....	184
<b>Figure 92</b> : Schéma conceptuel illustrant la succession des milieux sédimentaires associés au site de la forêt fossile de l'île Bylot .....	187

## Liste des tableaux

<b>Tableau I :</b> Estimation de l'âge des premières glaciations locales et régionales pliocènes dans l'hémisphère Nord .....	6
<b>Tableau II :</b> Moyenne du pourcentage de chacun des taxons identifiés dans 5 échantillons à Lava Camp Mine (Début Pliocène) .....	11
<b>Tableau III :</b> Principaux taxons polliniques identifiés dans les échantillons pliocènes de l'île du Prince Patrick et milieux correspondants .....	16
<b>Tableau IV :</b> Macro-restes (M) et taxons polliniques (P) pliocènes de l'île Bylot ....	21
<b>Tableau V :</b> Synthèse de la présence des principaux taxons végétaux à travers le temps dans l'hémisphère nord (au-delà du 60°N) depuis le milieu du Miocène.....	26
<b>Tableau VI :</b> Représentation pollinique actuelle et R-ratio des principaux taxons végétaux retrouvés au-delà du 60°N durant le pliocène .....	29
<b>Tableau VII :</b> Transfert entre l'identification pollinique faite dans la présente étude et leurs espèces correspondantes possibles .....	30
<b>Tableau VIII :</b> Principales espèces poussant actuellement au niveau du site d'étude (en ordre décroissant d'importance) .....	35
<b>Tableau IX :</b> Principales caractéristiques granulométriques des échantillons analysés provenant de l'unité 2 .....	85
<b>Tableau X :</b> Principales caractéristiques granulométriques des échantillons analysés provenant de l'unité 3 .....	88
<b>Tableau XI :</b> Principales caractéristiques granulométriques des échantillons analysés provenant de l'unité 7 .....	91
<b>Tableau XII :</b> Principales caractéristiques granulométriques des échantillons analysés provenant de l'unité 8 .....	95
<b>Tableau XIII :</b> Principales caractéristiques granulométriques des échantillons analysés provenant de l'unité 9 .....	98
<b>Tableau XIV :</b> Principales caractéristiques granulométriques des échantillons analysés provenant de l'unité 10 .....	101

<b>Tableau XV</b> : Principales caractéristiques des échantillons analysés et classes granulométriques correspondantes .....	106
<b>Tableau XVI</b> : Principales caractéristiques des échantillons retenus suite aux analyses paléo-magnétiques.....	123
<b>Tableau XVII</b> : Résultats des tests d'homogénéisation des échantillons pour le calcul du pH et de la conductivité électrique.....	134
<b>Tableau XVIII</b> : Synthèse des analyses polliniques et physico-chimiques en fonction de leurs unités stratigraphiques correspondantes.....	137
<b>Tableau XIX</b> : Liste des macro-restes (M) et des taxons polliniques (P) de 2005 et de 2011.....	133
<b>Tableau XX</b> : Végétation et milieux de dépôt associés aux différentes unités stratigraphiques du site de l'île bylot.....	168
<b>Tableau XXI</b> : Conditions climatiques des sites actuels apparentés aux unités organiques (4 à 7) du site de l'île Bylot.....	177

## Remerciements

Ce mémoire n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide précieuse de nombreuses personnes, lesquelles m'ont soutenu, encouragé et permis d'améliorer mon sens critique, mes capacités de rédaction et mes connaissances dans les trois principaux axes de ce projet de maîtrise, soit la stratigraphie, la palynologie et le paléomagnétisme. En ce sens, je tiens à remercier particulièrement mes co-directeurs, Pierre J.H. Richard et Daniel Fortier, ainsi que Guillaume St-Onge, Jacques Labrie et Agathe Lisé-Pronovost (UQAR), Serge Payette (U.Laval), le groupe du laboratoire de Géomorphologie et de Géotechnique des régions froides et du laboratoire de paléophytogéographie et de palynologie ainsi que dans le désordre ; Edeline Gagnon, David Lavoie-Lacerte, Anne Pasquier, Catherine Girard, Émilie Caron-Caplette, Michèle Tremblay, Claude Gibault, Marie-Claude Turmel, Marie Lambert-Chan, Bruno Girard et Rachel Thériault.

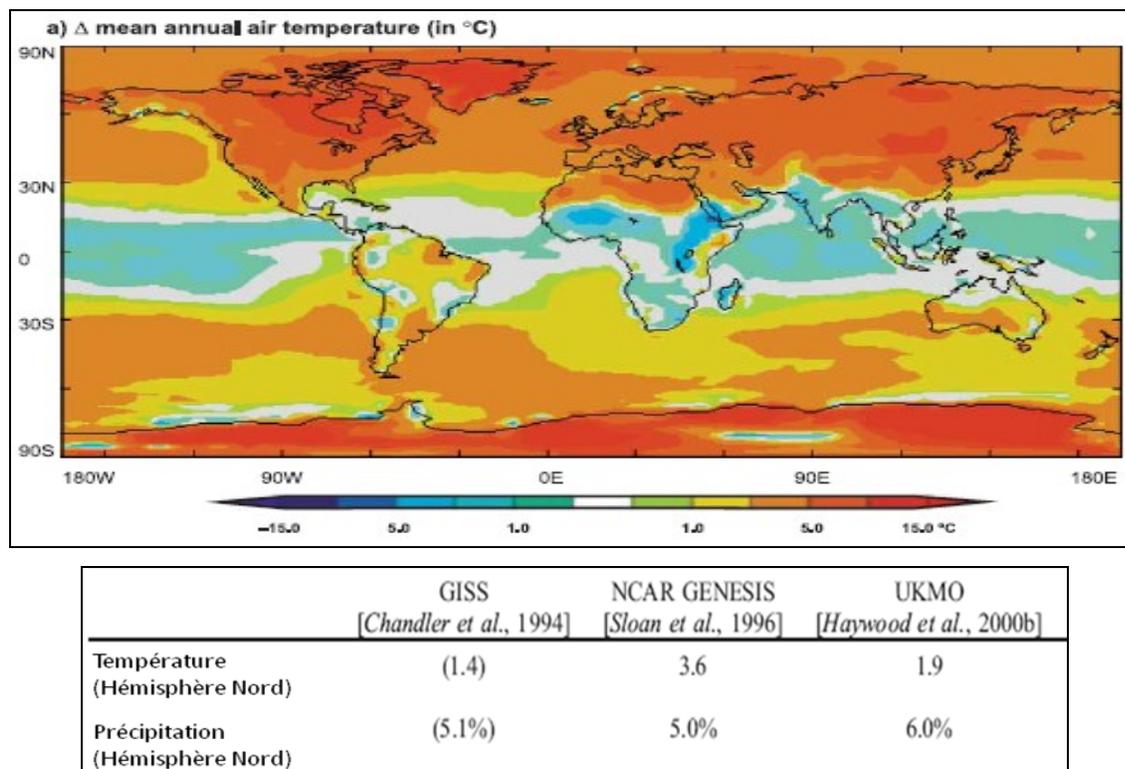
Je tiens également à remercier le FQRNT, le CRSNG et le PFSN pour leur soutien financier, Parcs Canada pour leur support logistique et administratif ainsi que Gilles Gauthier, qui, grâce à sa passion et son organisation légendaire, aura permis l'installation du campement scientifique de l'île Bylot.

## Revue de littérature

### Introduction à la période Pliocène

Le Pliocène est la dernière époque de l'ère Tertiaire, couvrant la période de 5,33 à 2,58 millions d'années (Walker et Geissman 2009). Cette époque est caractérisée par le passage progressif des températures relativement chaudes de l'ère Tertiaire aux températures plus froides du Quaternaire. Il s'agirait de la dernière période de l'histoire de la Terre significativement plus chaude que l'actuel, ce qui en fait un bon analogue pour l'étude des changements climatiques modernes (Schneider et Schneider 2010; Salzmann *et al.* 2008).

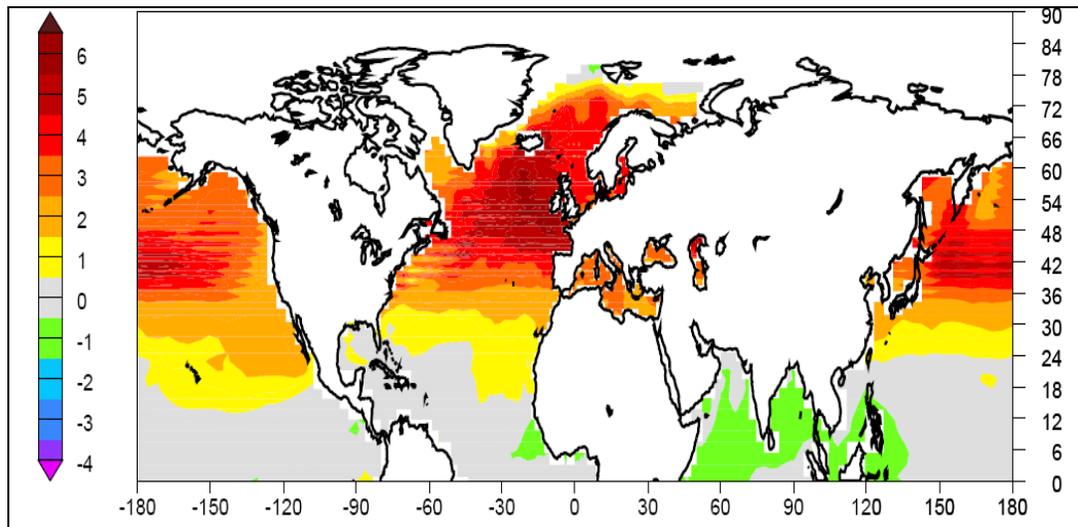
Les températures pour le Pliocène sont jugées beaucoup plus stables que durant la période Quaternaire; on observe toutefois un optimum climatique plus chaud entre 3,3 et 3,0 Ma (mégathermique pliocène), fondé sur maintenant plus d'une soixantaine de courbes de variations du ratio  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  à travers le monde (Hafsten, 1969; Draut *et al.* 2003; Raymo *et al.* 2006). Cet optimum a fait l'objet de la majorité des études sur le Pliocène, même si plusieurs des données environnementales incluses dans les modélisations pliocènes couvrent les autres moments de cette période géologique (Crowley 1991; Lisiecki et Raymo 2007). Les estimations de température annuelle lors de cet optimum sont globalement de 1,4 à 3,6 °C plus élevées qu'à l'actuel (entre 1 et 4 °C plus chaud en moyenne aux tropiques (entre 30°N et 30°S) et entre 8 et 20°C plus chaud en moyenne pour les régions arctiques (au delà de 60°N et 60°S) (Chandler 1994; Raymo 1994; Crowley 1996; Dowsett 1996; Sloan *et al.* 1996; Thompson et Fleming 1996; Elias et Matthews 2002; Haywood et Valdes 2006; Raymo *et al.* 2006; Salzmann *et al.* 2008; Schneider et Schneider 2010). Les précipitations étaient également plus abondantes d'une manière générale, soit environ +5% globalement et environ +90% pour les hautes latitudes, selon des études de macro-fossiles végétaux et des modélisations climatiques (Chandler *et al.* 1994; Haywood *et al.* 2009; Salzmann *et al.* 2008, figure 1).



**Figure 1:** Estimation des variations de température moyenne annuelle et de précipitation moyenne annuelle durant l'optimum climatique du Pliocène par rapport à l'actuel. On note une augmentation plus prononcée de ces valeurs près des pôles. (Jiang *et al.* 2005 et Salzmann *et al.* 2008).

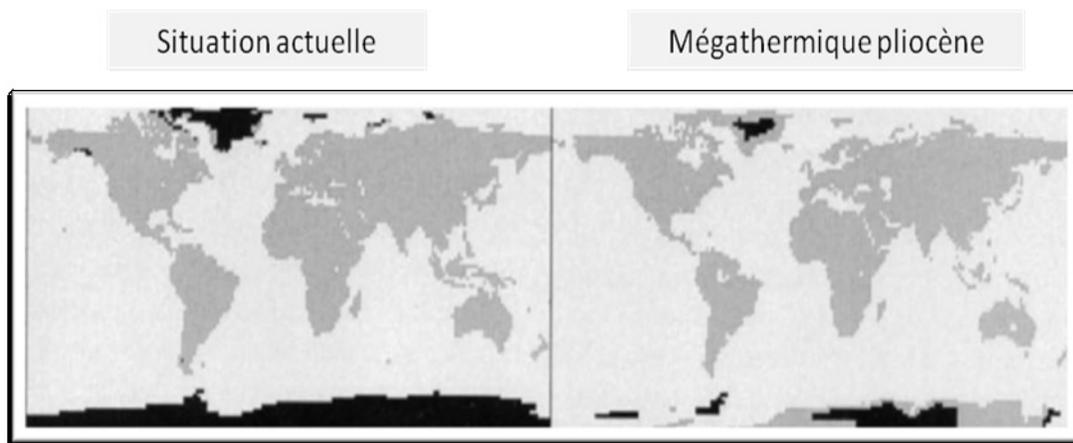
## Condition des océans

La température moyenne annuelle des océans dans l'hémisphère Nord était aussi plus élevée durant le Pliocène, soit de 0°C à 6°C selon des études basées sur les foraminifères et l'étude de courbes isotopiques, ce qui suggère une absence de glace estivale dans l'océan arctique au moins jusqu'à 3,4 Ma (Worsley et Herman 1980; Baumann *et al.* 1996; Clark 1996; Evans et Kaminski 1998; Filippelli et Flores 2009; Haywood *et al.* 2009; Lawrence *et al.* 2009). Comme pour les températures terrestres, on observe des écarts de température plus importants par rapport à l'actuel pour les latitudes nordiques (Jost *et al.* 2010; voir figure 2).



**Figure 2 :** Variations de la température des océans (°C) au Pliocène moyen par rapport à l'actuel (Dowsett *et al.* 1990). Par manque de données concernant certaines portions de l'océan arctique, certaines zones (en blanc) ont dues être exclues des modélisations.

Le niveau moyen des mers durant l'optimum climatique pliocène était plus élevé qu'actuellement d'environ 30 mètres, en lien avec le faible volume des glaces dans l'hémisphère nord et dans les calottes du Groenland et de l'Antarctique (Dowsett *et al.* 1990; Dowsett et Poore 1991; Dwyer *et al.* 1995; Crowley 1996; Dowsett *et al.* 1996; Thompson et Fleming, 1996; Lambeck *et al.* 2002). Le consensus actuel sur la situation de l'Antarctique durant le Pliocène fait état d'un couvert de glace relativement peu important (environ 30% du continent), essentiellement contenu dans la partie nord-est (voir figure 3). Cette conjecture est soutenue par la découverte de vestiges végétaux de type arctique-alpin et de diatomées de milieux tempérés datant de cette époque dans la péninsule de Sirius (extrême est du continent) (Harwood 1983; Hill *et al.* 2007). L'englacement initial de l'Antarctique date cependant du début du Miocène (23 Ma) (Zachos *et al.* 2001).



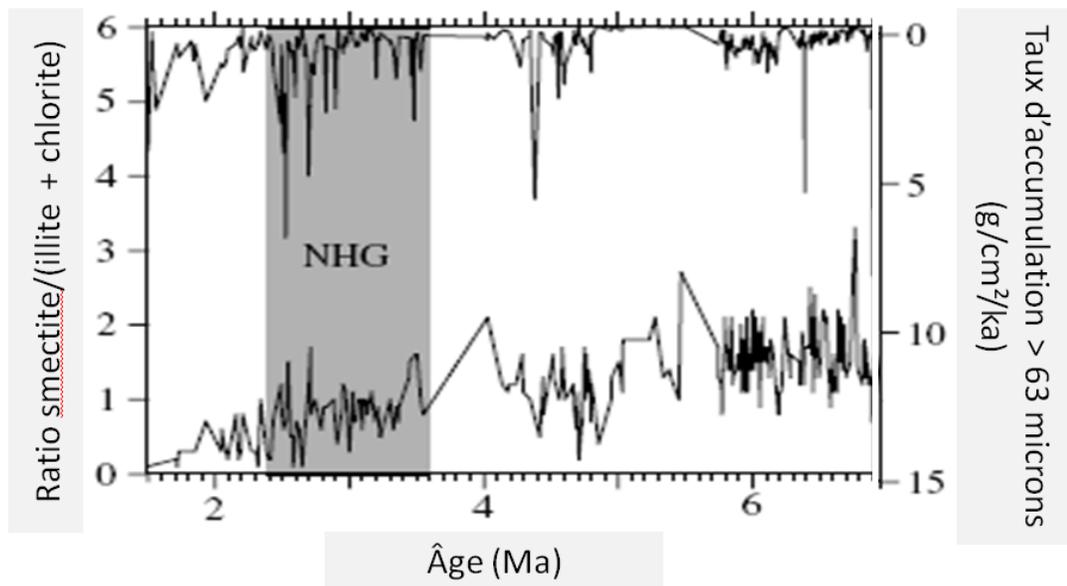
**Figure 3** : Estimation du couvert de glace actuel (image de gauche) et durant l'optimum climatique du Pliocène (image de droite). On note une diminution importante de la superficie des calottes du Groenland et de l'Antarctique durant cette période (Thompson et Fleming 1996).

### Gaz à effet de serre

On estimait jusqu'à récemment les concentrations de CO<sub>2</sub> durant le Mégathermique pliocène 25 et 30% plus élevées qu'à l'actuel (500-600 ppm). Ces estimations étaient fondées sur des analyses de courbes d'isotopes d'oxygène et de carbone provenant de carottes marines et d'études de fréquences stomatiques sur l'espèce *Quercus petraea* (Wolfe, 1978; Van der Burgh *et al.* 1993; Wolfe, 1995; Kumagai *et al.* 1995; Kurschner *et al.* 1996). Des études plus récentes, sur la base d'isotopes du carbone dans les alkenones et les foraminifères, ont cependant abaissé ce seuil à environ 400 ppm, ce qui est près de la valeur actuelle de 389 ppm (Raymo *et al.* 1996; Tripathi *et al.* 2009; Pagani *et al.* 2010). D'autres en viennent à la même conclusion en modélisant l'équilibre à long terme entre la productivité végétale et une hausse des concentrations de CO<sub>2</sub> (Lunt *et al.* 2010; Schneider et Schneider 2010). Cela implique une sensibilité du climat beaucoup plus importante qu'estimée précédemment, suite à l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> (1,45 fois plus sensible selon Lunt *et al.* 2010).

## Transition Plio-Pléistocène

La fin du Pliocène est caractérisée par un refroidissement significatif dans les hautes latitudes, menant à l'implantation progressive de périodes glaciaires dans l'hémisphère Nord (Shackleton *et al.* 1967). Ceci est confirmé entre autres par la présence dans des carottes marines de l'hémisphère nord d'IRD (*ice rafted debris*), indicateurs de dépôt par vêlage et dérive d'icebergs, couplée à des fortes variations de la température des océans dans les hautes latitudes, déduites par les courbes  $\delta^{18}\text{O}$ . On observe ainsi une augmentation significative d'IRD  $> 1$  cm à partir d'environ 2,7 Ma au large de l'atlantique nord, ce qui représenterait le début d'une glaciation d'importance (Ruddiman et Raymo 1988; Raymo 1989; Shackleton 1990; Raymo 1994; Knies *et al.* 2002; Raymo *et al.* 2006). Cette observation est couplée à une augmentation significative du taux d'accumulation sédimentaire des particules plus grandes que  $63 \mu\text{m}$  (voir figure 4).



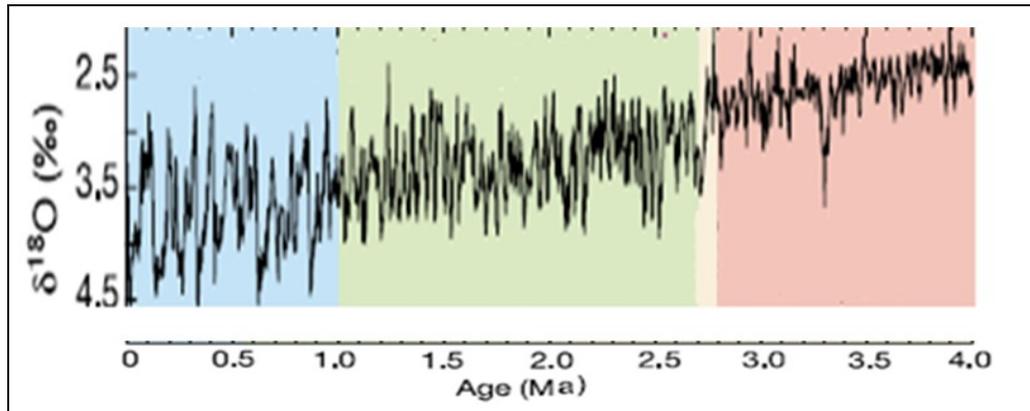
**Figure 4 :** Ratio smectite/illite et taux d'accumulation des sables dans la carotte marine ODP909C (détroit de de Fram, entre la Norvège et le Groenland) depuis 7 Ma. On note un taux d'accumulation important des sables durant l'initiation des glaciations dans l'hémisphère Nord (NHG) (Matthiessen *et al.* 2009).

Grâce à cet indice et suite à l'étude de plus de 45 courbes isotopiques du rapport  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  contenu dans les squelettes d'espèces benthiques et planctoniques, l'âge des premières glaciations locales dans l'hémisphère Nord est estimé à environ 3,6 Ma (Mudelsee et Raymo 2005), alors que les premières glaciations d'importance dateraient d'environ 2,6 Ma, autant en Europe qu'en Amérique du Nord, ce qui correspond à l'actuelle charnière Plio-Pléistocène (Shakleton *et al.* 1984; Raymo *et al.* 1998; Knies *et al.* 2002; Ravelo *et al.* 2004; Hill *et al.* 2007). Précédemment, seuls quelques indices de glaciations locales ont été détectés au large du Groenland, gelé en partie depuis 8 Ma environ (voir tableau I). Cette estimation des premières glaciations est également rapportée suite à la datation de sites terrestres (loess en Alaska et dans le nord de la Chine datés de 3,0 Ma et 2,35 Ma respectivement) (Kukla et An 1989; Raymo 1994).

**Tableau I :** ESTIMATION DE L'ÂGE DES PREMIÈRES GLACIATIONS LOCALES ET RÉGIONALES PLIOCÈNES DANS L'HÉMISPHERE NORD

Localisation	Sites	Age estimé de la première glaciation locale (Ma)	Age estimé de la première glaciation régionale (Ma)	Source
Hémisphère Nord	-	3,6	2,4	Matthiessen <i>et al.</i> 2009
Islande	ODP 552 ODP980 ODP981	Entre 3,15 et 2,7	Entre 2,55 et 2,37	Ruddimann et Raymo 1988; Raymo 1994; Shakleton 1990
Atlantique nord et Norvège	ODP607 ODP609 ODP610	5,45	Entre 3,0 et 2,4	Raymo <i>et al.</i> 1989; Raymo 1994
Baie de Baffin et Groenland	ODP646 ODP647	Entre 8,0 et 7,0	2,6-2,5	de Vernal et Mudie 1989b
Formation de Beaufort	Îles de Banks, Meighen et Prince Patrick	3,6	2,4	Matthiessen <i>et al.</i> 2009
Alaska	Lost Chicken, Lava Camp	3,5	2	Porter, 1988; Willard, 1994; White <i>et al.</i> 1997
Sibérie	Chukotka	Entre 3,5 et 3,2	Entre 2,5 et 2,4	Laukhin <i>et al.</i> 1999, Blokhina et Bodarenko, 2004

On observe également un changement de périodicité dans les courbes de  $\delta^{18}\text{O}$ , qui passent progressivement de cycles de 41 ka de faible amplitude à des cycles de 100 ka montrant beaucoup plus d'ampleur depuis la transition Plio-Pléistocène (Webb et Bartlein 1992; Dwyer *et al.* 1995; Raymo *et al.* 1998; Ravelo *et al.* 2004; Raymo *et al.* 2006). Ces variations permettent également un transfert indirect en volume de glace et en température à la grandeur de la planète, reflétant une diminution progressive des températures à partir de cette période (Shakleton 1967; Hill *et al.* 2007). L'allure générale de cette courbe est très similaire d'un site à l'autre dans l'hémisphère Nord et montre une hausse progressive de la variabilité du climat à partir de la charnière Plio-Pléistocène (2,6 Ma) (voir figure 5).



**Figure 5** : Changement du cycle des variations du ratio  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  de 41ka (zone en rouge) à 100ka (zone en bleu) durant la transition plio-pléistocène (bande beige) (Ravelo *et al.* 2004).

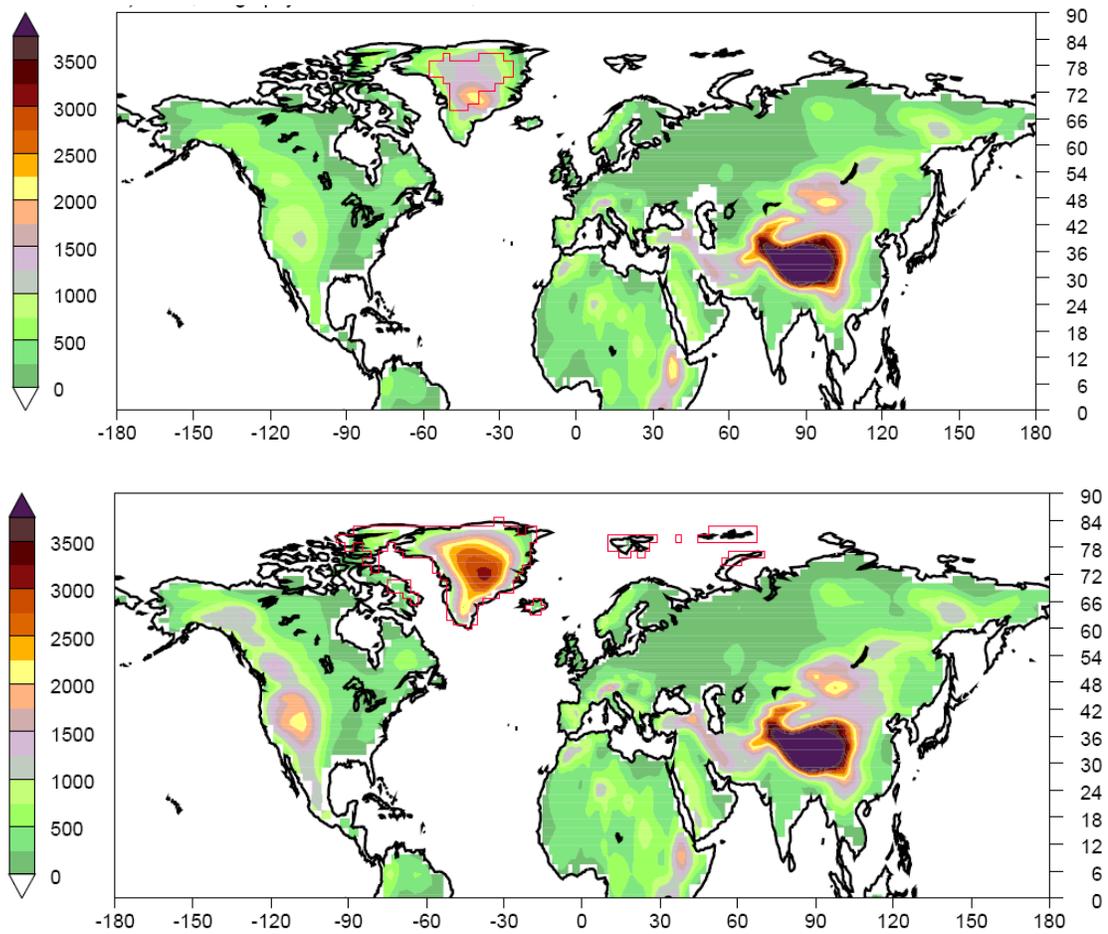
Les causes de ces changements globaux sont encore sujettes à débat. Depuis la fin des années 1970, de nombreuses explications ont été proposées mais aucune d'entre elles ne permettent, à l'heure actuelle, d'expliquer l'ensemble du changement caractérisant le passage du climat chaud pliocène aux périodes glaciaires du Pléistocène. Certaines hypothèses ont été mises aux oubliettes avec le temps, suite à la découverte d'indices de glaciations de plus en plus anciennes et de la confirmation de la tendance vers le refroidissement à l'échelle géologique. C'est le cas notamment des postulats concernant une baisse de l'intensité solaire et d'une variation au sein même des cycles de Milankovich (Raymo 1994), ou celles de la chute d'un astéroïde ou d'une activité

volcanique hors norme (Rea et Scheidegger, 1979) et de l'explosion d'une super nova (Pollack 1982). Il faut également noter que les continents étaient disposés de la même manière au Pliocène par rapport à l'actuel, ce qui exclut d'office toute prémisse reliée au mouvement des continents (Crowley *et al.* 1991; Chandler *et al.* 1994; Crowley 1996).

Un des postulats les plus *populaires* est que la fermeture de l'isthme de Panama, entre 4,6 et 2,5 Ma, pourrait en partie être responsable de ce refroidissement. Cela aurait augmenté l'intensité de la circulation thermohaline, amenant ainsi plus d'humidité dans l'Hémisphère Nord. L'intensification du Gulf Stream et l'introduction d'eau chaude et salée aux hautes latitudes aurait alors favorisé le réchauffement observé durant le Pliocène par la création d'un système permanent de type El Nino, causé par un gradient de seulement 1,5°C entre l'est et l'ouest du Pacifique durant cette période (Draut *et al.* 2003; Wara *et al.* 2005; Pagani *et al.* 2010). Ceci aurait également conduit progressivement à des épisodes glaciaires, favorisant la présence d'étés froids et d'hivers chauds et humides lors de la transition Plio-Pléistocène (Ruddimann et Raymo 1988; Crowley 1991; Raymo 1994; Crowley 1996; Haug et Tiedemann 1998; Knies *et al.* 2002; Lunt *et al.* 2008). La subsidence du détroit de Béring entre 2,9 et 2,4 Ma aurait également pu jouer un rôle sur la circulation océanique dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord (Dowsett *et al.* 1990; White *et al.* 1997; Dowsett *et al.* 1992).

Une autre hypothèse consisterait en une baisse progressive des niveaux de CO<sub>2</sub>, causée en partie par l'édification et l'érosion subséquente des Rocheuses canadiennes, des montagnes de l'ouest du Groenland et de la chaîne de montagnes himalayennes (Jost *et al.* 2009; voir figure 6). Cette dernière aurait entraîné une séquestration importante du dioxyde de carbone par carbonatation en plus d'engendrer des milieux alpins plus froids et de favoriser le détournement des masses d'air à l'échelle du globe. (Flint 1957; Raymo *et al.* 1988; Rudimann et Raymo, 1988; Crowley 1991; White *et al.* 1997; Mudelsee et Raymo 2005; Lunt *et al.* 2008). En effet, avant la création de ces milieux montagneux, il est possible que les masses d'air froides aient été confinées uniquement aux hautes latitudes (Ruddimann et Raymo 1988). Cet impact est toutefois jugé insuffisant par

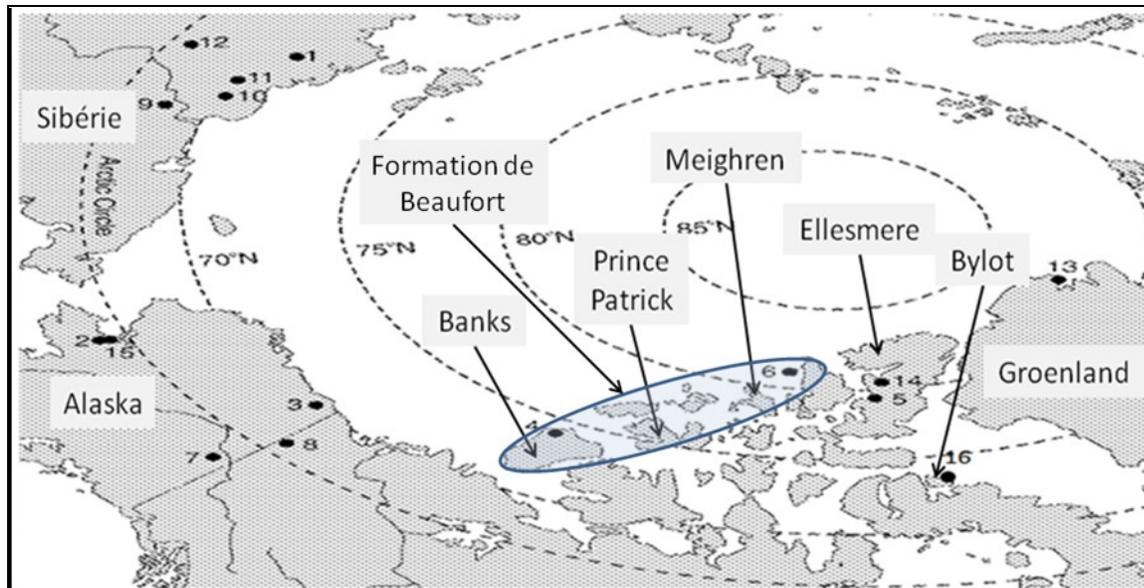
plusieurs experts pour expliquer l'ensemble de la baisse de température observée à la grandeur du globe selon plusieurs modélisations climatiques globales (Crowley 1991; Lunt *et al.* 2008). Une augmentation progressive de l'amplitude de l'obliquité de la Terre entre 3,1 et 2,5 Ma aurait également pu contribuer à l'instauration des glaciations dans l'hémisphère Nord, en favorisant un plus grand écart de température entre les saisons estivales et hivernales près des pôles (Haug *et al.* 2005).



**Figure 6 :** Comparaison de l'orographie estimée pour l'hémisphère Nord au milieu du Pliocène (image du haut) par rapport à celle actuelle (image du bas) (Jost *et al.* 2009)

## Végétation pliocène dans l'hémisphère Nord

La composition végétale durant le Pliocène de certaines régions de l'arctique est mieux définie que pour d'autres. C'est le cas de l'Alaska et de l'extrême est de la Sibérie, lesquelles contiennent des zones qui n'ont jamais été englacées par les grands inlandis pléistocènes et donc mieux protégées de l'érosion (Ritchie, 1984; Elias, 2001; Salzmann *et al.* 2008; Jost *et al.* 2009). Les conditions climatiques de certaines régions de l'arctique ne sont toutefois estimées que par comparaison avec des sites connus pouvant être localisés à plusieurs centaines de kilomètres. L'incertitude sur les conditions climatiques pour ces régions est en conséquence importante (Salzmann *et al.* 2008). Somme toute, on ne connaît que 16 sites fossilifères datant de la période pliocène au-delà du 60°N. Ces sites, dont certains seront présentés en détail dans le cadre de ce travail, sont localisés à la figure 7.



**Figure 7:** Sites fossilifères pliocènes connus au-delà du 60°N: 1) Ary-Mas, 2) Mine de Lava Camp 3) Niguaneq, 4) Ballast Brooks et Worth Point, 5) Stratcona Beaver Pond, 6) Île de Meighren et du Prince Patrick (Remus Creek), 7) Lost Chicken, 8) Bluefish et formation de Gubik, 9) Krestovka, 10) Chukotka, 11) Alazoa, 12) Sededema, 13) Kap København et Store Koldewey, 14) Wolf Valley, 15) Cape Deceit, 16) Île Bylot (modifié de Elias *et al.* 2006).

## Alaska

Compte tenu de l'absence de glaciation quaternaire sur certaines de ses zones, l'Alaska est le territoire qui contient le plus de sites pliocènes connus. Ces derniers, peu importe leur âge (défini dans la plupart des cas par la datation de tephres), confirment la présence d'une toundra forestière ou d'une forêt coniférienne contenant jusqu'à 10 espèces arborescentes durant le Pliocène (Hopkins *et al.* 1971; Ritchie, 1984; Matthews et Ovenden 1990; White *et al.* 1997), ce qui est similaire à aujourd'hui. Les données de terrain ainsi que les modélisations réalisées font cependant état d'une végétation associée à un climat plus humide et plus chaude qu'à l'actuel, ce qui exclut la présence de pergélisol continu dans certains cas (Willard 1994). On observe également une tendance au refroidissement à partir du début du Pléistocène, au moment où l'on peut observer les vestiges des premières plantes de toundra (Wolfe, 1978; Matthews et Ovenden 1990).

Les assemblages polliniques pliocènes alaskiens rapportés dans la littérature sont principalement dominés par le *Pinus*, le *Picea*, le *Betula*, l'*Alnus*, les éricacées et par les spores de sphaignes, même si on observe des variations importantes des pourcentages de chacun des taxons dans les spectres étudiés. Ces spectres polliniques correspondraient à une végétation de milieux humides près de la limite actuelle des arbres dominée par l'épinette (Ager *et al.* 1994; voir tableau II).

**Tableau II** : MOYENNE DU POURCENTAGE DE CHACUN DES TAXONS IDENTIFIÉS DANS 5 ÉCHANTILLONS À LAVA CAMP MINE (DÉBUT PLIOCÈNE) (AGER *ET AL.* 1994)

Taxon	Pourcentage moyen		Taxon	Pourcentage moyen
<i>Picea</i> (au moins deux espèces)	28,3		Cyperaceae	1,0
<i>Betula</i>	22,8		Onagraceae	0,6
<i>Alnus</i> (au moins deux espèces)	13,8		Cupressaceae	0,2
<i>Corylus</i>	11		Gramineae	0,2
Ericaceae	10,4		<i>Salix</i>	0,2
<i>Pinus</i>	6,2		<i>Symphoricarpos</i>	0,2
<i>Larix</i>	2,8		<i>Abies</i>	Trace
<i>Tsuga</i>	1,1			

Les seules analyses polliniques connues relatant une séquence de végétation de longue durée sur un même site en Alaska ont été réalisées par Carter et Nelson en 1985 dans la formation de Gubik (point 7, figure 7), laquelle serait âgée d'entre 2,7 et 2,5 Ma (Thomson et Flemming, 1996). Les auteurs observent à cette époque une végétation similaire à la limite des arbres actuelle (spectres polliniques dominés par le *Picea*, le *Betula*, les éricacées, le *Pinus* et l'*Alnus*), puis par la suite une transition vers une végétation de milieux plus froids, dominée par les Cyperaceae.

## Sibérie

Malgré sa position géographique favorable à la conservation des sédiments d'âge tertiaires, très peu d'études furent réalisées de l'autre côté du détroit de Béring. Quelques sites ont tout de même été découverts associés à la formation d'Olyor (points 1 et 9 à 12, figure 7), datée par tephrochronologie à la transition Plio-Pléistocène (Fradkina 1991). On a retrouvé sur ces sites une cinquantaine d'espèces d'insectes caractéristiques de milieux de steppes (végétation ouverte dominée par les graminées) au site de Chukotka, probablement précédés d'une toundra forestière ouverte dominée par le *Larix*, le *Salix*, le *Pinus*, le *Picea*, l'*Alnus* et le *Betula* autour de 2,5 Ma (Kiselyov 1981, Fradkina 1991; Blokhina et Bodarenko 2001). Des macro-restes d'espèces de forêt tempérée (*Corylus*, *Ulmus*, *Quercus*, *Juglans*) ont également été découverts dans des sédiments plus profonds attribués au milieu du Pliocène (environ 3,5 Ma selon Volkova 1991). Une autre étude réalisée près de Chukotka par Laukhin *et al.* en 1999 en vient sensiblement aux mêmes conclusions grâce à l'analyse pollinique. Effectivement, les spectres polliniques étudiés pour cette période montrent une dominance des grains de pollen de saule, de bouleau et d'aulne, confirmant leur présence aux alentours du site, même si le bouleau est un grand producteur de grains de pollen et que ces derniers peuvent voyager sur de très grandes distances. Des grains de pollen de *Pinus*, *Quercus* et *Fagus* en plus faible quantité tendent également à confirmer la présence régionale de ces taxons entre environ 3,4 et 3,0 Ma. Les estimations actuelles quant au climat mi-pliocène sibérien,

fondées sur les conditions de vie actuelles des espèces animales et végétales retrouvées, font état de températures moyennes annuelles avoisinant les -3 °C, soit environ 10°C plus élevé qu'à l'actuel. Les précipitations étaient également plus importantes (de l'ordre de 500 mm/an) (Laukhin *et al.* 1999).

## **Groenland**

Des études réalisées dans l'extrême nord du Groenland au site de Kap København (point 13, figure 7) ont, quant à elles, démontré la présence d'une végétation de type toundra arbustive sur les hautes terres entre 1,87 et 2,52 Ma avant nos jours, selon les résultats d'analyses paléomagnétiques (polarité positive) (Fredskild et Roen 1982; Funder *et al.* 1985; Bennike 1987; Bennike et Böecher 1990; Funder *et al.* 2001). La datation de cette formation repose sur les vestiges de la faune marine retrouvés dans les unités les plus anciennes (mollusques, foraminifères et ostracodes (Mogensen 1984; Penney 1993; Simonarson *et al.* 1998) et sur des analyses du paléomagnétisme (polarité positive des sédiments selon Abrahamsen et Marcussen, 1986). On a retrouvé sur le site 154 espèces d'insectes et d'araignées, dont la plupart sont boréaux et ne vivent plus au Groenland aujourd'hui (Funder *et al.* 2001). On y a également identifié 5 taxons arborescents, soit *Betula*, *Picea* (probablement de type *mariana*), *Pinus*, *Thuja* et *Larix*. Leurs troncs peuvent atteindre 18 cm de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et 4,60 m de haut (Bryan 1954; Bennike et Böecher 1990; Bennike 1998; Bennike 2000; Funder *et al.* 2001). Les cernes de croissance de ces arbres sont minces (environ 0,3 mm) (Bennike 1998). Les auteurs ont également identifié des sous-espèces de plantes aujourd'hui éteintes, telles *Larix groenlandii*, *Larix omoloica*, *Aracites globosa* et *Myrica arctogale* (Bennike et Böecher 1990). L'abondance d'organismes d'eau douce (*Potamogeton*, *Carex*, *Nuphar*) indique que la région était probablement parsemée de lacs ou d'étangs mésotrophes à végétation riveraine abondante et de plusieurs autres terres humides. (Bennike et Böecher 1990; Funder *et al.* 1985 et 2001).

Sur la base de la flore fossile recueillie depuis le milieu des années 1920 (Koch, 1925), il a été possible d'estimer des températures estivales entre 7 et 10°C plus élevées qu'actuellement, ce qui est similaire au climat actuel du Labrador (Mogensen 1984; Funder *et al.* 1985; Penney 1993; Bennike 1990). La température moyenne annuelle estimée (-4°C) n'exclut toutefois pas la présence de pergélisol. En fait, l'implantation du pergélisol juste après la disparition de la forêt expliquerait l'excellente conservation des restes végétaux (Funder *et al.* 2001). Cette supposition est confortée par la découverte, par Willerslev *et al.* en 2007, de fragments de *Pinus* dans un till basal directement au-dessus de l'unité organique fossile.

Plusieurs autres sites de moins grande étendue ont également été recensés dans le nord du Groenland. Les sites de Store Koldewey (1,95 – 1,78 Ma, polarité inverse), de l'île de France (2,60 – 3,58 Ma, polarité normale) et de l'île de Washington (environ 3 Ma), notamment, appuient également l'hypothèse d'une végétation similaire à la limite des arbres actuelle dans la région à la fin du Pliocène.

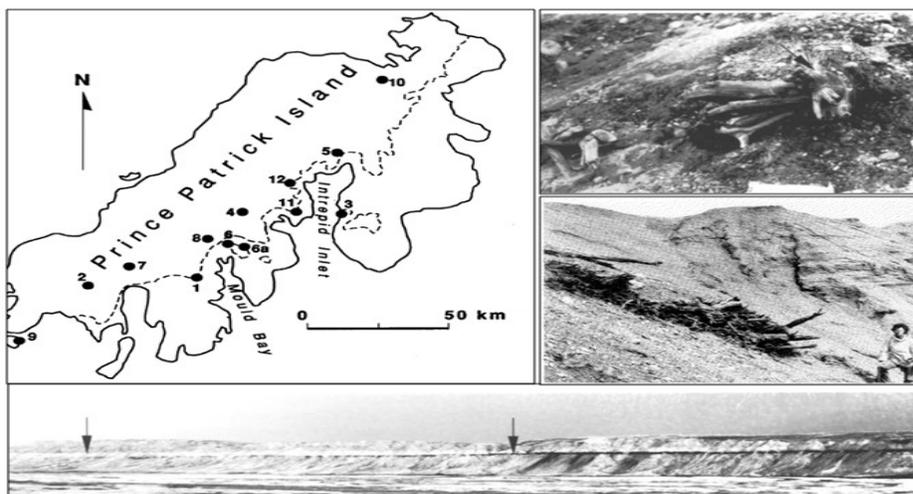
### **Formation de Beaufort**

La formation de Beaufort est associée à un till datant du début du milieu du Pliocène (entre 5 et 3 Ma environ, polarités normales et inverses des sédiments) (Tozer 1956; Hills et Ogilvie 1970; Matthews et Ovenden 1990, Fyles *et al.* 1994; Barendregt *et al.* 1998). Au-dessus de cette unité, des dépôts fluviaux et tourbeux couvrent la quasi-totalité du Pliocène plus récent (formations de Ballast Brooks, Worth Point, Duck Hawk et Morgan Bluffs). Ces unités stratigraphiques occupent intégralement ou partiellement un territoire important de l'arctique canadien (transect est-ouest de près de 2000 km), recouvrant en partie les îles de Banks, du Prince Patrick, de Borden, de Meighen et de Ellef Ringes (Fyles 1990). Une étude détaillée de la flore pliocène locale a ainsi pu être réalisée sur près de 30 sites, principalement sur les îles du Prince Patrick et de Banks.

## Île de Banks

L'île de Banks (site 4, figure 7) a été étudiée par différents auteurs entre les années 70 et 90. (Hills et Ogilvie 1970; Kuc et Hills 1971; Mathews et Ovenden 1990; Fyles 1990; Vincent 1990). Sur la base d'identification d'insectes et de macro-restes végétaux, on estime qu'une forêt mixte existait sur l'île au début du Pliocène (formation de Duck Hawk). Cette dernière aurait été progressivement remplacée par une tundra forestière dominée par le mélèze (*Larix laricina*) et le saule (*Salix* sp.) et poussant probablement dans une zone de pergélisol discontinu vers la fin du Pliocène (Mathews *et al.* 1986; Fyles *et al.* 1994). La présence d'espèces propres aux milieux humides (*Menyanthes trifoliata*, *Carex* sp.) implique sans doute la présence de ces derniers à grande échelle. La formation de Morgan Bluffs, plus récente, correspondrait une végétation similaire à celle des tourbières de la limite des arbres actuelle dans le nord du Québec (Vincent *et al.* 1983), tout comme au sein de la formation de Worth Point, datée de la même époque et de polarité inverse (Vincent, 1990). Les estimations associées à ces environnements font état de températures significativement plus élevées qu'aujourd'hui, tant au début (10°C de plus sur une base annuelle) qu'à la fin du Pliocène (entre 5°C et 7°C de plus). Les précipitations y étaient également plus importantes, surtout en hiver (Vincent 1990).

## Île du Prince Patrick



**Figure 8 :** Localisation des sites pliocènes retrouvés sur l'île du Prince Patrick (Formation de Beaufort) et images de terrain de l'unité stratigraphique fossilifère (Vincent 1990).

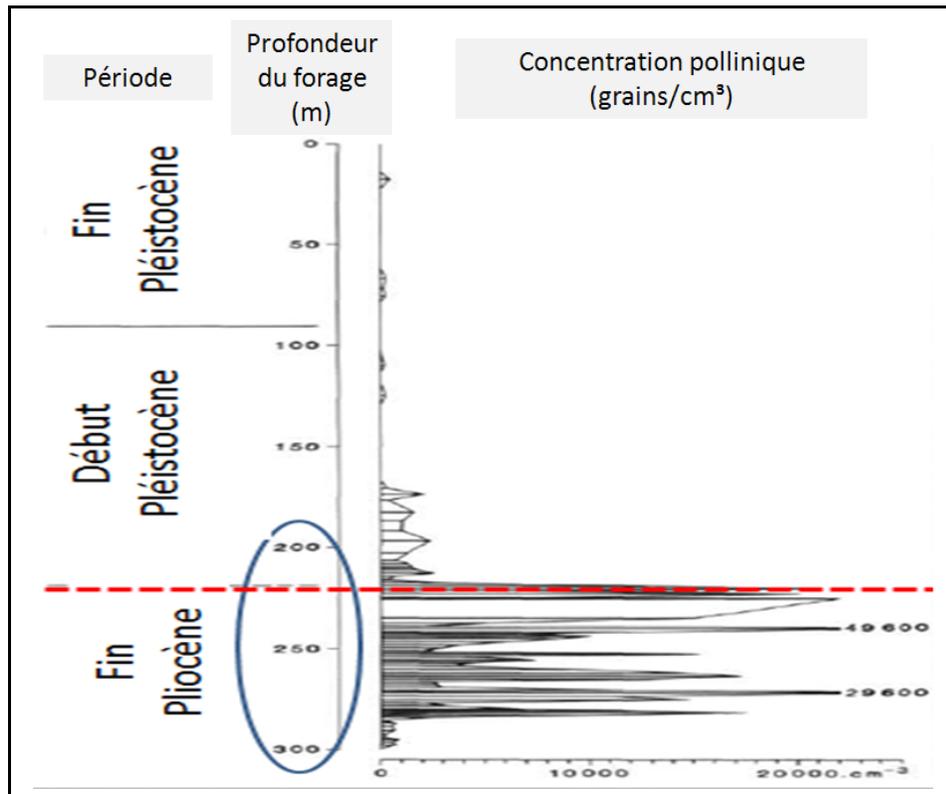
Dans la formation de Beaufort, sur l'île du Prince Patrick, on a retrouvé près d'une centaine d'espèces de plantes vasculaires et 80 espèces d'arthropodes, réparties sur une dizaine de sites fossilifères (voir figure 8, Matthews et Ovenden, 1990). Les principaux macro-restes identifiés à la base de cette unité sont des cônes de *Picea banksii* (éteint) et des graines de *Carya*, ainsi que des graines et des troncs (pouvant atteindre 50 cm de diamètre) d'*Abies*, de *Larix*, de *Pinus* et de *Thuja* (Hills et Ogilvie 1970; Matthews et Ovenden, 1990; Fyles 1990; Fyles *et al.* 1994). On y retrouve aussi de nombreux vestiges de mousses provenant autant de la zone arctique que de la zone boréale actuelle. Des analyses polliniques ont également permis d'en déduire une séquence de végétation pour tout le Pliocène (voir tableau III).

**Tableau III : PRINCIPAUX TAXONS POLLINIQUES IDENTIFIÉS DANS LES ÉCHANTILLONS PLIOCÈNES DE L'ÎLE DU PRINCE PATRICK ET MILIEUX CORRESPONDANTS**

Période	Taxons dominants (ordre décroissant)	Milieu interprété	Lieu	Sources
Pliocène inférieur	<i>Picea</i> <i>Betula</i> <i>Abies</i> <i>Carya</i>	Forêt boréale et plaines alluviales (Température de juillet 13°C plus élevée que l'actuel)	Ballast Brooks	Matthews et Ovenden, 1990; Fyles <i>et al.</i> 1994
Pliocène moyen	<i>Pinus</i> <i>Betula</i> <i>Salix</i>	Milieus humides fréquents. Situation similaire à la limite sud de la limite des arbres actuelle.	Ballast Brooks	Matthews et Ovenden, 1990; Fyles <i>et al.</i> 1994
Pliocène supérieur	<i>Picea</i> <i>Pinus</i> <i>Betula</i> <i>Alnus</i>	Idem qu'au Pliocène moyen mais légèrement plus froid (Température de juillet 5°C +chaude que l'actuel)	Remus Creek	Hills 1975; Matthews et Fyles 2000
Pliocène supérieur	<i>Betula</i> <i>Alnus</i> <i>Picea</i> <i>Pinus</i>	Idem Remus Creek	South Bay	Matthews et Fyles 2000
Pléistocène inférieur	<i>Picea</i> <i>Larix</i> <i>Myrica</i>	Milieus humides fréquents. Climat et végétation similaires ceux de la limite des arbres actuelle	Rusell Maris	Matthews et Fyles 2000
Pléistocène inférieur	<i>Alnus</i> <i>Betula</i>	Toundra arbustive	Wolf Valley	Matthews et Fyles 2000

## Baie de Baffin

L'étude d'une séquence sédimentaire marine échantillonnée sur le plateau continental dans le sud du Groenland (sites ODP 645 et 646) témoigne de la disparition d'horizons riches en grains de pollen d'arbres depuis environ 2,6 Ma. Les concentrations polliniques observées durant le Pliocène y sont relativement importantes (entre 5000 et 20 000 grains/cm<sup>3</sup>), compte tenu de la position géographique du site (de Vernal et Mudie 1989a, b). On observe par la suite une baisse rapide des concentrations de grains de pollen et de spores, ce qui correspond approximativement à la transition Plio-Pléistocène (voir figure 9).



**Figure 9** : Évolution temporelle des concentrations polliniques dans la baie de Baffin (ODP 645) en fonction de la profondeur du forage. On observe une nette diminution des concentrations polliniques à la transition Plio-Pléistocène, interprétée comme l'initiation des glaciations régionales dans la région (modifiée de de Vernal et Mudie 1989a).

Les assemblages polliniques observés durant la période de la fin du Pliocène au site ODP 645 correspondraient à un environnement de type boréal de milieu subarctique humide, dominé par des espèces comme le pin et l'épinette, tel qu'on peut le retrouver actuellement sur la côte est de Terre-Neuve (Andrews *et al.* 1988; de Vernal et Mudie 1989a; Willard 1994). On observe également des pourcentages significatifs de grains de pollen d'*Abies* (environ 5%), lesquels impliquent la présence, au moins temporaire, de sapinières à proximité de la Baie de Baffin. La présence de cette espèce n'exclut toutefois pas la présence de glaces régionales ou locales (voir figure 10, de Vernal et Mudie 1989a).

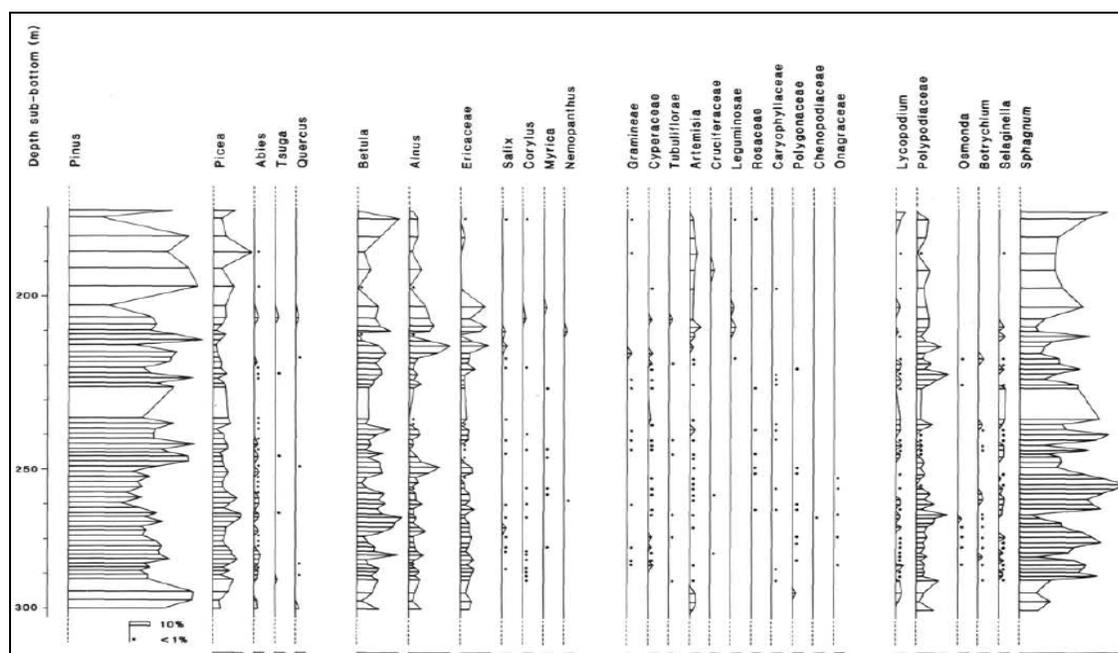
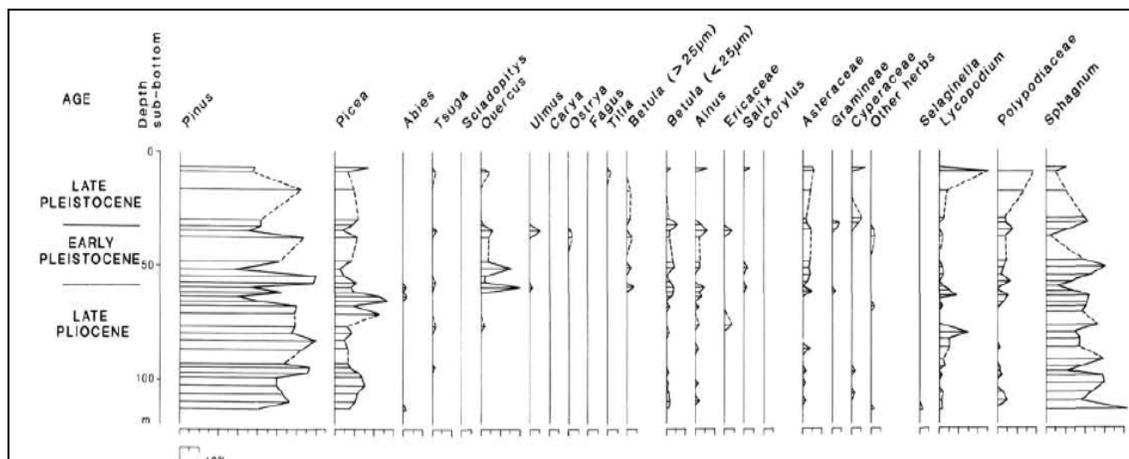


Figure 10 : Diagramme pollinique du nord la baie de Baffin (ODP 645) (de Vernal et Mudie 1989a).

Le site ODP 646, environ 500km plus au sud dans la Baie de Baffin, montre de son côté des variations importantes des concentrations et des influx polliniques durant la séquence Plio-Pléistocène. Les assemblages restent toutefois à peu près les mêmes que pour le site ODP 645 (présence importante de grains de pollen et de spores de *Pinus*, *Picea* et *Sphagnum*). À la fin du Pliocène, on observe toutefois des forts pourcentages des grains de *Quercus* et *Betula*, ce qui est interprété comme un changement temporaire vers une forêt mixte tempérée (Voir figure 11, de Vernal et Mudie 1989b).



**Figure 11** : Diagramme pollinique provenant du sud la baie de Baffin (ODP 646) (de Vernal et Mudie 1989b).

Il est toutefois à noter que les périodes définies dans ces études le sont à titre indicatif. En effet, mises à part les variations importantes des concentrations polliniques, la transition Plio-Pléistocène présentée dans ces travaux n'a pas pu être datée de manière absolue. Cette variation de concentration pourrait être exagérée par une plus grande accumulation sédimentaire, laquelle aurait permis une *dilution* des grains. Le fait que les échantillons aient été prélevés dans des carottes marines mène également à une surreprésentation des espèces dont les grains voyagent plus facilement sur des longues distances (*Pinus*, *Picea* et *Abies*, par exemple).

## Île d'Ellesmere

Le fjord de Strathcona (4-5 Ma), sur l'île d'Ellesmere, est un des sites les plus riches en fossiles pliocènes de l'arctique canadien. La surface étudiée jusqu'à maintenant est essentiellement constituée d'un milieu de dépôt jugé initialement tourbeux entrecoupé d'horizons sablonneux (source alluviale?), des coquilles de mollusques d'eau douce, des restes d'insectes, des troncs et des sections d'arbres (Matthews et Ovenden 2000; Tedford et Harington 2003). La description du milieu de dépôt pour ce site reste toutefois fragmentaire et peu exhaustive, ce qui limite d'autant les interprétations qui peuvent en

découler et rend difficile l'identification de grains de pollen d'origine secondaire. L'abondance d'aiguilles, de cônes et de grains de pollen de mélèzes observés dans les sédiments tend toutefois à confirmer la présence en grande quantité de l'espèce éteinte *Larix groenlandii* (données non publiées de Richard 2010). On a aussi retrouvé des aiguilles de pins sûrement associées au pin nain japonais *P. pumila* ainsi que des macro-restes d'aulne (*Alnus*) et de bouleau (*Betula*). On retrouve également sur le site une série d'autres plantes vasculaires caractéristiques des terres humides : *Carex diandra*, *Scirpus* spp., *Scheuchzeria* sp., *Menyanthes* sp. (Basinger *et al.* 1994; Ballantyne *et al.* 2006). Les dernières études portant sur les macro-restes végétaux et les chitines de coléoptères suggèrent une température moyenne annuelle pour le site d'environ 14°C, ce qui correspondrait au climat actuel du centre des États-Unis (Ballantyne *et al.* 2010; Matthews et Oviden 1990; Elias *et al.* 2006). Comme mentionné précédemment, ces estimations sont toutefois limitées par la description des milieux de dépôts étudiés.

### **Île Bylot**

Des recherches effectuées en 2001 sur l'île Bylot (point 16, figure 7) ont permis de mettre en lumière des vestiges d'un environnement forestier de type boréal ou bas-arctique datant de la fin du Pliocène (entre 2 et 3 Ma) (Piroux *et al.* 2005). La datation relative de ces unités a été réalisée à partir d'études paléomagnétiques et par la présence d'espèces éteintes. Des analyses au radiocarbone ont également conclu à un âge supérieur à 48 000 ans <sup>14</sup>C (échantillons UL- 2709 et UL-2710). La préservation exceptionnelle des échantillons (restes d'écorce, de radicelles et de chitine d'insectes) est quant à elle probablement due à un enfouissement rapide et à l'instauration subséquente du pergélisol (Piroux 2005).

Des analyses polliniques et macro-fossiles préliminaires effectuées sur la composition végétale du site ont révélé la présence d'au moins cinq espèces de conifères (*Picea* type *mariana*, *Picea* type *glauca*, *Pinus albicaulis*, *Pinus* cf. *matthewsi* et *Larix* cf. *altoborealis* (apparenté à *Larix laricina*)). Des bouleaux arborescents et arbustifs ont aussi été identifiés à partir de graines (*Betula* cf. *papyrifera* et de *Betula* cf. *glandulosa*).

Jusqu'à maintenant, deux espèces éteintes ont été identifiées (*Aracites globosa* et *Myrica arctogale*), dont on estime l'extinction à la transition Plio-Pléistocène. Au total, 32 taxons ont été identifiés en 2005 (voir tableau IV). Toutefois, seulement six échantillons ont été étudiés pour leur contenu sporopollinique, ce qui ne permet pas une étude approfondie de la biodiversité régionale et de la succession végétale du site à travers le temps (voir annexe I).

**Tableau IV** : MACRO-RESTES (M) ET TAXONS POLLINIQUES (P) PLIOCÈNES DE L'ÎLE BYLOT (PIRAUX 2005)

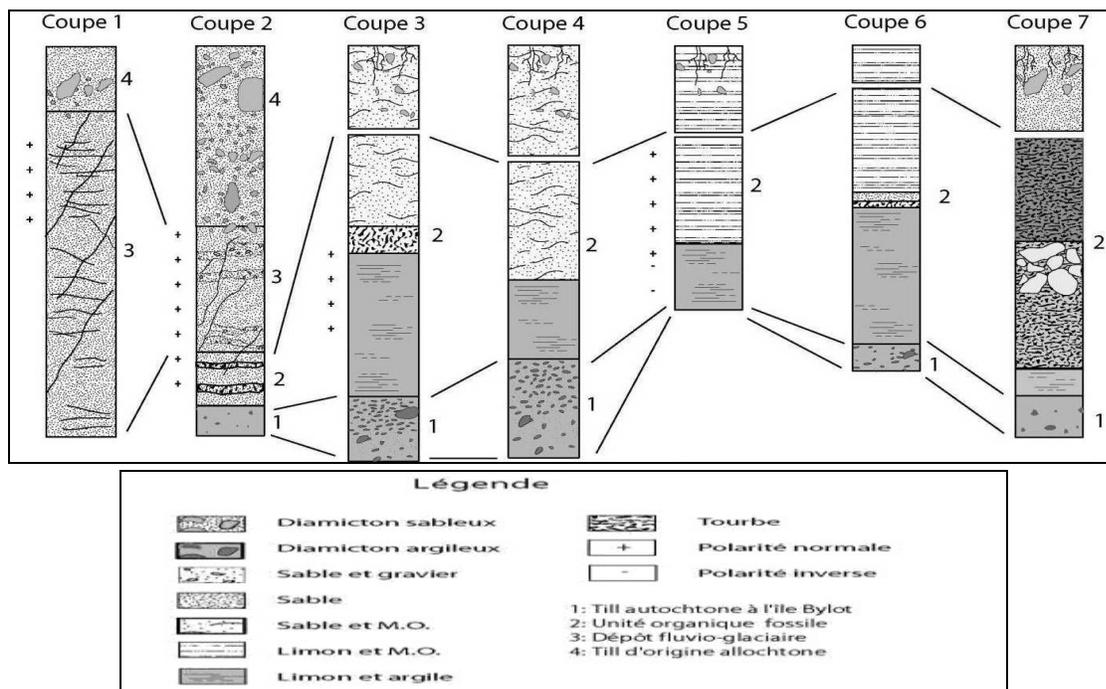
Taxon	M	P	Taxon	M	P
<i>Picea type glauca</i>	X		<i>Chamaedaphne calyculata</i>	X	
<i>Picea type mariana</i>	X		<i>Artemisia</i>		X
<i>Pinus cf. matthewsi</i>	X	X	<i>Potentilla</i> sp.		X
<i>Pinus albicaulis</i>	X	X	Cyperaceae	X	X
<i>Betula cf. papyrifera</i>	X		<i>Carex</i> spp.	X	
<i>Betula cf. glandulosa</i>	X		Poaceae	X	X
<i>Betula</i> sp.		X	<i>Menyanthes trifoliata</i>	X	
<i>Larix cf. altoborealis</i>	X	X	Saxifragaceae		X
Cupressaceae		X	<i>Epilobium</i> sp.		X
<i>Populus</i> sp.		X	<i>Oxyria digyna</i>		X
<i>Salix</i> sp.	X	X	<i>Sparganium</i> sp.	X	
<i>Alnus</i> sp.	X	X	<i>Osmunda cf. regalis</i>	X	
<i>Myrica cf. gale</i>		X	<i>Hippuris cf. tetraphylla</i>	X	
<i>Myrica arctogale</i>	X		<i>Aracites globosa</i>	X	
Ericaceae	X	X	<i>Drepanocladus</i> sp.	X	
<i>Andromeda polifolia</i>	X		<i>Sphagnum</i> sp.	X	X

Contrairement à d'autres sites pliocènes arctiques, aucun macro-reste animal, autre que d'arthropodes et de coléoptères, n'a été découvert jusqu'à maintenant. Toutefois, certains fragments de bois montrent des traces possiblement laissées par une espèce éteinte de castor (Rybczynski, données non publiées). Aucun dépôt de tephras n'a également été recensé jusqu'à maintenant.

Les données obtenues à ce jour suggèrent que la végétation fossile retrouvée sur l'île Bylot représenterait un assemblage similaire à celui retrouvé près de l'actuelle limite nordique des arbres dans le nord du Québec. Ceci impliquerait une température moyenne

annuelle d'environ  $-4^{\circ}\text{C}$ , ce qui est environ  $10^{\circ}\text{C}$  plus élevé qu'à l'heure actuelle. La présence de glaciers alpins est de son côté jugée probable au moment de la croissance de la végétation pliocène fossile, bien que les conditions climatiques, plus chaudes à cette époque les auraient restreints aux hautes altitudes (Piroux 2005).

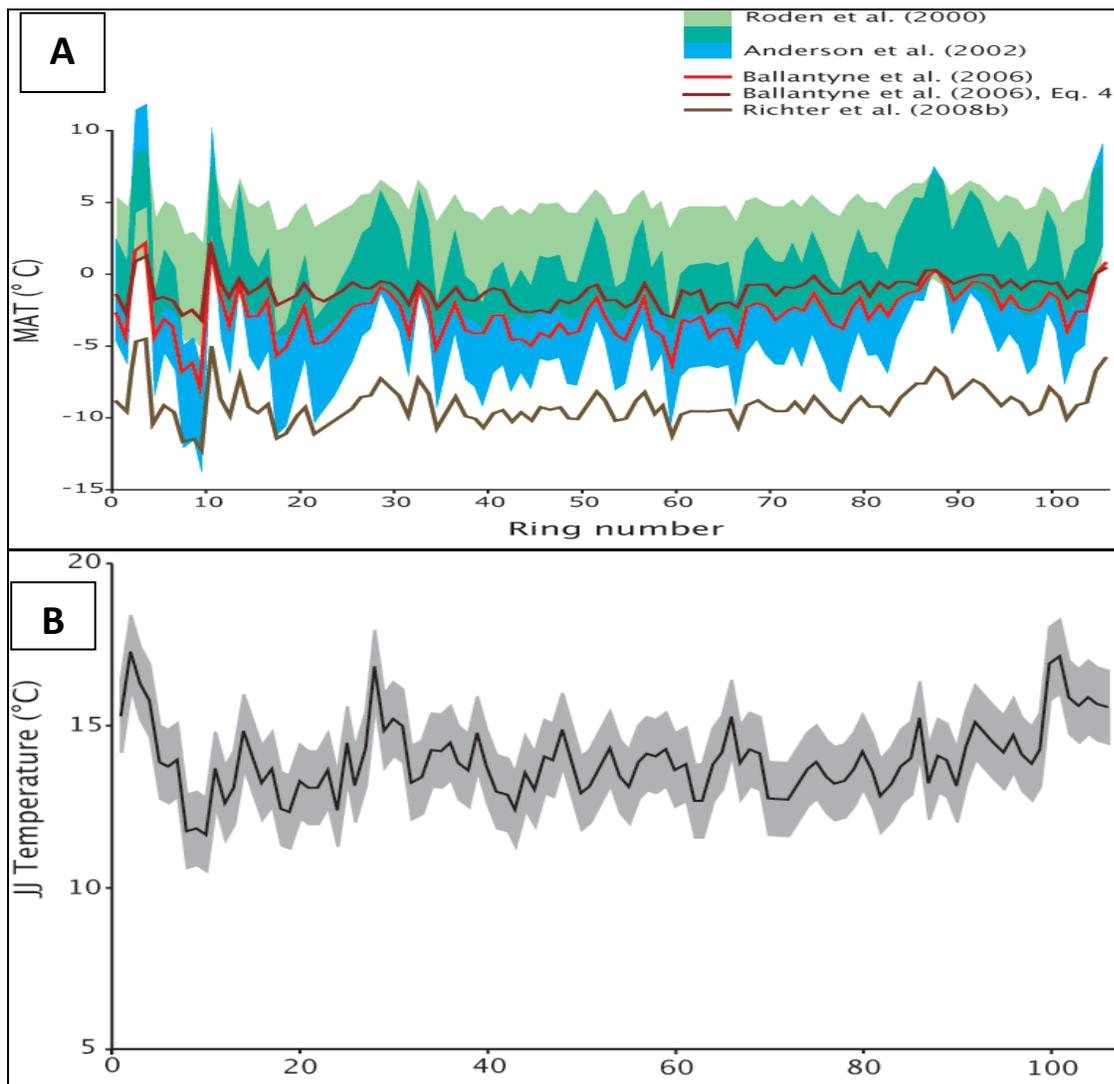
Axées principalement sur des analyses physico-chimiques des observations sur le terrain et des analyses sédimentologiques préliminaires effectuées sur les lieux (granulométrie, morphoscopie et exoscopie des quartz), ces études ont permis l'élaboration de conjectures quant aux conditions environnementales qui prévalaient lors de la mise en place du matériel. Quatre unités principales ont alors été identifiées suite à l'analyse de sept coupes stratigraphiques : un diamicton basal composé de blocs cristallins autochtones au site interprété comme un till de fond (unité 1), une séquence organique fossile contenant d'abondants restes végétaux (unité 2), un dépôt de sable et de gravier contenant des fragments de coquilles marines, interprété comme un dépôt fluvio-glaciaire (unité 3) et un autre diamicton d'origine régionale, interprété comme un till (unité 4) (voir figure 12) (Piroux, 2005).



**Figure 12** : Synthèse des analyses stratigraphiques et paléomagnétiques réalisées au site de l'île Bylot (Piroux 2005).

Plus récemment, des analyses isotopiques réalisées sur 10 troncs de *Larix* provenant du site de l'île Bylot ont permis de déduire des températures moyenne annuelle (MAT) et du mois le plus chaud ( $T_{\text{juil}}$ ) approximatives pour le site (Csank, 2011). Ces résultats, inclus à la figure 13, tendent vers une température moyenne annuelle pour le site de  $-2,9 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$  et une  $T_{\text{juil}}$  de  $13,5 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ , ce qui correspondrait à une végétation boréale près de la limite des arbres. L'âge estimé de l'unité fossilifère proposé suite à ces résultats est d'entre 2,4 et 2,7 Ma.

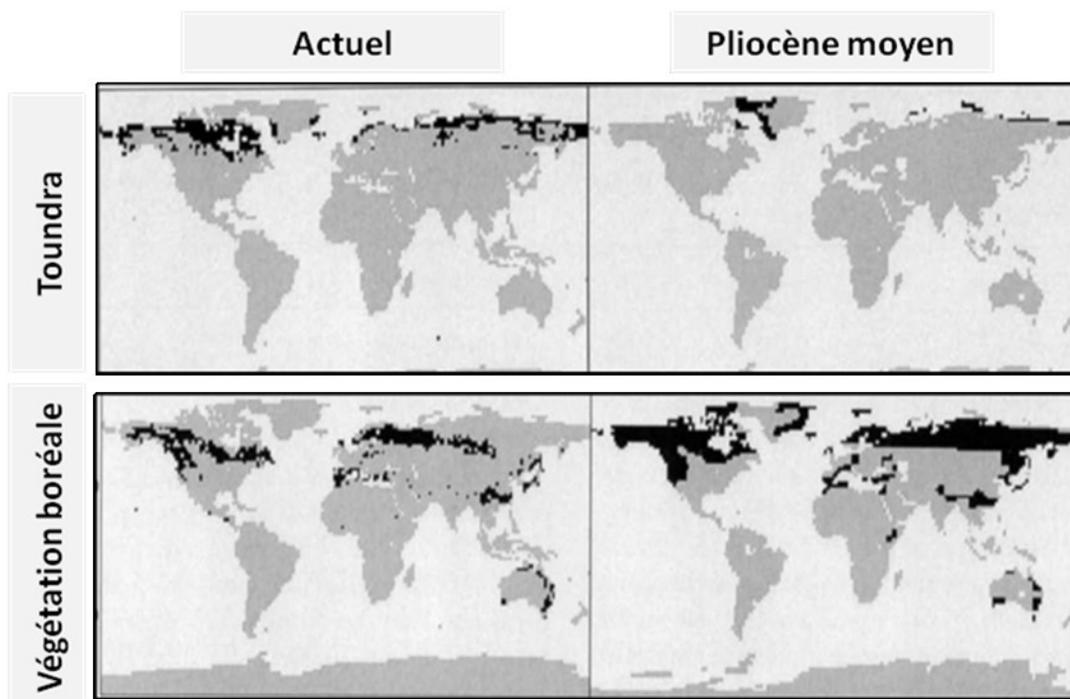
Un seul site fossilifère datant de cette époque a pour l'instant été découvert sur l'île Bylot. Toutefois, des analyses exploratoires réalisées par Klassen en 1994 ont montré la présence sporadique de macro-restes d'espèces boréales sur l'île (*Menyanthes trifoliata*, de *Rumex* et *Potamogeton*). Ces découvertes laissent ainsi croire en la possibilité qu'il existe dans la région d'autres sites semblables à celui présenté dans cette étude.



**Figure 13 :** Température moyenne annuelle (MAT) en °C et température moyenne du mois le plus chaud (JJ Temperature) interpolées grâce à des analyses isotopiques réalisées sur des troncs provenant du site Plio-Pléistocène de l'île Bylot. L'axe des x correspond au numéro du cerne analysé (Csank, 2011).

## Synthèse des connaissances

Les modélisations réalisées pour comprendre les dynamiques pliocènes du climat sont limitées par le faible nombre de sites répertoriés (202 sites terrestres à l'échelle mondiale pour l'ensemble du Pliocène selon Salzmann, 2008). Toutefois, grâce aux 16 sites pliocènes connus au-delà du 60°N, il est possible d'en dégager la position approximative des biomes anciens par modélisation et interpolation. Ainsi, dans les hautes latitudes, le climat aurait permis l'implantation d'une limite des arbres près de 2500 km vers le nord par rapport à l'actuel, en réponse à la position de près de 20° plus au nord de la *winter freezing line*, soit la limite où la moyenne de la température de janvier est inférieure à 0°C (Matthews et Ovensen 1990; Thompson et Fleming 1996; McIver et Basinger 1999; Salzmann *et al.* 2008). Ceci est observable sur la figure 14, résultat d'une modélisation réalisée par Sloan *et al.* en 1996.



**Figure 14** : Représentation de la répartition des biomes de toundra (images du haut) et de forêt coniférienne de type boréale (images du bas) durant le Pliocène moyen (images de droite) et aujourd'hui (images de gauche) (Sloan *et al.* 1996).

Une végétation de type boréale dominée par le pin et l'épinette recouvrait probablement les zones de toundra actuelles, ainsi qu'une grande portion du Groenland jusqu'au milieu du Pliocène (Haywood et Valdes 2006; Salzmann *et al.* 2008; Schweger *et al.* 2011). La végétation de type arctique aurait quant à elle vu le jour, de façon discontinue, uniquement à partir d'environ 3 Ma. Les taxons végétaux de ce biome seraient ainsi originaires principalement des zones montagneuses des États-Unis, du Groenland et de la Chine (Abbott et Brochmann, 2003). Des analyses palynologiques tendent à suggérer la disparition des forêts au-delà de cette région à partir de 2,5 Ma (Fyles *et al.*, 1998) ainsi que la disparition de la présence de taxons boréaux dans les échantillons pour les sites au-delà du 60°N à partir de 2,2 Ma (Harris, 2005). On observe également des proportions plus importantes dans les hautes latitudes de plantes de type C3, compte tenu des concentrations plus élevées de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Haywood et Valdes 2006). Enfin, on observe une transition progressive vers des espèces de milieux plus froids au fur et à mesure que l'on s'approche de la transition Plio-Pléistocène (voir tableau V).

**Tableau V** : SYNTHÈSE DE LA PRÉSENCE DES PRINCIPAUX TAXONS VÉGÉTAUX À TRAVERS LE TEMPS DANS L'HÉMISPHERE NORD (AU-DELÀ DU 60°N) DEPUIS LE MILIEU DU MIOCÈNE (FYLES *ET AL.* 1994).

	Période					
	Miocène		Pliocène			
	Mi-Miocène	Fin Miocène	Début Pliocène	Mi-Pliocène	Fin Pliocène	
<i>Potentilla</i>						Taxons indifférents (transgressifs)
<i>Rumex</i>						
<i>Gramineae</i>						
<i>Picea</i>						
<i>Menyanthes</i>						
<i>Larix</i>						
<i>Pseudotsuga</i>						
<i>Pinus</i> (3 aiguilles)						
<i>Metasequoia</i>						
<i>Tsuga</i>						
<i>Betula</i> type <i>apoda</i>						Taxons exclusifs au Miocène
<i>Abies</i>						
<i>Pinus</i> (5 aiguilles)						
<i>Chenopodiaceae</i>						
<i>Thuja</i>						Taxons de transition
<i>Myrica</i> type <i>eogale</i>						
<i>Betula</i> type <i>nana</i>						Taxons exclusifs au Pliocène
<i>Oxyria</i>						
<i>Dryas</i>						
<i>Empetrum</i>						

## **Limites et critiques des études botaniques pliocènes**

Le fait que les espèces végétales pliocènes retrouvées jusqu'à ce jour soient à peu de choses près les mêmes que celles existant aujourd'hui permet d'effectuer des rapprochements cohérents entre les écosystèmes anciens et récents, à partir d'études polliniques, stratigraphiques et de macro-restes végétaux (Webb et Bartlein 1992). Toutefois, des limites importantes sont à considérer lorsque que l'on veut interpréter les résultats d'une étude à cette échelle temporelle. En effet;

- 1) Le faible nombre de sites connus, surtout pour certaines régions du globe, ne permet pas une description à une échelle fine de la végétation de l'époque;
- 2) L'absence de datation absolue universelle pour les fossiles de type organique pour cet intervalle temporel rend difficile la corrélation inter-site et ne permet pas de déterminer avec précision les taux d'accumulation sédimentaire;
- 3) Le risque d'une perturbation antérieure des unités stratigraphiques étudiées est à considérer;
- 4) La détérioration relativement rapide de la matière organique, surtout près de l'équateur, diminue les chances de retrouver des vestiges organiques, mis à part dans des milieux de dépôt où la décomposition est naturellement plus lente. Conséquemment, les sites riches en vestiges animaux et végétaux sont retrouvés majoritairement dans les sédiments d'anciens lacs ou d'anciennes tourbières, ce qui surévalue l'importance de ces derniers à l'époque;
- 5) L'exclusion des dynamiques climatiques à grande échelle temporelle pourrait mener à des interprétations très différentes du climat pliocène, compte tenu du rôle majeur des conditions initiales sur les résultats obtenus lors des modélisations, au même titre qu'une hausse de la résolution des modèles existants (Pagani *et al.* 2010; Hill *et al.* 2007).

Il est donc important de bien définir les milieux de dépôts auxquels on a à faire, condition qui n'est pas toujours respectée dans la littérature. L'étude uniquement des macro-restes végétaux et animaux entraîne également un biais sur l'interprétation régionale de la végétation de cette époque puisque ces derniers sont rarement transportés sur de longues distances. Toutefois, l'analyse macro-fossile permet une description détaillée de la végétation locale, ce qui permet d'en inférer des conditions d'humidité, de pH et de température relativement précises localement. Cette technique fait cependant le postulat que les tolérances climatiques des espèces fossiles retrouvées sont demeurées les mêmes jusqu'à l'actuel. L'interprétation qui en découle est également limitée si des espèces éteintes aux tolérances bioclimatiques inconnues sont présentes dans les dépôts étudiés.

Inversement, l'analyse pollinique ne permet pas une définition précise de la flore locale, car elle reflète également les conditions bioclimatiques à l'échelle régionale (quelques centaines de mètres à quelques centaines de kilomètres). En l'absence d'une bonne description des milieux de dépôt étudiés, il est donc difficile de différencier l'apport local de celui régional. L'interprétation des diagrammes polliniques provenant de cette époque est également limitée car les assemblages végétaux fossiles n'étaient probablement pas les mêmes qu'aujourd'hui (aucun analogue moderne).

Il est également important de savoir que certaines espèces produisent beaucoup plus de grains de pollen que d'autres par individu, ce qui mène à une surreprésentation de ces dernières. L'apport pollinique relatif des espèces actuelles étant relativement bien connu, il est possible d'apporter des correctifs pour les principales espèces végétales (*R ratio*, voir tableau VI) ce qui permet d'estimer leur proportion réelle sur le terrain. Pour les études pliocènes, ces mêmes ratios sont utilisés; or, dû au faible nombre d'études polliniques concernant cette époque, rien ne prouve que ces apports relatifs sont demeurés les mêmes. À ce propos, certaines études faites sur les grains de pollen de pin provenant du Pliocène supposent que ce genre était probablement sous-représenté, contrairement à aujourd'hui (Piroux, 2005).

**Tableau VI** : REPRÉSENTATION POLLINIQUE ACTUELLE ET R-RATIO DES PRINCIPAUX TAXONS VÉGÉTAUX RETROUVÉS AU-DELÀ DU 60°N DURANT LE PLIOCÈNE. (ADAPTÉ DE DAVIS 1963, RITCHIE 1987 ET DE DELCOURT *ET AL.* 1984).

<b>Taxon pollinique</b>	<b>Représentation pollinique</b>	<b>R-ratio</b>
<i>Larix</i>	fortement sous-représenté	0,05
<i>Abies</i>	fortement sous-représenté	0,14
<i>Acer</i>	fortement sous-représenté	0,24
<i>Thuja</i>	fortement sous-représenté	0,28
<i>Carpinus/Ostrya</i>	sous-représenté	0,43
<i>Fraxinus</i>	légèrement sous-représenté	0,48
<i>Carya</i>	sous-représenté	0,62
<i>Corylus</i>	généralement représentatif	≈ 1
Poaceae	généralement représentatif	≈ 1
Ericaceae	généralement représentatif	≈ 1
<i>Salix</i>	fortement surreprésenté	1,2
<i>Fagus</i>	fortement surreprésenté	1,5
<i>Pinus banksiana</i>	légèrement surreprésenté	4,1
<i>Pinus strobus</i>	légèrement surreprésenté	4,6
<i>Betula</i>	fortement surreprésenté	5,6
<i>Picea Mariana</i>	Fortement surreprésenté	5,8
<i>Quercus</i>	surreprésenté	> 1
<i>Alnus</i>	surreprésenté	> 1
Cyperaceae	surreprésenté	> 1

Les reconstitutions végétales récentes à partir de la palynologie se font également parfois à partir de données d'influx (grains/cm<sup>2</sup>/an), lesquels permettent d'estimer le couvert végétal mais sont directement liées au taux d'accumulation sédimentaire. Or, dans le cas de sédiments pliocènes, l'absence de méthodes de datation précises nous oblige à utiliser le pourcentage de chaque taxon pollinique et des valeurs de concentrations polliniques (nombre de grains/cm<sup>3</sup>), lesquels varient selon le taux d'accumulation du matériel (inconnu pour la plupart des dépôts pliocènes) et sont influencées par le pourcentage des autres taxons. De plus, plus le nombre de grains comptés pour un échantillon est petit, plus les taxons peu producteurs de pollen sont mis en évidence, car le pourcentage de ces grains par rapport au total y est proportionnellement plus important. Finalement, les grains de pollen contenus dans les échantillons étudiés peuvent avoir été produits par des

espèces éteintes aujourd'hui, mais encore très apparentées morphologiquement à leurs descendants, ce qui peut mener à des interprétations erronées. En effet :

- 1) Certaines espèces retrouvées sur le site sous forme de macro-restes sont aujourd'hui disparues et leur morphologie pollinique est méconnue;
- 2) Les espèces actuelles retrouvées dans l'ouest du Canada ont possiblement migré vers l'est durant le Pliocène et ne se sont pas exclus (ex. *Pinus albicaulis*).

Compte tenu de ces restrictions et des espèces similaires au sein d'autres sites pliocènes arctiques, le tableau VII illustre les principales espèces potentiellement confondues au niveau pollinique dans la présente étude.

**Tableau VII : TRANSFERT ENTRE L'IDENTIFICATION POLLINIQUE FAITE DANS LA PRÉSENTE ÉTUDE ET LEURS ESPÈCES CORRESPONDANTES POSSIBLES**

<b>Taxon pollinique identifié</b>	<b>Autres espèces probables</b>
<i>Salix</i> sp.	<i>Salix alaxensis</i> (4, 5) <i>Salix arbusculoides</i> (5) <i>Salix reticulata</i> (13)
<i>Betula</i> sp.	<i>B. nana</i> (4, 5, 8, 13) (< 23µm) <i>B. glandulosa</i> (2, 4, 8, 14, 16) (< 23µm) <i>B. papyrifera</i> (5, 6, 8, 13, 16) (entre 23 et 28µm) <i>B. alleghaniensis</i> (> 28 µm)
<i>Picea glauca</i> type	<i>P. engelmannii</i> (6)* <i>P. banksii</i> * (6)
<i>Pinus</i> cf. <i>banksiana</i>	<i>P. contorta</i> (2, 6, 7, 15) * <i>P. matthewsii</i> (3, 7) * <i>P. albicaulis</i> (5, 16) <i>P. pumila</i> (9, 10)
<i>Larix</i> sp.	<i>L. laricina</i> (5) <i>L. altoborealis</i> (4, 16)* <i>L. occidentalis</i> (1, 2, 9, 10, 11, 12, 13) <i>L. omoloica</i> (13, 15)* <i>L. groenlandii</i> (5, 13) *
<i>Alnus</i> type <i>crispa</i>	<i>A. tertiaria</i> (6)*

\*\* : Les numéros entre parenthèses correspondent aux numéros des sites où les taxons ont été retrouvés, illustrés à la figure 7 ( 1) Ary-Mas, 2) Mine de Lava Camp 3) Niguanek, 4) Ballast Brooks et Worth Point, 5) Stratcona Beaver Pond, 6) Île de Meighren et du Prince Patrick (Remus Creek), 7) Lost Chicken, 8) Bluefish et formation de Gubik, 9) Krestovka, 10) Chukotka, 11) Alazoa, 12) Sededema, 13) Kap København et Store Koldewey, 14) Wolf Valley, 15) Caper Deceit, 16) Île Bylot. L'astérisque suivant un nom d'espèce signifie que cette dernière est une espèce éteinte. Le diamètre entre le diamètre des grains de bouleau (*Betula*) et leurs espèces correspondantes est inspiré des études de Labelle et Richard (1984).

Somme toute, les analyses paléo-écologiques concernant la végétation pliocène dans l'hémisphère nord font face à plusieurs limitations importantes, lesquelles ne permettent pas toujours une évaluation précise des conditions environnementales de l'époque. Il est donc important de bien définir les milieux de dépôt étudiés dans le cadre d'une étude sur le Pliocène, en plus de raffiner la stratigraphie et la datation de ces sites dans la mesure du possible. L'utilisation combinée de plusieurs techniques descriptives (stratigraphie, palynologie, études macro-fossiles, etc.) est également à privilégier, car chacune d'elles permet de contourner les difficultés imposées par les autres.

## **Objectifs de recherche**

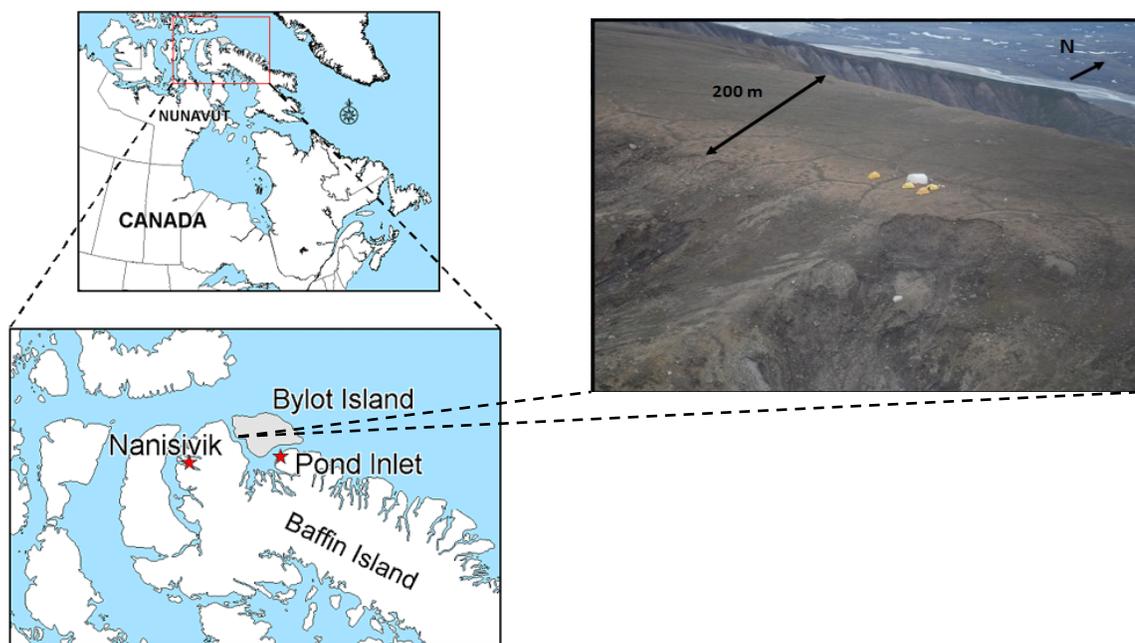
Compte tenu du manque important de connaissances sur la végétation pliocène dans l'hémisphère Nord et de l'importance de cette dernière comme potentiel analogue aux changements climatiques modernes, l'étude approfondie de la végétation fossile retrouvée au site de l'île Bylot s'avère une bonne opportunité de mieux connaître l'aspect végétal pliocène de cette région, lequel reste peu connu. Dans cette optique, ainsi que dans celle de mieux dater le site, de définir avec plus de précision les milieux de dépôts associés aux unités stratigraphiques fossiles et de compléter les analyses polliniques réalisées par Piraux en 2005, mon projet vise à :

- Préciser la chrono-stratigraphie du site à l'aide du paléomagnétisme terrestre et par des corrélations stratigraphiques et palynostratigraphiques;
- Établir une liste et une séquence des différents taxons polliniques retrouvés dans les échantillons fossiles du site de l'île Bylot et en inférer des conditions climatiques estivales, hivernales et annuelles (température et précipitations);
- Établir des comparaisons entre ce site et d'autres sites pliocènes arctiques grâce à l'analyse pollinique et aux analyses paléomagnétiques.
- Établir des comparaisons entre ce site et d'autres sites arctiques, subarctiques et boréaux modernes en termes de végétation, de climat et de conditions de pergélisol.

Ces objectifs prennent en compte les difficultés associées à l'âge des dépôts étudiés et aux techniques de reconstitution utilisées. Les analyses polliniques seront réalisées sur des petits intervalles de profondeur ce qui permettra une caractérisation détaillée des successions végétales et la description des milieux de dépôt étudiés sera réalisée de façon minutieuse. Ces analyses permettront ainsi une meilleure connaissance de la succession des événements précédant et suivant l'instauration de la végétation fossile. Elle permettra également de mettre en lumière les variations climatiques et biotiques à l'échelle régionale durant le Pliocène aux abords de l'île Bylot.

## Présentation du site d'étude

Le site d'étude est localisé au sud-ouest de l'île Bylot, directement au nord de la Terre de Baffin au Nunavut (72-74°N, 60-80°W) et à environ 80 km de la communauté inuit de Pond Inlet (Mittimatalik). S'étalant sur environ 11 064 km<sup>2</sup>, l'île Bylot est la troisième plus grande île inhabitée de la planète, longue de 180 km et large de 100 km. Elle est délimitée par les détroits de Lancaster au nord et par ceux d'Éclipse Sound et Navy Board au sud et à l'ouest (voir figure 15).



**Figure 15** : Position géographique du site d'étude (modifiée du site web du Centre d'Études Nordiques, 2010 ([http://www.cen.ulaval.ca/bylot/fr\\_studysite.htm](http://www.cen.ulaval.ca/bylot/fr_studysite.htm))).

L'île peut être divisée en deux zones physiographiques et lithologiques différentes. Son centre est constitué de la chaîne des monts Byam Martin, laquelle peut atteindre des altitudes voisines de 1600 mètres au-dessus du niveau de la mer et fait partie de l'unité physiographique des hautes-terres de Davis qui se prolonge jusqu'à l'île Ellesmere (Bostock 1970). Ces montagnes sont constituées de roches ignées d'âge archéen et de

roches méta-sédimentaires et méta-volcaniques d'âge protérozoïque (Jackson et Sangster 1987). En contraste, le reste de l'île fait partie de la plateforme arctique, qui se prolonge jusqu'à l'île de Devon à l'ouest. Cette unité géologique forme des plateaux d'environ 500 mètres d'altitude, entaillés par des vallées glaciaires en auge. Cette région géologique est constituée de roches sédimentaires d'âge Protérozoïque et Crétacé-Tertiaire (grès fossilifères et shales peu consolidés) de la formation de Lancaster (Miall *et al.* 1980; Rice et Shade 1982). En surface, on retrouve la plupart du temps des sédiments éoliens et organiques ou des dépôts associées à des tills d'âge quaternaire (Klassen 1993).

Le territoire couvert par l'île est situé dans une zone de pergélisol continu. Pour la période 1971-2000, la température moyenne annuelle de l'air à Pond Inlet est de  $-15,1^{\circ}\text{C}$  et la température moyenne du mois le plus chaud (juillet) est de  $5^{\circ}\text{C}$ . Les précipitations annuelles y sont de 190,8 mm par an, dont 76% est composée de neige. La région compte annuellement environ 415,9 degrés-jours de dégel et 5869,5 degrés-jours de gel (Environnement Canada, 2010). La végétation actuelle au site d'étude est dominée par des communautés végétales de toundra, telles que des petits arbustes (essentiellement *Salix arctica*), des cypéracées et des bryophytes (voir liste des principales espèces identifiées sur le site d'étude au tableau VIII). L'île est actuellement à environ 2000 km de la limite des arbres dans le nord du Québec (région de Boniface, Payette 1983).

Plus précisément, le site d'étude se trouve dans la partie sud-ouest de l'île Bylot, sur le sommet d'un plateau composé de shales non-consolidés de la Formation de Lancaster, à une altitude d'environ 525 mètres ( $73^{\circ}10'$  -  $73^{\circ}15'$  N,  $79^{\circ}30'$  -  $80^{\circ}$  W). Ce plateau est délimité au nord par la vallée *Quartikturvik* et au sud par la vallée *Qirngnitut*, associée aux glaciers C79 et C93. Les deux vallées en auge qui délimitent le plateau furent modelées par les glaciations du Quaternaire, comme l'indique la présence de dépôts morainiques encore bien visibles en aval.

Les coupes stratigraphiques qui seront analysées dans le cadre de ce travail sont toutes localisées en haut de versant, aux limites nord et sud du plateau. Les rebords du plateau ainsi que ses versants sont sujets à une érosion importante, surtout associée à la fonte des

neiges et de la glace contenue dans le pergélisol, ainsi qu'aux glissements de terrains subséquents. De plus, le site d'étude est régulièrement balayé par des vents de très grande vitesse (plus de 50 km/h).

**Tableau VIII** : PRINCIPALES ESPÈCES POUSSANT ACTUELLEMENT AU SITE D'ÉTUDE (EN ORDRE DÉCROISSANT D'IMPORTANCE)

<i>Salix arctica</i>
<i>Draba corimbosa</i>
<i>Alopecurus borealis</i>
<i>Saxifraga oppositifolia et nivalis</i>
<i>Cerastium alpinum</i>
<i>Juncus biglumis</i>
<i>Papaver sp.</i>
<i>Luzula nivalis et confusa</i>
<i>Stellaria sp.</i>
<i>Poa arctica</i>
<i>Oxyria digyna</i>
<i>Potentilla palustris</i>
<i>Draba lacta</i>
<i>Salix reticulata</i>

## **Opérations de terrain :**

### **Analyses stratigraphiques à grande échelle**

Afin de déterminer la physiographie et l'altitude de la roche en place et des unités stratigraphiques supérieures et d'ainsi mieux comprendre les conditions de l'instauration et de la disparition de la végétation fossile sur le site, l'ensemble du plateau a été parcouru et chacune des grandes unités stratigraphiques observée a été caractérisée à l'aide d'un DGPS de marque Trimble (modèle *Trimble GPS Pathfinder Pro XRS* muni d'une manette TSC1). Une correction différentielle fut appliquée sur les données recueillies à l'aide du logiciel *GPS Pathfinder Office* version 3.10. La résolution spatiale résultante est entre 1 et 2 mètres (position  $x + y + z$ ) dans 99% des cas, suite à une correction faite à partir de la base de Thule, au Groenland. L'élévation de chacune des unités stratigraphiques, leur épaisseur et leur nature lithologique et granulométrique fut décrite pour l'ensemble du plateau en juillet 2009 puis raffinées en juillet 2010 grâce au forage de zones jugées d'intérêt et à la prise de photos aérienne de haute précision à bord d'un hélicoptère (modèle Bell 206L) à des altitudes de 495, 520 et 535 mètres au-dessus du niveau de la mer (erreur estimée à environ 5 mètres par le pilote de l'appareil). L'information découlant de ces opérations de terrain a par la suite été intégrée dans une base de données associée à un système d'information géographique (ArcGIS, version 9.3).

### **Excavation et description de coupes**

Six coupes stratigraphiques principales d'environ cinq mètres de large et trois mètres de profondeur ont été excavées à la pelle dans le pergélisol durant les travaux de terrain des mois de juillet 2009 et 2010, puis géo-référencées à l'aide d'un DGPS. Le choix de l'emplacement des coupes était essentiellement fonction de l'accessibilité aux horizons

organiques (affleurements de ces derniers), de leur contenu en macro-restes végétaux et du temps disponible pour l'excavation.

Les coupes ont tout d'abord été creusées à la pelle afin d'atteindre le matériel non-perturbé par le cycle annuel de gel-dégel ('en place'). Puis, suite à un rafraîchissement des coupes à l'aide d'un couteau et d'un pinceau, ces dernières ont été décrites avec une précision centimétrique pour ce qui est des variations de leurs faciès organiques et sédimentaires. Une description de la nature et de la texture des sédiments, ainsi que l'épaisseur de chacune des strates observées a également été réalisée directement sur le terrain. Des photographies détaillées avec échelle ont également été prises afin de faciliter l'interprétation des coupes en laboratoire.

Le contact avec la roche en place n'a pu être atteint à la base de toutes les coupes à cause de la présence de pergélisol et du grand degré de compaction du matériel, et ce, malgré l'utilisation d'une foreuse à l'été 2010. D'autre part, la partie sommitale de la plupart des coupes stratigraphiques était affectée par différents processus périglaciaires (gel-dégel, cryoturbation, gélifluxion, fissuration thermique), lesquels ont engendré des mélanges entre les unités. Cette section des coupes a donc été décrite, mais non considérée dans les analyses stratigraphiques et polliniques subséquentes. L'orientation et le pendage des unités stratigraphiques ont également été mesurés à l'aide d'une boussole Brunton, lorsque cela était possible. Une base de données associée à un système d'informations géographiques fut par la suite utilisée pour traiter l'information recueillie.

## **Prise d'échantillons**

### Échantillons pour analyses polliniques

Les échantillons recueillis à des fins d'analyses palyno-stratigraphiques ont été recueillis directement à partir des coupes stratigraphiques rafraichies. Ces échantillons ont par la suite été insérés dans des sacs ziplocs doublés dûment identifiés en fonction de leur profondeur et de leur coupe stratigraphique respective.

La majorité des échantillons recueillis en 2009 et en 2010 correspondent à 5 centimètres d'épaisseur et ont un volume d'environ 100 cm<sup>3</sup>. Afin de raffiner la précision palyno-stratigraphique de certaines coupes et compte tenu de l'accessibilité à une foreuse (possibilité d'extraire du matériel encore gelé et donc encore cohésif), certains échantillons recueillis en 2010 correspondent quant à eux à une épaisseur de 2 cm.

### Paléomagnétisme

Le paléomagnétisme repose sur le fait que certains minéraux magnétiques (principalement des oxydes de fer-titanium et de la magnétite) présents à l'intérieur des sédiments s'alignent en fonction du champ magnétique terrestre au moment du dépôt ou de la sédimentation. Il est donc possible d'identifier des inversions de polarité à travers le temps (c'est-à-dire des moments où le pôle nord magnétique se situait dans l'hémisphère sud), lesquelles ont été datées de façon précise via une série de forages marins. La condition d'application principale est cependant de faire ces analyses sur des échantillons à granulométrie fine (argiles, limons ou sables fins) car les particules plus grossières s'orientent difficilement à cause de leur poids et de la faible intensité du champ magnétique terrestre. La matière organique, naturellement chargée, ne permet pas non plus d'obtenir des données paléomagnétiques fiables.

Sur le terrain, la technique utilisée consistait à prélever sur les coupes stratigraphiques excavées une série d'échantillons orientés et de granulométrie fine à l'aide de contenants en plastique cylindriques d'environ 5 cm de diamètre et 3 cm de hauteur. Le but premier de cette opération était de préciser l'âge des horizons organiques. L'orientation des échantillons par rapport au nord magnétique actuel fut mesurée à l'aide d'une boussole Brunton. Cette méthode est la même que celle utilisée lors des analyses faites sur le site par Piraux en 2005, ce qui permettra une comparaison entre les données.

Cette technique ne permet pas une datation absolue des unités stratigraphiques. Toutefois, compte tenu de la faible fréquence des inversions magnétiques, elle permet au moins de suggérer des intervalles d'âge possible pour le site, en corrélation avec les résultats des analyses polliniques et stratigraphiques.

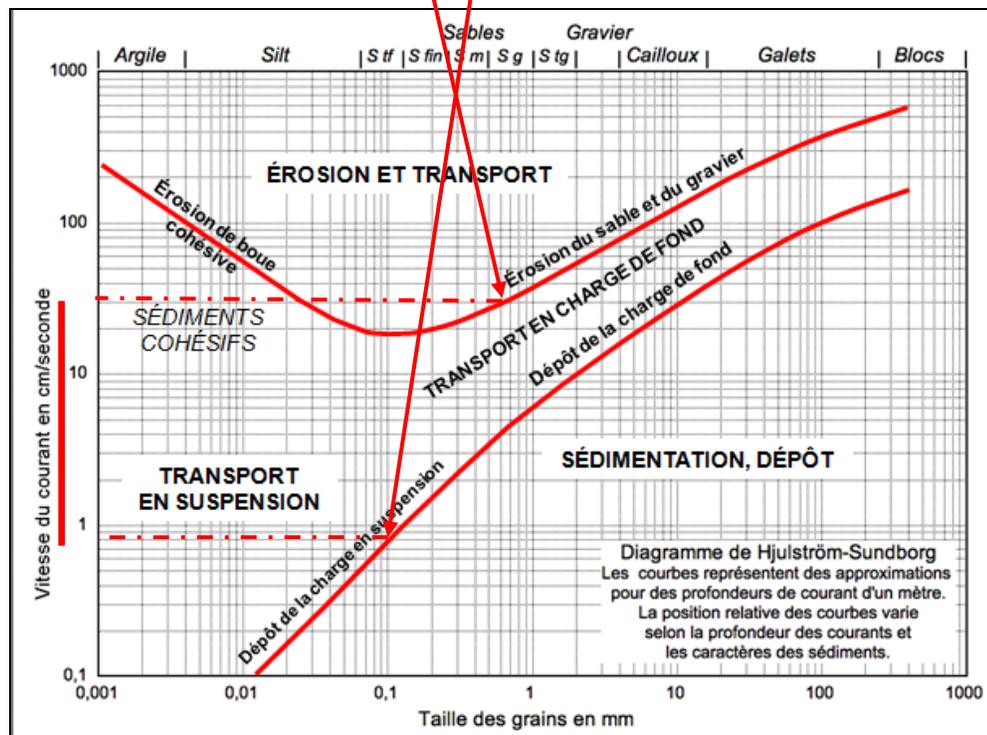
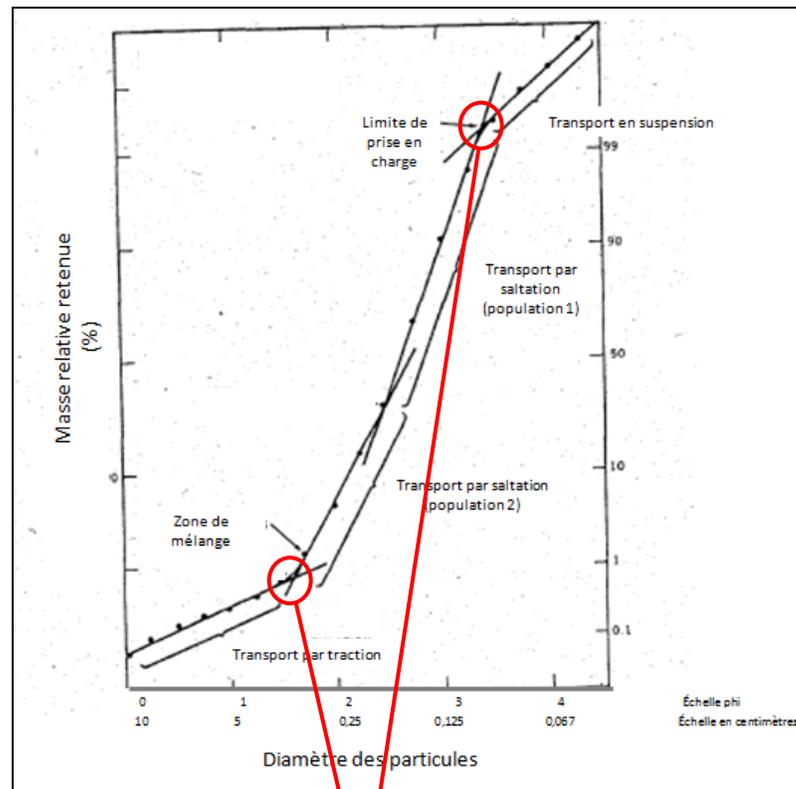
## **Opérations de laboratoire :**

### **Tamisage et hydrométrie**

Un tamisage manuel à 20000, 16000, 11200, 8000, 5660, 4000, 2830, 2000, 1700, 1400, 1180, 1000, 850, 710, 600, 500, 425, 355, 300, 250, 212, 180, 150, 125, 106, 90, 75 et 63 micromètres ( $\mu\text{m}$ ) des échantillons inorganiques a permis d'établir des courbes granulométriques pour chacun d'entre eux (ASTM D422-63, 2007). Un sous-échantillon de la fraction fine ( $< 250 \mu\text{m}$ ) des échantillons contenant plus de 5% de matériel plus fin que 63  $\mu\text{m}$  ont ensuite fait objet d'analyses hydrométriques en laboratoire, afin de préciser les caractéristiques de cette portion granulométrique. L'objectif principal de cette technique était d'établir des raccordements stratigraphiques entre les différentes coupes excavées sur le site en 2009 et 2010. Les diagrammes de distributions granulométriques ont été générés grâce au logiciel *Gradistat* (Blott et Pye, 2001 (version 7.0)). Le raccordement des points de mesures provenant des analyses de tamisage et

d'hydrométrie a par la suite été réalisé en retirant les valeurs absurdes obtenues par l'une ou l'autre des techniques et en conservant les valeurs moyennes entre ces deux analyses pour un diamètre donné si besoin était. Les unités ont par la suite été comparées entre elles en fonction de leur distribution granulométrique, de façon graphique et statistique selon la méthode Folk (1964) et de Friedman (1967).

À l'aide de ces diagrammes et des courbes de Hjulström, un courant a également pu être estimé pour chacune des unités stratigraphiques étudiées. En effet, Visher (1969) a pu déterminer à partir des courbes cumulatives de distribution granulométrique trois groupes de mouvements des particules, à savoir celles déplacées par traction, par saltation et en suspension (les limites de ces groupes correspondant aux points d'inflexion des dites courbes). Les valeurs limites de ces groupes peuvent ensuite être reportées sur les courbes de Hjulström afin d'en inférer le courant correspondant au transport de ces particules (voir figure 16). Ce courant estimé ne tient toutefois pas compte de la forme des particules et de la rugosité du lit, lesquels peuvent influencer les valeurs limites où le transport des particules commence à s'opérer. Par définition, cette méthode est également utilisable uniquement dans des situations où le transport par l'eau est prédominant.



**Figure 16 :** Courbes de Hjulström permettant d'estimer un courant en centimètres par seconde (axe des x) en fonction de la taille des particules déposées et correspondant au contenu granulométrique de l'image du haut. Dans l'exemple suivant, le courant résultant devrait varier entre 0,7 et 30 cm/s. La figure du haut est inspirée des résultats de l'étude de Visser (1969).

## **pH et conductivité électrique**

Le pH et la conductivité électrique de tous les échantillons recueillis et analysés pour leur contenu en grains de pollen ont été déterminés à l'aide d'un *Copenhagen pH Meter PHM82* et d'un *Copenhagen Conductivity Meter CDM83* selon les méthodes de Carter et Gregorich (2008). Ces techniques contiennent cependant leur lot d'erreurs, compte tenu du fait que les échantillons doivent être adéquatement homogénéisés. L'efficacité et la variabilité résultant de l'homogénéisation a donc par la suite été évaluée par la comparaison de trois sous-échantillons de 3 niveaux différents.

Les résultats des analyses de pH ont servi à supporter les changements de milieux de dépôts proposés suite aux analyses granulométriques et à mieux caractériser ces derniers. Ces résultats permettent également d'appuyer les corrélations proposées entre les coupes stratigraphiques étudiées. Les résultats de conductivité électriques ont de leur côté été utilisés afin de déceler la présence de matière organique dans les horizons inorganiques et ainsi d'étudier le possible mélange entre les unités stratigraphiques.

## **Pertes au feu**

Des analyses de pertes au feu à 100°C, 600°C et 1000°C selon la méthode de Dean 1974 modifiée ont également été réalisées sur des sous-échantillons de 1cm<sup>3</sup> dans le but de déceler la présence de matière organique dans les horizons inorganiques et d'étudier l'hypothèse d'un mélange entre les unités stratigraphiques étudiées. Ces analyses permettent aussi d'évaluer le pourcentage de carbonates dans les échantillons étudiés et ainsi de déceler la présence ou non de matière inorganique dans les horizons organiques, ce qui permet de supporter les hypothèses quant aux milieux de dépôts qui leur sont correspondants. De la même manière que pour les analyses précédentes, l'efficacité et la variabilité résultant de l'homogénéisation des échantillons a par la suite été évaluée par la comparaison entre trois sous-échantillons de 3 niveaux différents.

## Analyses stratigraphiques

Les positions géographiques décrites à l'aide du DGPS sur le terrain ont été insérées dans un système d'informations géographiques (ArcGIS, version 9.3). Ce traitement a permis une classification des données en fonction de leur position dans l'espace, de leur altitude et de leurs unités stratigraphiques correspondantes. Ce traitement a comme objectif de délimiter un nombre défini d'unités stratigraphiques, vital pour la compréhension de la succession des milieux de dépôt présente au site d'étude.

La reconstitution de la physiographie de chacune des unités stratigraphiques a été réalisée à l'aide de la fonction *Inverse distance weighted* (en français *Inverse Pondéré de la Distance*, noté *IDW* dans ce travail) (ArcGIS v.9.3). Cette fonction permet une interpolation des altitudes correspondant à chacun des points DGPS recueillis sur le terrain tout en pondérant l'extrapolation en fonction de la distance entre chacun des points. En effet, comme la distance entre chacun des points est très variable, une extrapolation directe n'aurait sans doute pas été représentative de la réalité terrain. La physiographie de la roche en place a également été déterminée à l'aide de profils topographiques et longitudinaux. Les autres unités seront également décrites à l'aide de données sur le pendage et l'orientation des couches, recueillies à l'aide d'une boussole *Brunton*.

L'opération *Différence (Minus)* a également été utilisée dans le but de soustraire les altitudes résultant des interpolations *IDW* pour une unité donnée avec celles obtenues suite à l'interpolation d'une autre unité. Appliquée à deux unités apparemment successives stratigraphiquement, cette option permet de visualiser la présence ou non d'inversion sédimentaire et d'en déduire un historique de dépôt et/ou un éventuel brassage entre les unités stratigraphiques à l'étude. En d'autres termes, cette technique permet de vérifier si une unité stratigraphique se retrouve toujours ou non par-dessus une autre et, dans le cas inverse, où on peut observer ces inversions sédimentaires.

La représentation schématique de la stratigraphie du site a quant à elle été réalisée à l'aide du logiciel *LogPlot* (extension du logiciel *Rockware*, version 7). Le raccordement stratigraphiques des coupes fut également réalisé à l'aide de corrélations palynostratigraphiques, granulométriques et paléomagnétiques découlant des analyses expliquées dans cette section du mémoire.

## **Analyses paléo-magnétiques**

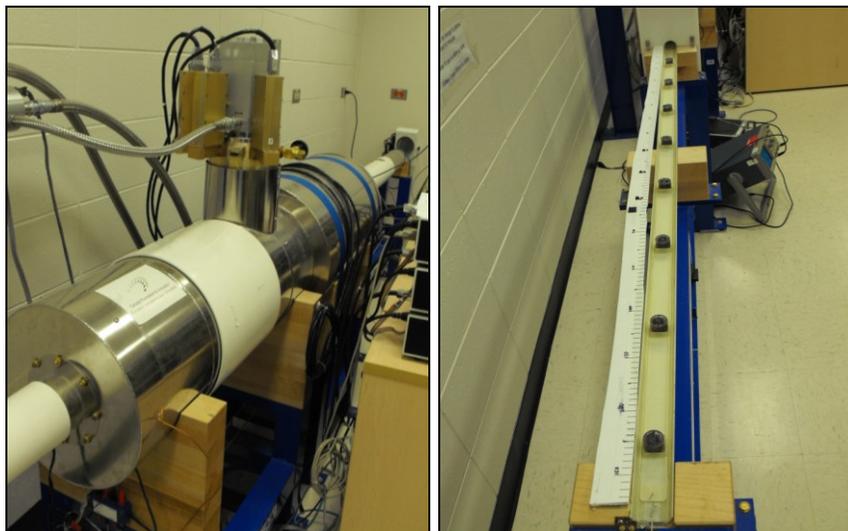
L'analyse paléo-magnétique des échantillons recueillis sur le terrain a été réalisée au Laboratoire de paléomagnétisme sédimentaire de l'ISMER (Université du Québec à Rimouski) avec la collaboration de Guillaume St-Onge (professeur du département de géographie de l'Université du Québec à Rimouski) et Jacques Labrie (technicien de laboratoire). Dans le cadre de ce projet, ces analyses ont permis d'identifier d'éventuelles inversions magnétiques, lesquelles ont été datées précisément suite à une série de forages marins.

Pour ce faire, les échantillons ont été analysés grâce à un magnétomètre de type cryogénique (figure 17) ce qui a permis d'établir pour chacun d'entre eux des valeurs pour chacune des variables suivantes :

- 1) Orientation moyenne des grains magnétiques;
- 2) NRM (*Natural Remnant Magnetization*) : Intensité *naturelle* du champ magnétique fossile et démagnétisation des échantillons analysés suite à une exposition à un courant alternatif de plus en plus puissant;
- 3) ARM (*Anhysteretic Remnant Magnetization*): susceptibilité des particules magnétiques à changer d'orientation suite à une exposition simultanée à un champ alternatif fort et à un champ continu faible (simulant le champ magnétique terrestre);
- 4) IRM et SIRM (*Isothermal et Saturation Isothermal Remnant Magnetization*): Enregistrement magnétique suite à une exposition à un champ magnétique continu important (300 mT pour IRM, 950 mT pour SIRM). Le ratio entre ces

deux valeurs permet de distinguer la magnétite par rapport aux autres métaux magnétisés (la valeur de ce dernier est autour de 1);

- 5) MAD (*Maximum angular variation*) : variation angulaire maximale de l'orientation des grains magnétiques durant la démagnétisation du matériel lors de l'analyse NRM;
- 6) MDF : (*Median destructive field*) : Champ alternatif nécessaire durant la démagnétisation afin de réduire l'intensité magnétique rémanente de moitié durant l'analyse NRM. Cet indice donne un indice sur la granulométrie et sur la lithologie des grains magnétiques en présence. Par exemple, la valeur normale pour la magnétite se situe entre 20 et 30;
- 7) Ratio NRM/ARM : ratio représentant la stabilité magnétique des échantillons. Une hausse significative de ce ratio est généralement interprétée comme correspondant à une excursion (inversion temporaire des pôles magnétiques sur environ 1000 ans) ou à une inversion magnétique (inversion à long terme des pôles magnétiques sur au moins 6000 ans);
- 8) Ratio NRM/IRM : ratio représentant la facilité des particules magnétiques contenues dans un échantillon à se démagnétiser en présence d'un courant continu de forte intensité (300mT). Ce ratio représente donc l'intensité magnétique *naturelle* de l'échantillon par rapport à l'intensité de l'échantillon ayant subi l'étape de la démagnétisation IRM, ratio qui ne devrait pas normalement dépasser 0,05.

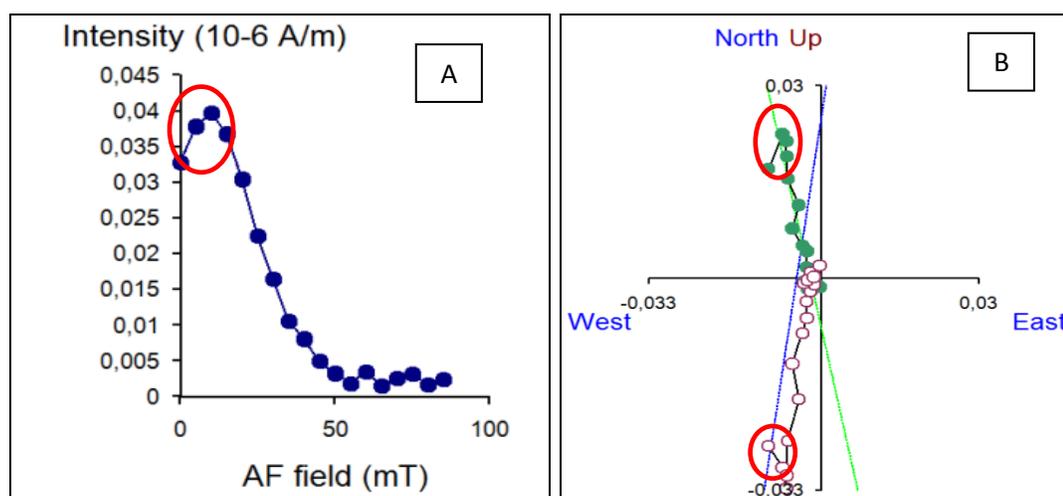


**Figure 17** : Magnétomètre cryogénique, Laboratoire de paléomagnétisme sédimentaire, ISMER, Université du Québec à Rimouski

Seuls les échantillons avec des valeurs d'inclinaison  $> \pm 10^\circ$ , un MAD  $< 15$  et un ratio IRM/SIRM près de la valeur 1 ont été retenus, ce qui correspond aux standards utilisés dans le domaine et qui permet l'exclusion des échantillons susceptibles de mettre en lumière des conclusions erronées (Butler, 1992; Opdyke et Channell, 1996; Stoner et St-Onge, 2007). Les lectures de paléomagnétisme peuvent en effet avoir été affectées par le champ magnétique actuel ainsi que par la percolation de l'eau suite au dépôt, ce qui impose un certain bémol aux valeurs limites d'inclinaison observées.

Les courbes de démagnétisation obtenues suite à l'analyse NRM ont également été traitées afin d'exclure la magnétisation rémanente visqueuse (MRV), laquelle est due au transport et à l'entreposage des échantillons en présence de matériel magnétisé et qui se traduit par une augmentation initiale anthropique de l'intensité magnétique de l'échantillon (voir figure 18a, encerclé rouge). Toute autre augmentation de l'intensité magnétique durant la démagnétisation est également à exclure, pour ne conserver que la section *démagnétisation*. Cette section de la courbe doit contenir au moins 4 points pour être valide et doit correspondre idéalement à une diminution d'environ 80% de l'intensité magnétique de l'échantillon par rapport à sa magnétisation initiale post-NRM.

Finalement, une attention particulière doit être portée aux courbes illustrées à la figure 18b. Ces courbes représentent le réalignement des particules magnétiques en direction du courant alternatif induit durant l'analyse NRM (correspond au centre du graphique), lequel est perpendiculaire à l'échantillon. Toute déviation importante de ces courbes correspond donc à des points de la courbe de démagnétisation à exclure car il représente un réalignement anormal des grains. Si ces courbes ne tendent pas vers le centre, cela signifie ultimement que les particules magnétiques de l'échantillon étudié sont facilement ré-orientables et donc que l'inclinaison actuelle de ces particules ne correspond pas à la direction du champ magnétique terrestre au moment du dépôt du sédiment.



**Figure 18** : Exemple de courbes de démagnétisation d'un échantillon donné. Les sections encadrées en rouge sont à exclure de l'analyse, conformément aux conditions établies dans le texte ci-dessus.

Les résultats des analyses paléomagnétiques ont été traités à l'aide du Logiciel *Mazaud* (version 4.2), lequel a permis de gérer les courbes de démagnétisation ainsi que les ratios mentionnés ci-dessus. Les résultats d'orientation magnétique des échantillons ayant enregistré un signal jugé fiable ont par la suite été intégrés aux représentations schématiques des coupes stratigraphiques correspondantes.

## Traitement pollinique

Les échantillons recueillis ont fait l'objet d'un traitement visant à concentrer les microfossiles préalablement à leur observation au microscope. Le traitement pollinique correspond à celui proposé par Faegri et Iversen en 1989, modifié par le laboratoire de Paléoécologie et de Palynologie de l'Université de Montréal. Cette technique fut appliquée sur des sous-échantillons de 1 à 5 cm<sup>3</sup>, en fonction du contenu estimé en matière organique des échantillons. L'homogénéisation des échantillons a été faite par brassage manuel des sacs remplis sur le terrain.

Le traitement pollinique est composé de différentes étapes permettant d'éliminer la majorité des éléments organiques et minéraux, à l'exception des grains de pollen. Chacune des étapes du traitement pollinique joue un rôle qui lui est propre. Ainsi :

- 1) L'addition d'une quantité connue de grains de pollen d'*Eucalyptus globulus* (concentration = 198467 grains/ml) permet d'estimer le nombre total de grains de pollen étudiés par unité de volume, car au moment de l'identification, seul un sous-échantillon sera analysé;
- 2) Le KOH permet de défloculer le matériel organique à analyser;
- 3) Le tamisage (à 300 µm dans tous les cas et à 10 µm pour les échantillons très argileux) permet d'éliminer les particules inorganiques de tailles ne correspondant pas à des grains de pollen;
- 4) Le HF permet de dissoudre les silicates contenus dans les échantillons traités;
- 5) Le HCl permet d'éliminer les carbonates ainsi que les fluorosilicates formés durant la réaction avec le HF ;
- 6) L'acide acétique permet d'éliminer l'eau afin qu'il n'y ait pas de réaction exothermique dangereuse au cours de l'étape 7;
- 7) L'acétolyse (9mL de (CH<sub>3</sub>CO)<sub>2</sub>O (97%) + 1mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (98,08%)) permettent de digérer le matériel cellulaire résiduel;
- 8) Et l'eau glycinée, finalement, sert au rinçage des échantillons précédent l'étape de l'analyse pollinique.

Le poids des sables a également été mesuré pour chaque échantillon en  $\text{g/cm}^3$  (résidu d'une filtration à 300 microns). Dans le cas d'échantillons très minéraux, une filtration à  $10 \mu\text{m}$  a également été réalisée afin d'éliminer les particules argileuses tout en conservant les microfossiles de tailles correspondantes à des grains de pollen.

### **Analyse pollinique**

Ces analyses ont été réalisées à l'aide d'un microscope de type *Dialux* de Leitz, avec un grossissement variant entre 400 et 1000x. Le dénombrement de sporomorphes a été fait sur les feuilles de pointage présentées à l'annexe II. L'identification pollinique a été réalisée en grande partie grâce à l'*Atlas pollinique des arbres et de quelques arbustes indigènes du Québec* (Richard 1970) et de *Key to the Quaternary Pollen and Spores of the Great Lakes Region* (McAndrews *et al.* 1973). Les critères d'identification utilisés ont été la structure et la sculpture de l'exine des grains observés, leur diamètre, leur forme et leur nombre de pores ou de sillons. Dans le cas des grains de *Betula*, il n'est pas possible de différencier chacune de ses espèces, mais le diamètre de ces derniers permet de discerner de façon relativement fiable les différentes espèces rencontrées, notamment leur stratification arbustive ou arborescente.

Le dénombrement des grains de pollen d'*Eucalyptus globulus* (espèce exotique et facilement reconnaissable ajoutée aux échantillons au début du traitement) a également été réalisé afin de déterminer la concentration pollinique (nombre de grains par  $\text{cm}^3$ ) par comparaison avec la quantité de grains autochtones dénombrée. Une somme pollinique d'au moins 300 grains pour les horizons organiques et 100 grains pour les horizons inorganiques a été visée pour chaque échantillon. Cette somme inclut les grains de toutes les plantes vasculaires, excluant les vasculaires aquatiques et les spores de ptéridophytes ou de mousses (Bryophytes). Il faut cependant noter que les grains dénombrés ont pu être confondus avec ceux d'espèces disparues morphologiquement semblables. C'est le cas notamment des genres *Pinus* et *Larix*, tel que mentionné précédemment et détaillé au tableau VII (Lepage et Basinger 1991; McKown *et al.* 2002; Zanni et Ravazzi 2007).

## **Interprétation des données polliniques en termes de végétation**

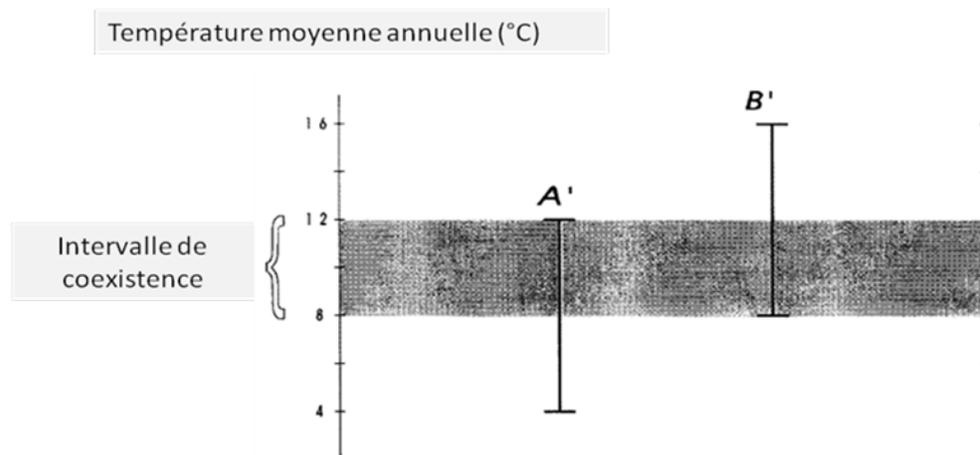
Une fois les milieux de dépôts des coupes stratigraphiques bien définis, il est possible de proposer une origine locale ou régionale des grains de pollen identifiés, ainsi que d'estimer la possibilité que ces grains proviennent ou non d'un mélange avec les autres unités stratigraphiques adjacentes. La présence ou non de chacun des taxons pour chaque spectre pollinique a également été déduite par leurs pourcentages respectifs, considérant la sur- ou la sous-représentation de certaines espèces (voir tableau VI). Cette analyse a également été réalisée à l'aide des données de l'*Atlas of Mapped Distributions of Dominance and Modern Percentages for Important Tree Taxa of Eastern North America* (Delcourt *et al.* 1984), lequel présente les ratios actuels entre le pourcentage d'un taxon donné sous forme pollinique et le pourcentage de ce même taxon au sein de la végétation et ce, pour l'essentiel de la superficie de l'Amérique du Nord.

Certaines espèces clés permettront également de confirmer la nature des milieux de dépôt. C'est par exemple le cas du *Sphagnum*, caractéristique des milieux humides et acides. Le *Pinus strobus*, quant à lui, a tendance à croître dans des zones où les feux sont relativement fréquents. Au contraire, des taxons comme le *Nuphar* ou le *Potamogeton* sont des bons indicateurs de milieux aquatiques (lacs peu profonds, étangs) sur place.

La concentration pollinique, nonobstant ses limites présentées précédemment, permet également d'estimer l'importance du couvert végétal en se basant sur des échantillons actuels correspondant à des milieux de dépôts similaires. Les spectres polliniques obtenus ont par la suite été analysés en fonction de leur unité stratigraphique correspondante, définie préalablement grâce aux analyses granulométriques, puis ont été comparés aux spectres polliniques modernes analysés par Gajewski (1991, nord du Québec) et MacDonald (1986, ouest canadien).

## **Interprétation des données polliniques en termes de climat**

Une fois la végétation locale et régionale définie, il est possible d'en induire des conditions climatiques approximatives. Les températures moyennes annuelles, du mois le plus chaud (juillet) et du mois le plus froid (janvier), ainsi que les précipitations moyennes annuelles, du mois le plus chaud (juillet) et du mois le plus froid (janvier) peuvent ainsi être estimées pour la majorité des taxons à l'aide des données de Ritchie (1987), de la base de données de Thompson et al. (1990) et du *Modern Pollen Database for North America and Greenland* de Whitmore et al. (2005), de l'*Atlas of Pollen-Vegetation-Climate Relationships for United States and Canada* (Williams et al. 2006) et des données de la *Plant Hardiness Database* ([www.planthardiness.gc.ca](http://www.planthardiness.gc.ca), Environnement Canada, 2011). Certains taxons, regroupant plusieurs espèces aux tolérances différentes (les cypéracées, par exemple) ou non-indicateurs de conditions climatiques précises, ont été exclus de ce processus selon les recommandations des études de Gonzales et al. (2009a et 2009b). Une fois les conditions de croissance définies pour toutes les espèces jugées présentes au site d'étude, il est possible d'en inférer des conditions climatiques par l'intersection entre les conditions de croissance de tous les taxons en présence, tel que proposé par Mosbrugger et Utescher en 1997 (voir figure 19). Cette méthode est cependant limitée par la détermination de la source, locale ou régionale, des apports polliniques. Elle suppose également que les conditions de croissance des plantes actuelles correspondent aux conditions de croissance de ces espèces dans le passé. La tolérance aux variations climatiques de toutes les espèces utilisées dans le cadre de cette étude est incluse à l'annexe III.



**Figure 19** : Illustration du principe de l'approche de coexistence. L'exemple ci-dessus montre que les espèces A' et B' ont un intervalle de coexistence entre 8°C et 12°C (Mosbrugger et Utescher 1997).

Tout comme il est possible de comparer les spectres polliniques obtenus avec des spectres modernes associés avec des biomes végétaux connus et d'ainsi en déduire des conditions climatiques approximatives, il est aussi possible d'analyser et de relier les conditions climatiques obtenues suite aux analyses de coexistence à des sites modernes particuliers. Les facteurs suivants, autres qu'une correspondance climatique en termes de températures et de précipitations, ont toutefois été considérés. Ainsi, 1) l'endroit retenu doit être situé en milieu insulaire, de préférence dans l'est de l'Amérique du Nord (configuration similaire à l'échelle continentale) et 2) l'ensoleillement doit de préférence être similaire à celui de l'île Bylot, actuellement localisée au 73<sup>ème</sup> parallèle nord. Ainsi, seules les zones au nord du 50°N ont été considérées.

## **Résultats**

Dans cette section, la description des unités stratigraphiques présentes sur le site d'étude sera réalisée à l'échelle du plateau mais également à l'échelle centimétrique au sein de six coupes excavées dans le pergélisol. Les principales caractéristiques de ces unités seront tout d'abord décrites visuellement à ces deux échelles. Cette description sera ensuite complétée par des analyses granulométriques, spatiales, paléomagnétiques et polliniques afin de pouvoir répondre aux objectifs de ce travail, lesquels sont de préciser les environnements et la végétation associés aux dépôts organiques fossilifères présents sur le site.

### **Description des unités stratigraphiques**

L'inventaire des unités stratigraphiques inclut la portion du plateau où l'on retrouve des unités organiques fossiles (enfouies). À l'intérieur de cet espace, 299 relevés au DGPS ont été réalisés afin de caractériser avec une grande précision la stratigraphie du site d'étude. Onze unités stratigraphiques ont préalablement pu être discriminées visuellement selon leur ressemblance sur le terrain (couleur, texture et granulométrie apparente). Le détail de ces unités est défini dans les pages suivantes et illustré aux figures 20 à 29 en ordre de succession stratigraphique apparente sur le terrain. Une figure synthèse illustrant l'hypothèse de départ quant à la succession des unités stratigraphiques est présentée à la figure 31.

#### **Unité 1 (112 positions DGPS, figure 20) :**

Il s'agit de la roche en place, définie par Klassen (1993) comme un shale stratifié tertiaire de la formation de Lancaster. Cette roche, très friable, est facilement décomposable (*i.e.* à main nue). On la retrouve à la grandeur du plateau servant de site d'étude ainsi que sur la plupart des bas-plateaux du sud de l'île Bylot. Une surface d'érosion sépare cette unité de l'unité 2.



**Figure 20** : Représentation de l'unité 1 telle qu'observée sur le terrain. On remarque bien les stratifications à même la roche en place ainsi que le peu de matériel recouvrant cette dernière.

#### Unité 2 (12 positions DGPS, figure 21)

Cette unité correspond à un diamicton à matrice d'apparence limoneuse à graveleuse, contenant des blocs essentiellement cristallins sub-arrondis, parfois imbriqués et striés, et pouvant mesurer jusqu'à 50 cm de grand axe. On retrouve cette unité à la base de la plupart des séquences stratigraphiques observées sur le terrain. Cette unité a une épaisseur maximale inconnue. Aucune orientation préférencielle des blocs n'a également pu être observée.



**Figure 21** : Représentations de l'unité 2 telle qu'échantillonnée sur le terrain. On remarque de grandes variations dans la granulométrie de la matrice présente ainsi que la présence de blocs cristallins pouvant atteindre plus de 15 cm de côté.

### Unité 3 (17 positions DGPS, figure 22)

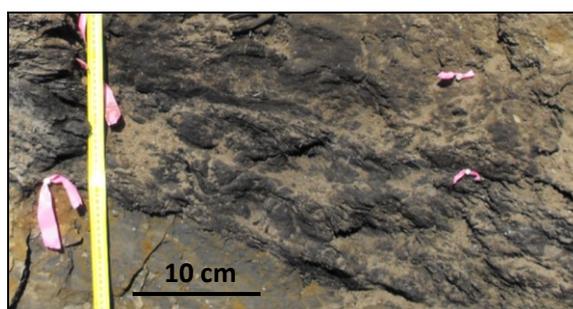
L'unité 3 correspond à un sédiment limoneux à limono-sableux, gris et compact, contenant quelques rares graviers sub-arrondis à anguleux pouvant atteindre 15 cm de grand axe. On y observe une stratification diffuse à très apparente, ainsi que la présence de matière organique diffuse et de quelques pièces de bois pouvant atteindre 30 cm de long. Cette unité a une épaisseur maximale inconnue, mais supérieure à 100 cm. On y retrouve parfois des pièces de bois bien conservées pouvant atteindre 50 cm de longueur.



**Figure 22** : Représentation de l'unité 3 telle qu'échantillonnée sur le terrain. On observe des différences en termes de granulométrie (matériel tantôt sablo-limoneux, tantôt limoneux) ainsi qu'en termes de stratification du matériel. On remarque également la présence de petits graviers.

### Unité 4 (18 positions DGPS, figure 23)

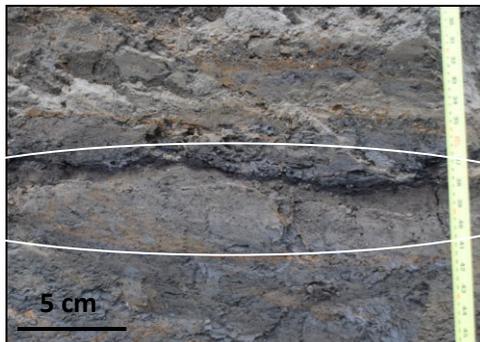
Cette unité correspond à un horizon organique d'épaisseur variable (jusqu'à 20 cm) très bien conservé, cohésif, filamenteux et compact, contenant en majorité des fragments organiques s'apparentant à des cypéracées (cf. *Carex* spp.). Cette unité contient également des pièces de bois abondantes, très bien conservées et parfois brûlées.



**Figure 23** : Représentation de l'unité 4 telle qu'échantillonnée sur le terrain. On y remarque la présence d'un matériel organique bien compressé, contenant des fragments organiques s'apparentant à des cypéracées. Sur l'image, cette unité est située entre les unités 7 (en haut) et 3 (en bas).

### Unité 5 (16 positions DGPS, figure 24)

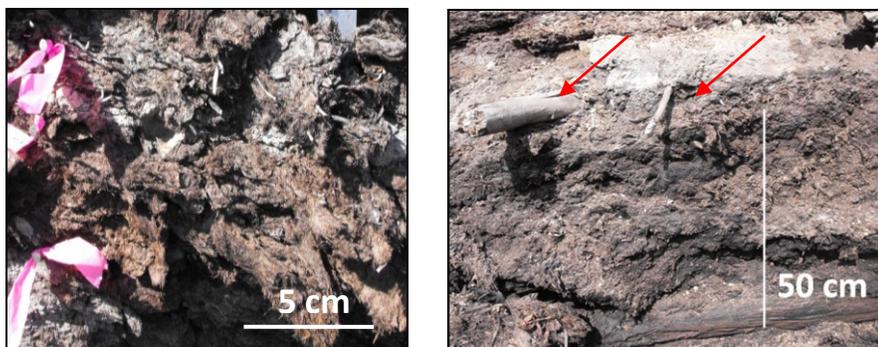
Cette unité correspond à un horizon organique noirâtre très décomposé, contenant dans la majorité des cas de rares petits fragments ligneux. Cette unité n'excède jamais 5 centimètres d'épaisseur et est contenue à l'intérieur d'une unité sableuse stratifiée de manière oblique.



**Figure 24** : Représentation de l'unité 5 telle qu'échantillonnée sur le terrain. On remarque que cette unité est très fine et encastrée entre deux unités sableuses à sablo-limoneuses stratifiées.

### Unité 6 (8 positions DGPS, figure 25)

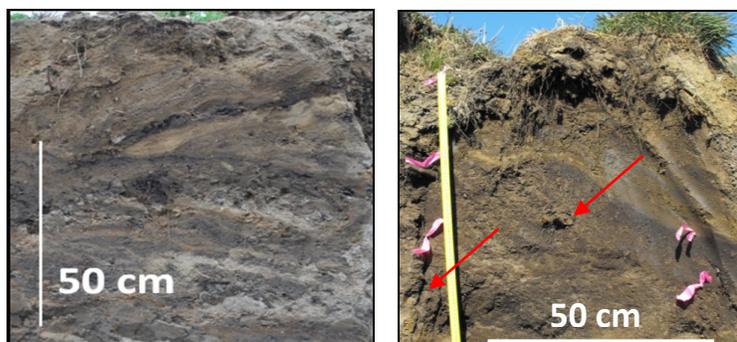
Cette unité correspond à une unité organique très bien conservée, contenant en majorité des fragments de mousses apparentées aux mousses brunes actuelles (*Drepanocladus* spp.). On y observe la présence de rares graviers et de fragments de troncs, ainsi qu'une très bonne cohésion du matériel organique. L'épaisseur de cette unité est très variable et peut atteindre plus de 60 centimètres.



**Figure 25** : Représentations de l'unité 6 telle qu'échantillonnée sur le terrain. On y observe la présence d'un matériel organique exceptionnellement bien conservé, dominé par les mousses brunes où l'on peut retrouver des pièces de bois pouvant atteindre plus de 30 cm de long (flèches rouges).

### Unité 7 (21 positions DGPS, figure 26)

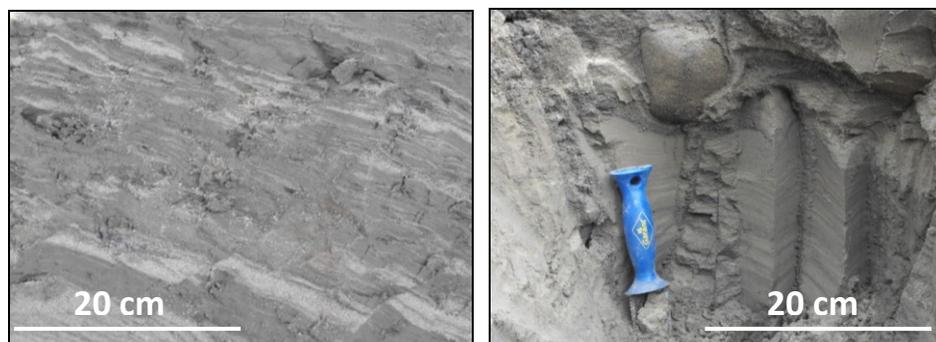
Cette unité est composée d'une matrice sableuse à limono-sableuse, faiblement stratifiée et contenant quelques graviers ainsi que des fragments ligneux très bien préservés. Les troncs observés sont parfois émoussés, orientés et disposés à des profondeurs préférentielles. Cette unité est d'une épaisseur variable pouvant atteindre plus de 100 cm.



**Figure 26** : Représentations de l'unité 7 telle qu'échantillonnée sur le terrain. On remarque une certaine variabilité quant à la granulométrie du matériel ainsi que la présence de troncs incorporés au matériel (flèches rouges).

### Unité 8 (47 positions DGPS) et 9 (43 positions DGPS) (figure 27)

Ces unités correspondent à un sédiment stratifié (environ 5 cm par stratification), bien trié et formé majoritairement de graviers (unité 8) ou de sables moyens et fins (unité 9). Aucune matière organique n'a pu être observée dans ces unités. Ces dernières sont observables essentiellement dans la partie est du site d'étude (voir figure 30). L'épaisseur de ces unités peut atteindre dans les deux cas jusqu'à 250 cm.



**Figure 27** : Unité 8 (image de gauche) et unité 9 (image de droite) telles qu'échantillonnées sur le terrain. On y observe une alternance régulière de strates pâles et foncées ainsi que la présence de failles normales, dans le cas de l'image de gauche.

Unité 10 (5 positions DGPS, figure 28)

Cette unité est composée d'un sédiment marbré à granulométrie fine (sables fins et limons) contenant de très rares particules sableuses. Aucune matière organique n'a pu être observée au sein de cette unité. Elle est observable uniquement dans la partie est du site d'étude, tel qu'illustré à la figure 30, et a une épaisseur d'environ 50 cm.



**Figure 28** : Représentation de l'unité 10 telle qu'échantillonnée sur le terrain. On y observe de nombreuses marbrures plus foncées au sein du matériel ainsi que l'absence d'orientation préférencielle de ces marbrures.

Unité 11 (présente sur toute la surface du plateau, figure 29)

Cette unité est composée d'un diamicton à matrice sableuse à graveleuse, contenant majoritairement des blocs cristallins sub-arrondis pouvant mesurer jusqu'à 40 cm de grand axe. Cette unité est parfois remaniée par les phénomènes annuels de gels-dégel. Pour cette raison, cette unité ne sera pas considérée pour les reconstitutions paléo-écologiques. Cette unité a une épaisseur maximale inconnue, mais supérieure à 50 cm.



**Figure 29** : Représentation de l'unité 11 telle qu'échantillonnée sur le terrain. On y observe des similitudes avec l'unité 2 en termes de granulométrie et d'arrondissement des blocs. La matrice, essentiellement sableuse, diffère cependant de cette dernière unité.

La position spatiale de ces unités, prélevée au DGPS, correspond aux points illustrés à la figure 30. On remarque que les unités 8, 9 et 10 se retrouvent majoritairement dans la partie est du site à l'étude, contrairement aux affleurements de l'unité 2, retrouvés dans la partie ouest. Il est à noter que cette figure contient un certain nombre de points superposés les uns les autres, car appartenant à une même position spatiale).

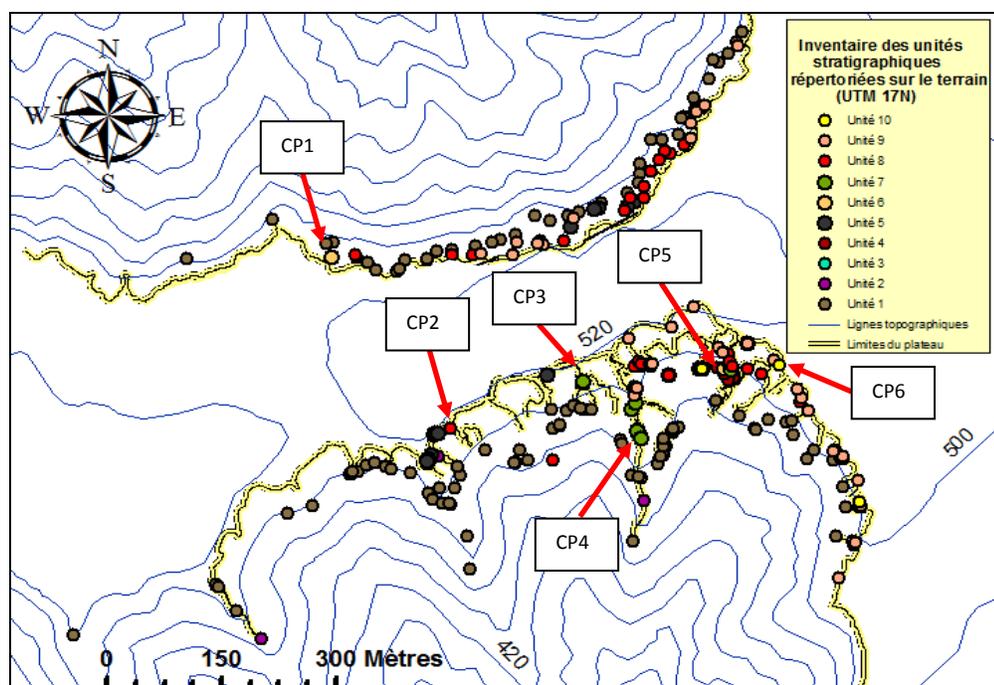


Figure 30 : Représentation spatiale des points DGPS recueillis sur le terrain. Les flèches rouges indiquent la position des coupes stratigraphiques étudiées dans la section suivante.

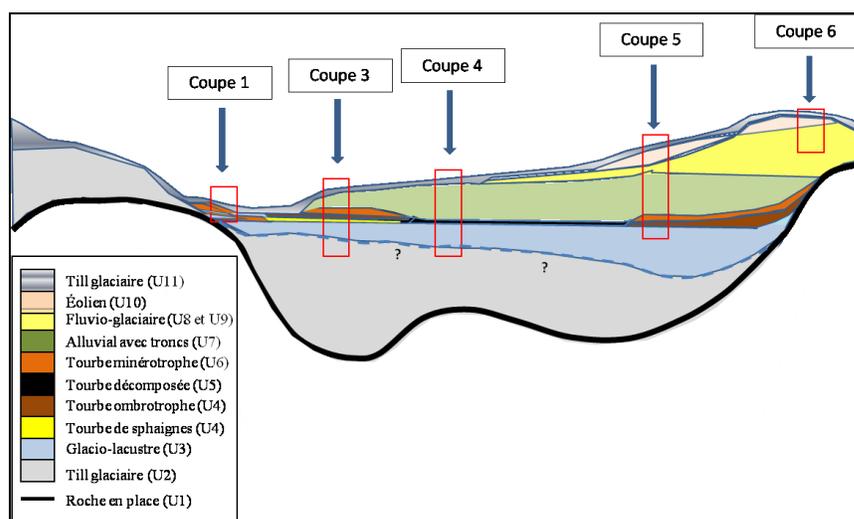


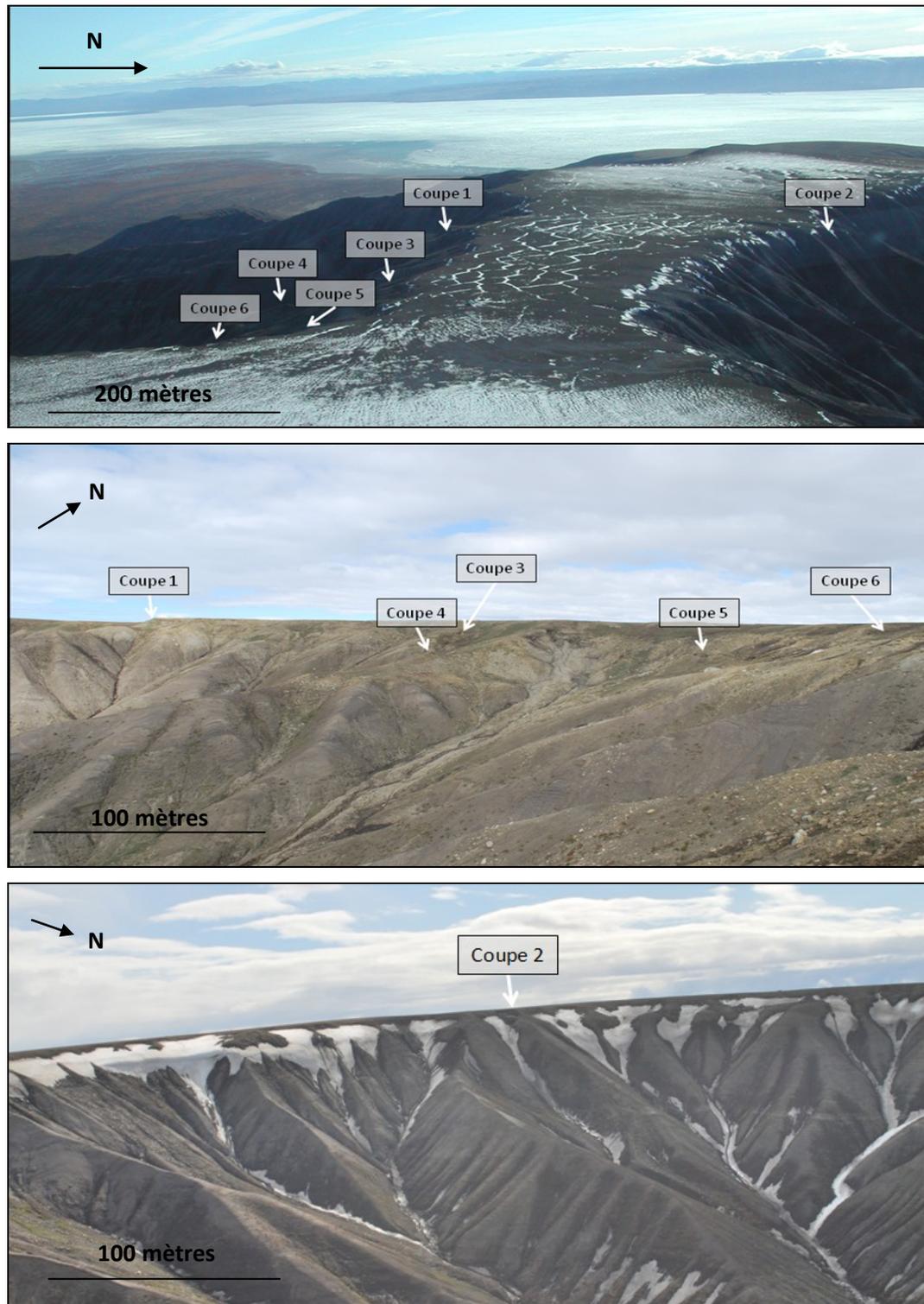
Figure 31 : Synthèse illustrant l'hypothèse initiale quant à la succession des unités stratigraphiques sur l'ensemble du site d'étude. Ce schéma n'est pas à l'échelle.

### Stratigraphie à échelle locale :

En six endroits, des coupes stratigraphiques ont été excavées lors des campagnes de terrain afin de mieux comprendre le détail de la stratigraphie associée à la forêt fossile. Leurs localisations sont incluses à la figure 33. Ces dernières sont toutes situées en bordure du plateau délimitant le site d'étude à une altitude variant entre 505 et 520 mètres au-dessus du niveau de la mer. La numérotation des coupes correspond à un transect ouest-est d'environ 600 mètres. Le contact avec la roche en place (unité 1) n'a cependant pas pu être atteint à la base d'aucune coupe, conséquence de la présence d'un pergélisol limitant l'excavation à quelques centimètres par jour. Fait intéressant à noter, certaines espèces végétales modernes se retrouvaient quasi-exclusivement au-dessus des affleurements organiques associés aux coupes stratigraphiques. Il s'agit d'*Alopecurus* cf. *borealis*, de *Saxifraga oppositifolia*, de *Stellaria* sp. et de *Papaver* sp. (voir figure 32).

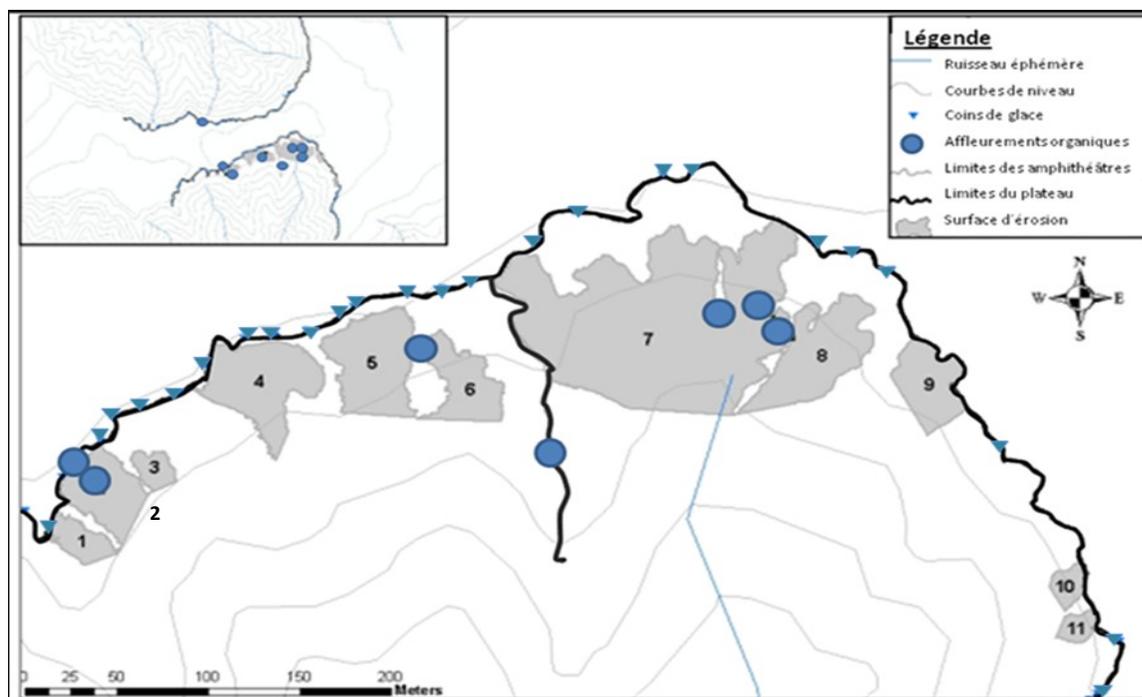


**Figure 32** : Principales espèces retrouvées près des coupes stratigraphiques. Dans l'ordre usuel 1) *Alopecurus* cf. *borealis* 2) *Saxifraga oppositifolia* 3) *Stellaria* sp. et 4) *Papaver* sp.



**Figure 33** : Position des coupes stratigraphiques étudiées dans ce travail. Vue sommitale (image de haut), de la face sud du plateau (image du centre) et de la face nord du plateau (image du bas).

Une cartographie des amphithéâtres d'érosion affectant les pourtours du site d'étude a permis de constater deux faits importants : premièrement, cette érosion est très active et le recul des marges du plateau, à certains endroits, a été évaluée visuellement à plus de 10 mètres entre les activités de terrain 2009 et 2010. Il est également à noter que l'érosion affectant le site d'étude est le principal facteur qui a permis de dégager les unités organiques fossiles. La coupe 4 est la seule qui n'est pas à l'intérieur d'un amphithéâtre, mais plutôt sur un mince éperon partageant les côtés est et ouest du site d'étude (voir figure 34).



Amphithéâtre	Aire (m <sup>2</sup> )	Amphithéâtre	Aire (m <sup>2</sup> )	Amphithéâtre	Aire (m <sup>2</sup> )
1	633,75	5	2507,92	9	1454,18
2	1626,92	6	1466,39	10	358,77
3	407,00	7	12523,49	11	304,93
4	2626,20	8	2595,59	<b>Total (m<sup>2</sup>):</b>	<b>26505,13</b>

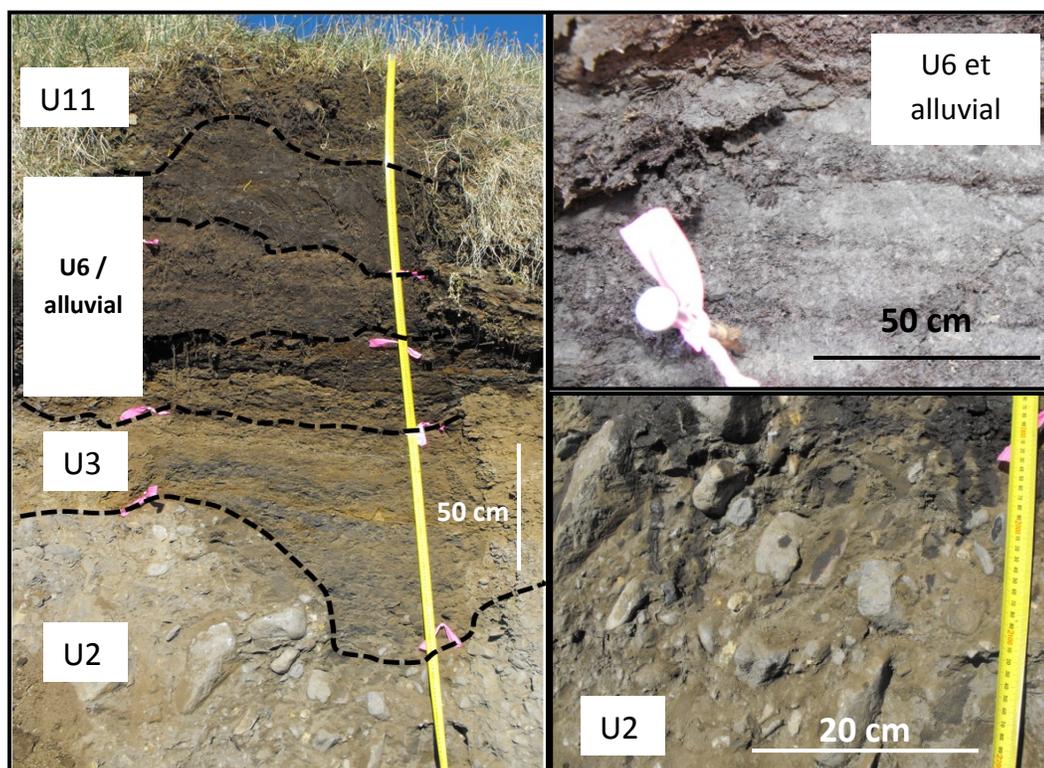
**Figure 34** : Position des amphithéâtres d'érosion affectant la face sur du plateau et aires correspondantes, ainsi que position des affleurements organiques observés sur le terrain. À noter que l'affleurement associé à la coupe 2, sur la face nord du plateau, est également situé dans un amphithéâtre d'érosion de grandeur similaire à l'amphithéâtre 4.

## Coupe 1

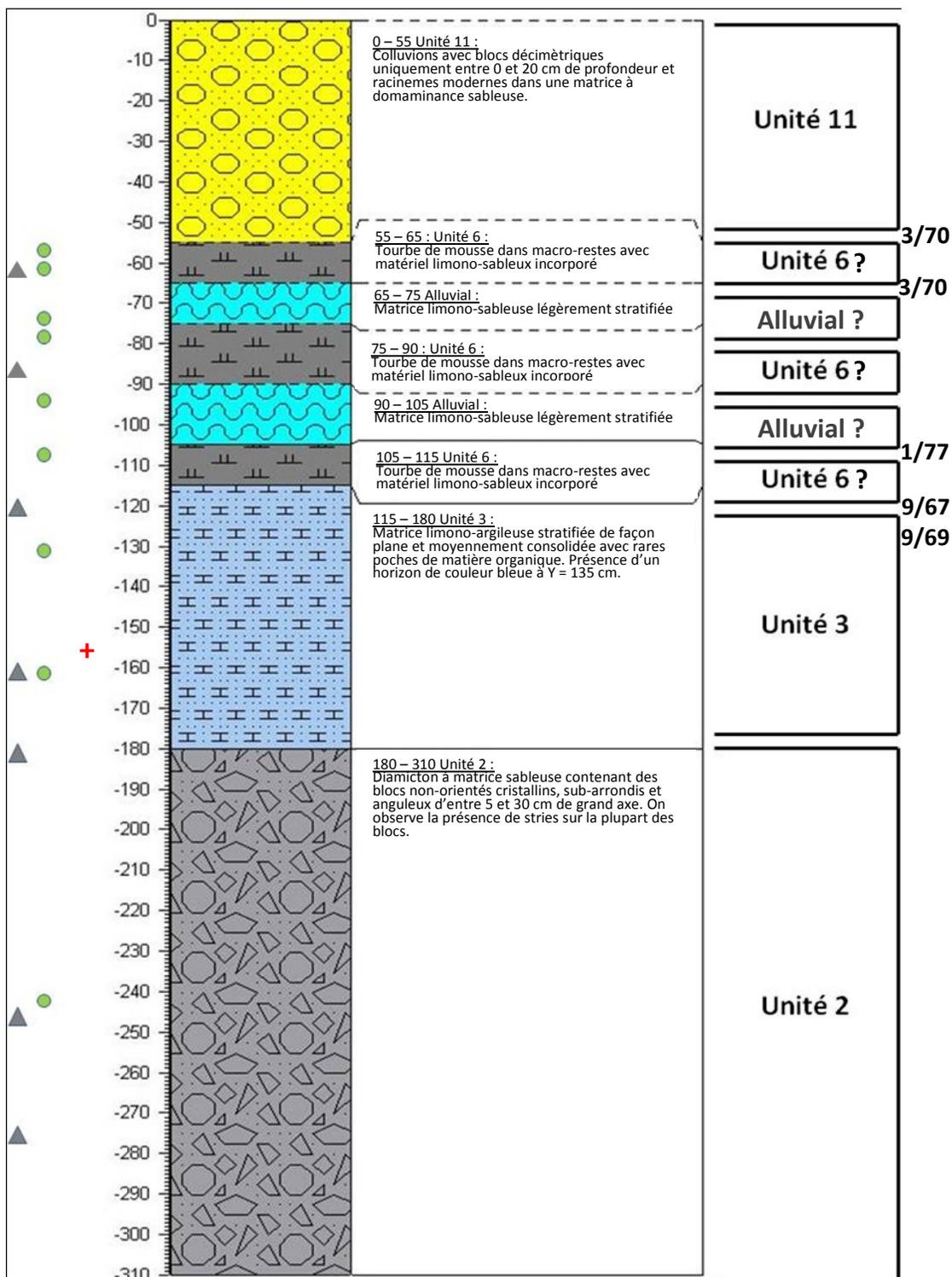
*Orientation : 157° SE*

*Position UTM 17N : X= 532993, Y=8124985*

La coupe 1 est située à l'extrémité ouest de la section où sont retrouvés les dépôts organiques fossiles. Plus précisément, on la retrouve à l'intérieur d'un amphithéâtre d'érosion de 1626,92 m<sup>2</sup> (no 2, voir figure 34). Le sommet de la coupe est à une altitude de 518 m et la profondeur totale de cette dernière coupe est de 310 cm. Elle est essentiellement composée des unités stratigraphiques 2, 3 et possiblement 6, lesquelles ont été définies précédemment : le détail de ces unités est inclus aux figures 35 et 36.



**Figure 35:** Illustration de la coupe 1 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 6 (?) (image du haut) et de l'unité 2 (image du bas). On observe ainsi un contact de manière ondulé entre les unités 2 et 3 ainsi qu'une alternance bien visible entre la tourbe et les limons au sein de l'unité 6. Les traits pointillés correspondent à la jonction entre les différentes unités.



**Figure 36 :** Stratigraphie détaillée de la coupe 1 et des unités stratigraphiques qui y sont associées. Les triangles gris indiquent les niveaux où des analyses granulométriques ont été réalisées et les cercles verts, où des analyses polliniques ont été effectuées. Les signes + et – correspondent aux résultats des analyses paléomagnétiques décrits plus loin et les valeurs de pendage et d'orientation, synthétisés à la figure 47, sont indiqués sous la forme "pendage/orientation" à la droite de la figure.

L'unité organique est bien conservée, mais aucun fragment ligneux de plus de 10 centimètres n'y a été observé, ce qui contraste avec les autres horizons organiques présentés plus loin. La matière organique y est plus décomposée en profondeur que près de la surface. Le pendage observé pour cette unité, très près de 0°, suppose quant à lui un dépôt le long d'une surface plane, mis à part au moment de la colonisation initiale de la tourbe (pendage de 9° vers le l'ENE). Cet horizon a été temporairement identifié comme appartenant à l'unité 6, en raison de son contenu important en mousse. L'alternance entre la matière tourbeuse et de minces horizons sablo-limoneux stratifiés laisse toutefois penser à un mélange entre cette unité et l'unité 3 sous-jacente. Un dépôt inorganique de couleur bleuâtre d'origine inconnue a également été découvert le long du contact entre ces deux unités. L'unité de matériel limono-argileux stratifié de façon plane observée à la base de la coupe (unité 3) est de son côté très variable en termes de texture, tantôt très uniforme et lisse, tantôt débitable en des petits prismes de 5 cm de côté très friables.

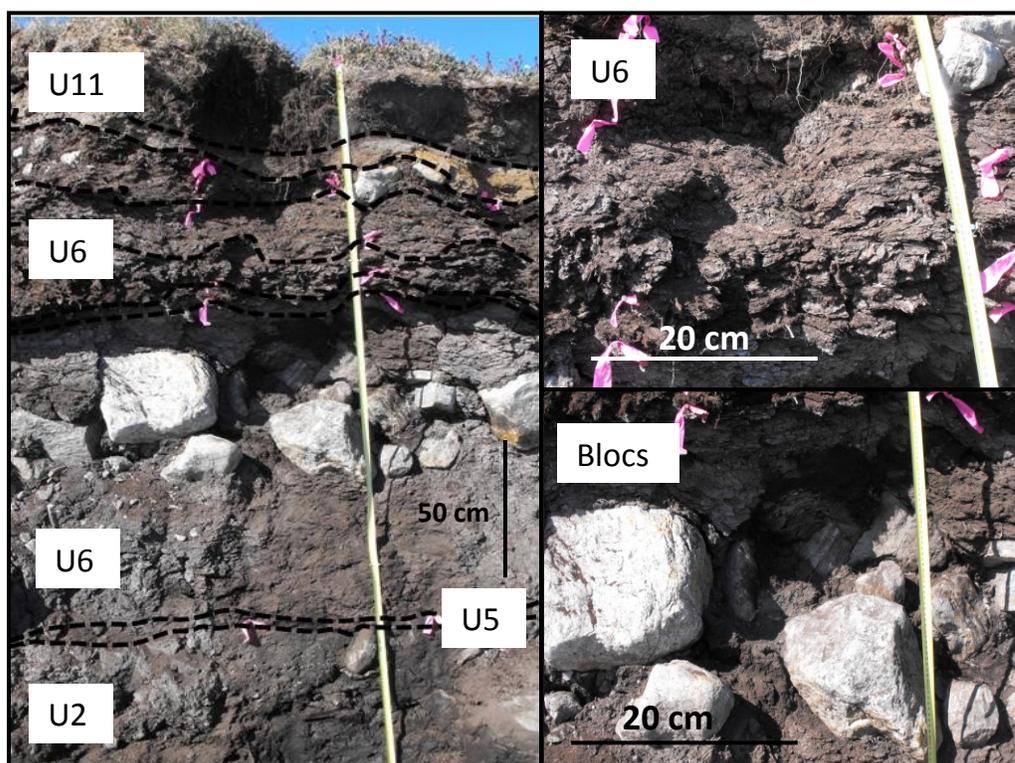
Le contact entre l'unité 3 et le diamicton basal (unité 2) est quant à lui net et est interprété comme une surface d'érosion. Ce diamicton possède également une lithologie assez variable à dominance cristalline et se distingue par son contenu du diamicton observé près de la surface (matrice plus fine). La roche en place n'a pas été atteinte à la base de la coupe, mais les observations faites sur le terrain permettent d'estimer que celle-ci n'est pas très loin sous le diamicton basal.

## Coupe 2

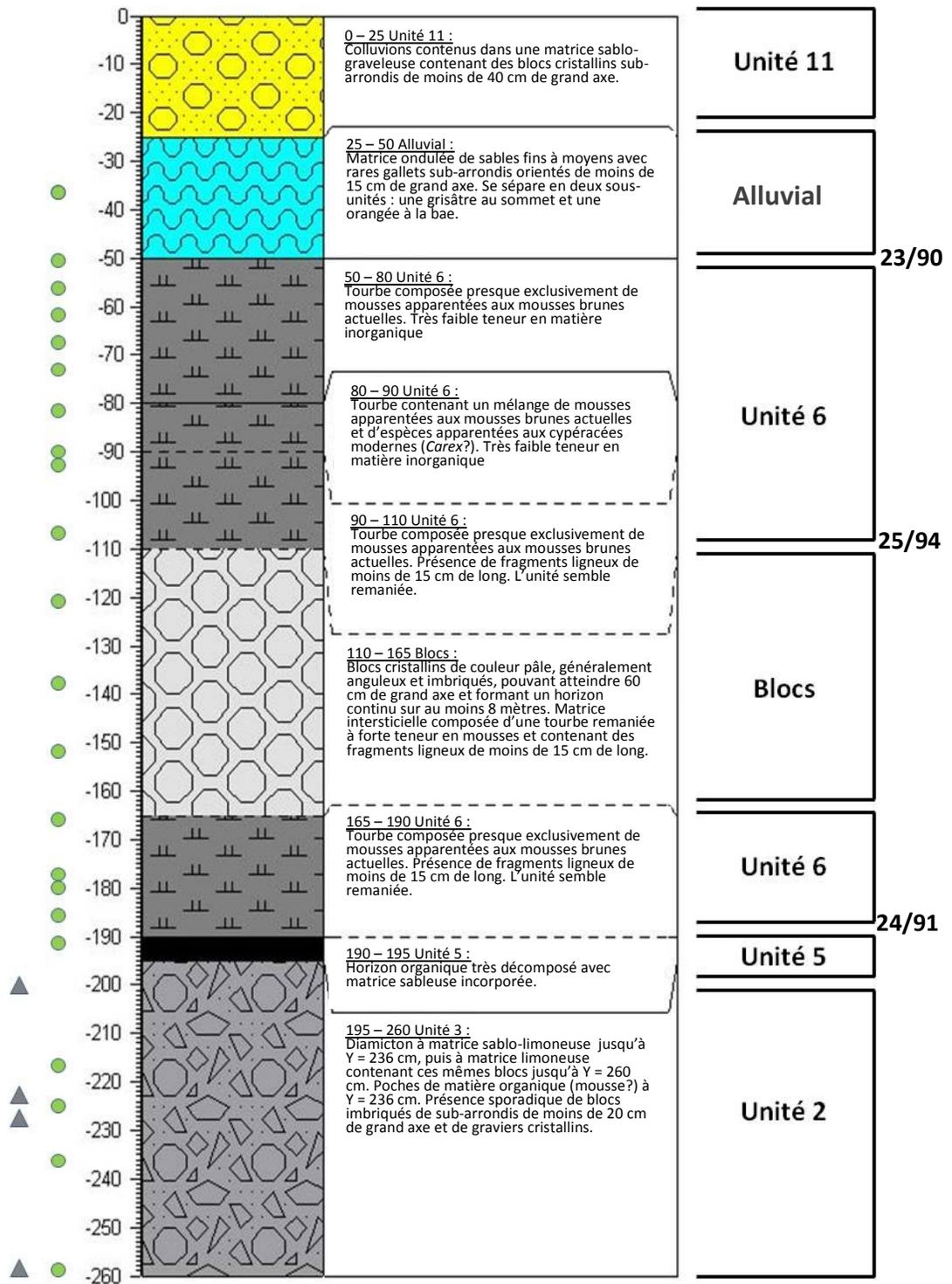
*Orientation : 122° SE*

*Position UTM 17N : X=532866, Y=8125282*

La coupe 2 est située à peu près au même niveau que la coupe 1, mais de l'autre côté du plateau étudié (voir figure 32). De la même manière que pour la coupe 1, on la retrouve à l'intérieur d'un amphithéâtre d'érosion qui n'a pas été cartographié mais dont l'étendue est similaire à l'amphithéâtre no 4 illustré à la figure 34. Le sommet de la coupe est à une altitude de 508 m et la profondeur totale de cette dernière coupe est de 260 cm. Elle est essentiellement composée des unités stratigraphiques 2, 5, 6 et 11 définies précédemment. Le détail de ces unités est inclus aux figures 37 et 38.



**Figure 37 :** Illustration de la coupe 2 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 6 (image du haut) et de l'unité formée par des blocs blancs cristallins imbriqués (image du bas). On remarque la très bonne préservation de la tourbe au sein de l'unité 6 ainsi que l'uniformité lithologique des blocs pâles séparant l'unité 6 en deux. Les traits pointillés correspondent à la jonction entre les différentes unités.



**Figure 38** : Stratigraphie détaillée de la coupe 2 et des unités stratigraphiques qui y sont associées. Les triangles gris indiquent les niveaux où des analyses granulométriques ont été réalisées et les cercles verts, où des analyses polliniques ont été effectuées. Les signes + et - correspondent aux résultats des analyses paléomagnétiques décrits plus loin et les valeurs de pendage et d'orientation, synthétisés à la figure 47, sont indiqués sous la forme "pendage/orientation" à la droite de la figure.

La roche en place n'a pas été atteinte à la base de la coupe, et aucune indication visuelle n'a permis d'estimer sa proximité. L'unité de matériel hétérogène observée à la base de la coupe semble quelque peu mélangée avec l'unité supérieure.

L'unité organique (unité 6) y est très bien conservée, contenant plusieurs fragments ligneux de moins de 15 cm de long. Le sommet de cette coupe est cependant mieux conservé, tant au niveau de l'unité organique supérieure que de l'unité de sables stratifiés de façon oblique, immédiatement au-dessus. Cette unité est quant à elle inclinée (pendages de 23° à 25°) vers l'est, tout comme l'unité 5.

La présence de lambeaux de tourbe entre les blocs pâles ainsi que l'incorporation de quelques blocs plus petits à l'intérieur de l'horizon de tourbe sous-jacente suggère quant à elle le brassage entre ces unités. Il est à noter que la lithologie des blocs retrouvés au sein de cet horizon ne correspond pas à la lithologie des roches avoisinantes, que cela soit la roche en place ou les blocs contenus dans les diamictons formant les unités 2 et 11.

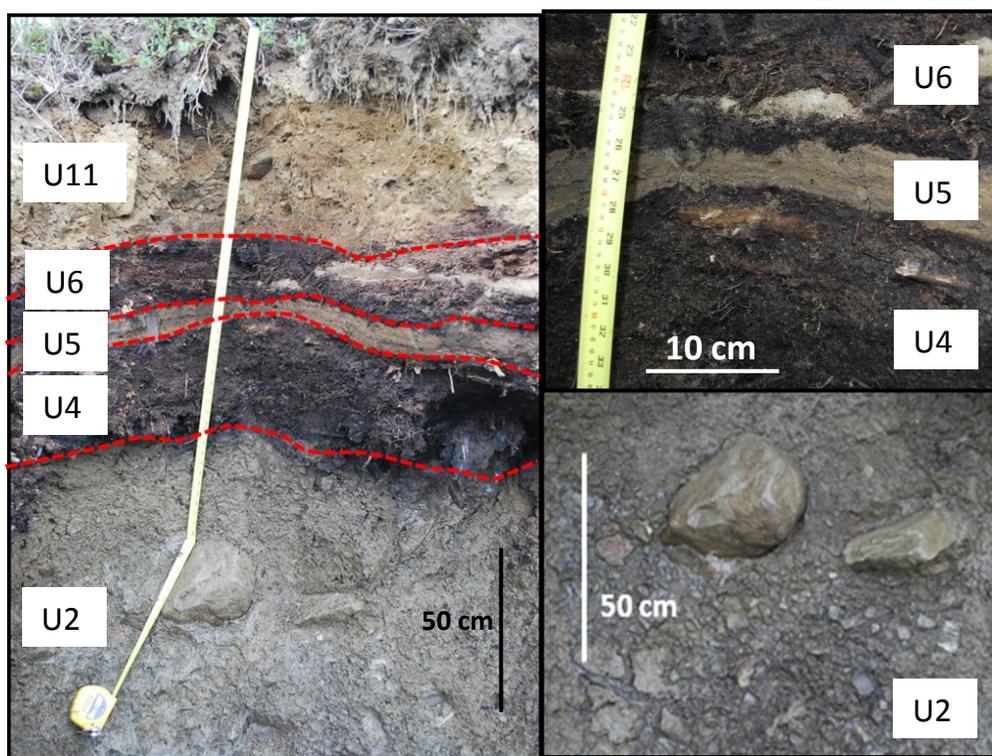
Le contact entre l'unité organique et le diamicton basal est quant à lui diffus. Ce diamicton possède également une lithologie assez variable à dominance cristalline, et se distingue en contenu du diamicton observé près de la surface (matrice plus fine). Il est également moins riche en blocs que le diamicton observé dans la coupe 1. Ce dernier contient aussi des poches de matière organique.

### Coupe 3

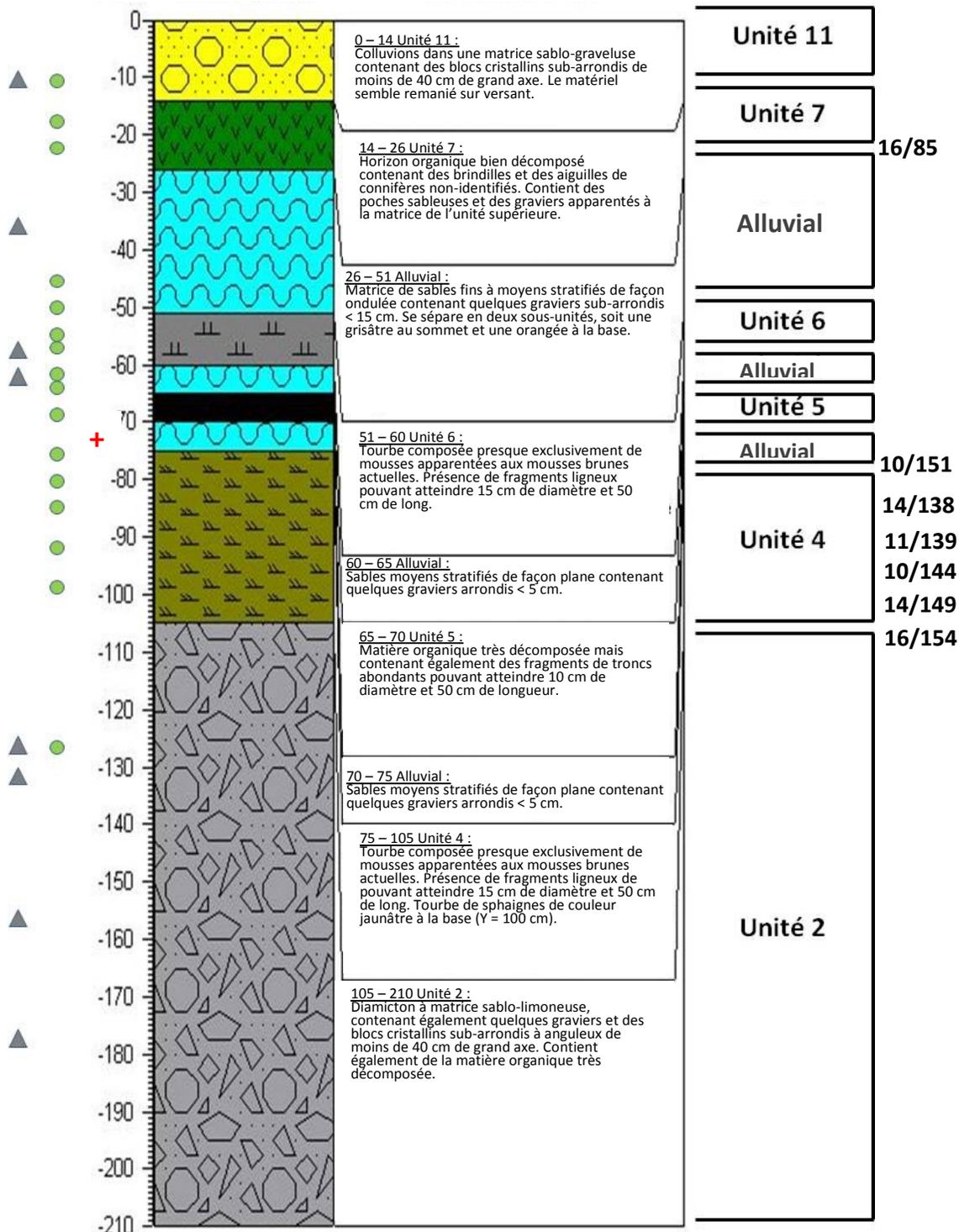
*Orientation 110° SE*

*Position UTM 17N : X=533198, Y=8125103*

La coupe 3 est située un peu plus à l'est que les coupes 1 et 2, du côté sud du plateau (voir figure 33). De la même manière que pour les coupes 1 et 2, on la retrouve à l'intérieur d'un amphithéâtre d'érosion, celui-ci évalué à 1466,39 m<sup>2</sup> de superficie (no 6, figure 34). Le sommet de la coupe est à une altitude de 506 m et la profondeur totale de cette dernière coupe est de 210 cm. Elle est essentiellement composée des unités stratigraphiques 2, 4, 5, 6 et 11 définies précédemment. Le détail de ces unités est inclus aux figures 39 et 40.



**Figure 39:** Illustration de la coupe 3 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail des unités 4, 5 et 6 (image du haut) et de l'unité 2 (image du bas). On y remarque la présence de blocs sub-arrondis à anguleux au sein de l'unité 2 ainsi que le contact net entre les unités 4, 5 et 6. Les traits pointillés correspondent à la jonction entre les différentes unités.



**Figure 40 :** Stratigraphie détaillée de la coupe 3 et des unités stratigraphiques qui y sont associées. Les triangles gris indiquent les niveaux où des analyses granulométriques ont été réalisées et les cercles verts, où des analyses polliniques ont été effectuées. Les signes + et – correspondent aux résultats des analyses paléomagnétiques décrits plus loin et les valeurs de pendage et d'orientation, synthétisés à la figure 47, sont indiqués sous la forme "pendage/orientation" à la droite de la figure.

Le sommet de la coupe est composée d'un diamicton à matrice sableuse contenant des blocs décimétriques cristallins, lequel semble altéré et mélangé suite aux cycles de gel-dégel. Ce diamicton est stratigraphiquement suivi par une unité sableuse contenant de la matière organique très décomposée, ainsi qu'un bon nombre de pièces de bois et d'autres macro-restes végétaux (cônes et branches). Cette unité est inclinée de manière importante (pendage de 16°) vers l'est. Par la suite, une unité sableuse stratifiée de façon ondulée, grisâtre et orangée, ne contenant pas de macro-restes végétaux peut être observée.

L'unité organique sous-jacente est très bien conservée et contient un nombre impressionnant de fragments ligneux pouvant atteindre 15 cm de diamètre et 50 cm de long. Cette unité organique est composée de deux unités principales (unités 4 et 6), séparées par un horizon sableux stratifié de façon plane d'environ 10 cm d'épaisseur lui-même séparé par une unité organique contenant de nombreux fragments végétaux de tailles pouvant atteindre 50 cm (unité 5) et des petites lentilles de sable (environ 15 cm de diamètre). L'unité 4 est quant à elle inclinée vers le sud-est avec un pendage variant de 10° à 16°. Une mince unité organique jaunâtre (< 5 cm) contenant majoritairement des fragments organiques apparentés à des sphaignes et très peu de matière inorganique est également observable à la base de l'unité organique inférieure. La présence relativement fréquente de pièces de bois carbonisées a également pu être détectée au sein des unités 4, 5 et 6.

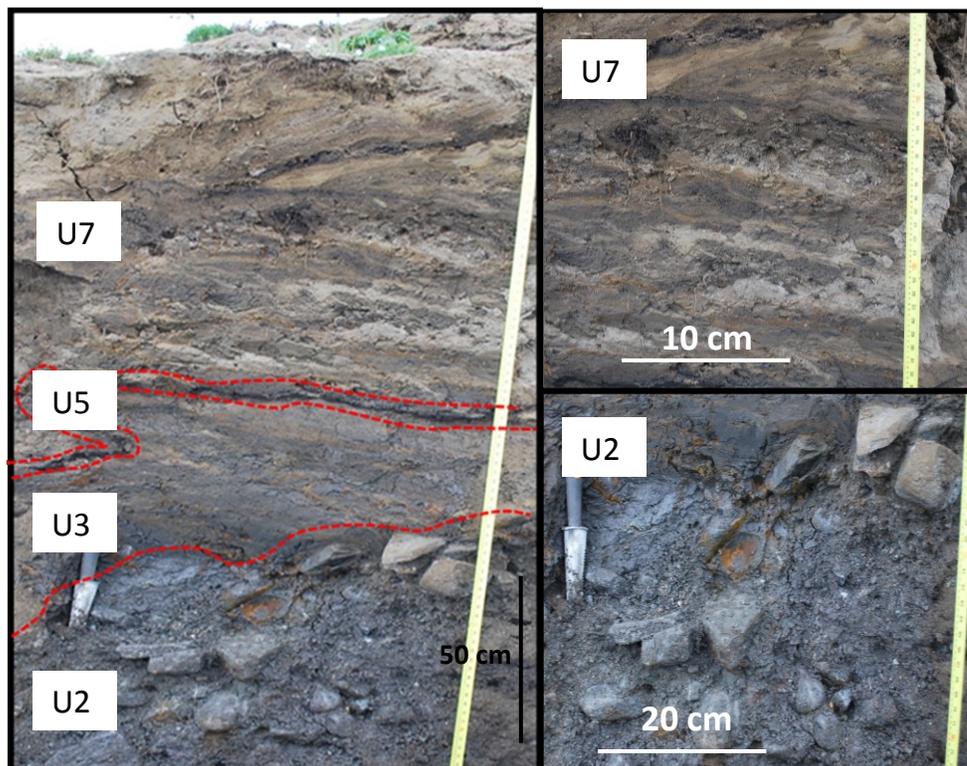
Le contact entre l'unité organique inférieure et le diamicton basal est net. Ce diamicton possède également une lithologie assez variable à dominance cristalline et se distingue en contenu du diamicton observé près de la surface (matrice plus fine). La matrice dans laquelle les blocs sont contenus est à dominance limoneuse, ce qui contraste fortement avec la matrice sableuse observée dans la coupe 1 pour cette même unité. Un forage réalisé au sein de cette coupe a également permis de confirmer sa stratigraphie ainsi que de pénétrer en profondeur dans l'unité basale (unité 2), difficilement accessible avec une pelle.

## Coupe 4

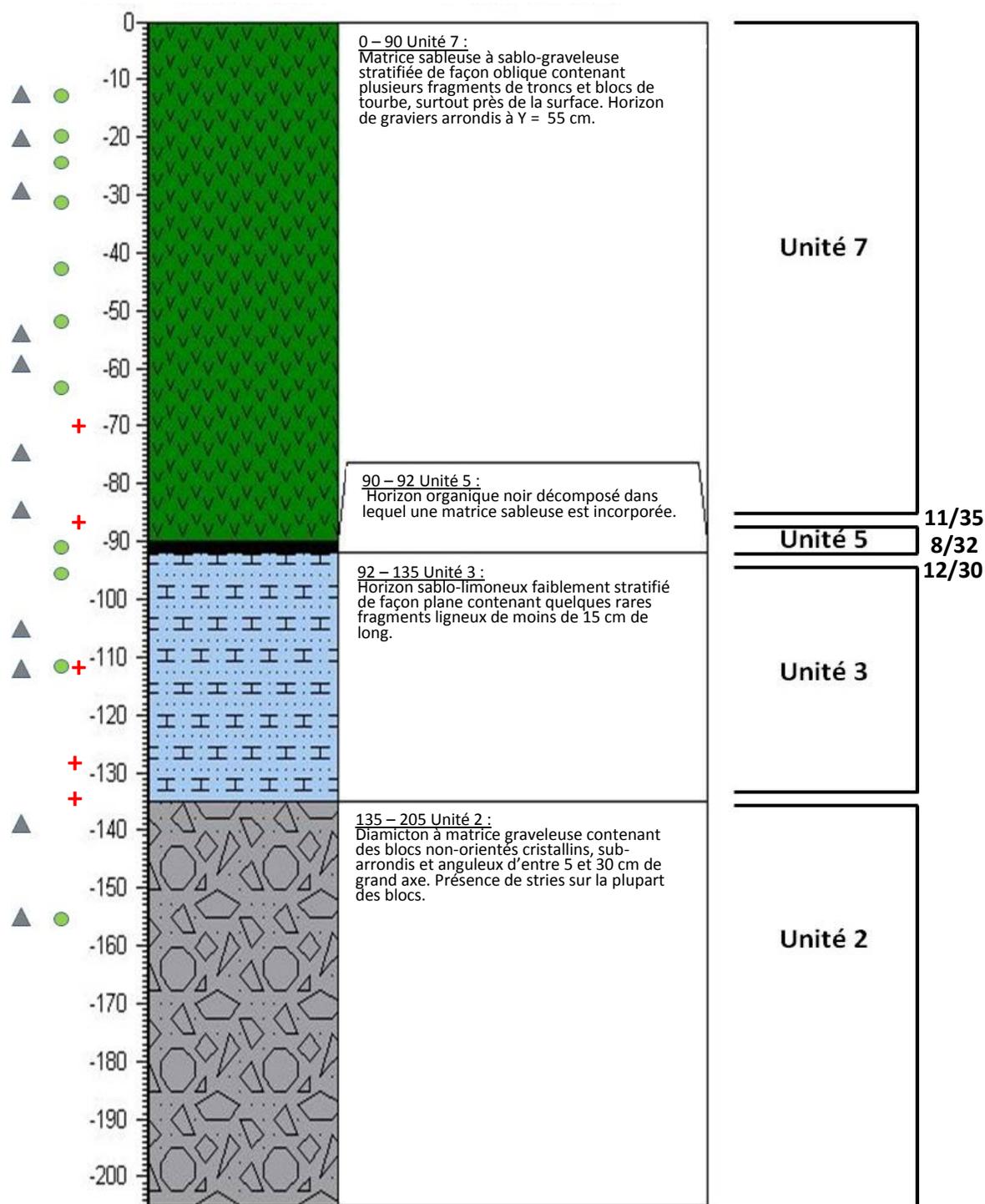
*Orientation 85° ENE*

*Position UTM 17N : X=533260, Y=8125063*

La coupe 4 est située un peu plus à l'est que les coupes 1 et 2, du côté sud du plateau (voir figure 33). Contrairement aux coupes 1 et 2, on la retrouve sur une crête longue de plus de 100 mètres, laquelle divise la façade sud du plateau en deux sections de superficies semblables. Le sommet de la coupe est à une altitude de 497 m et la profondeur totale de cette dernière coupe est de 210 cm. Elle est essentiellement composée des unités stratigraphiques 2, 3, 5 et 7 définies précédemment. Le détail de ces unités est inclut aux figures 41 et 42.



**Figure 41:** Illustration de la coupe 4 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 7 (image du haut) et de l'unité 2 (image du bas). On peut y observer une certaine variabilité granulométrique au sein de l'unité 7 ainsi que la présence de blocs imbriqués au sein de l'unité 2. Les traits pointillés correspondent à la jonction entre les différentes unités.



**Figure 42** : Stratigraphie détaillée de la coupe 4 et des unités stratigraphiques qui y sont associées. Les triangles gris indiquent les niveaux où des analyses granulométriques ont été réalisées et les cercles verts, où des analyses polliniques ont été effectuées. Les signes + et – correspondent aux résultats des analyses paléomagnétiques décrits plus loin et les valeurs de pendage et d'orientation, synthétisés à la figure 47, sont indiqués sous la forme "pendage/orientation" à la droite de la figure.

L'unité sableuse stratifiée de façon oblique composant la partie supérieure de la coupe contient quelques fragments organiques généralement en-deçà de 15 cm de longueur. Plusieurs morceaux de troncs de taille significative (plus d'un mètre) ont cependant pu être récoltés dans les premiers centimètres à partir de la surface. Il est également important de noter que cette unité est très peu cohésive et qu'on y observe un nombre important de failles. Cette unité se termine de façon discontinue par une unité organique noirâtre très fine (< 5 cm) bien décomposée, ondulée, relativement continue et ne contenant pas de macro-restes végétaux. Cette unité (5) est par ailleurs inclinée vers le NNE (pendage de 8° à 12°). Elle est suivie dans la stratigraphie par une unité semblable à l'unité caractérisant la partie supérieure de la coupe (matrice à dominance sableuse et stratifiée). Cette dernière est cependant composée d'un matériel plus fin et stratifié de façon plane, comparable à l'unité 3 observée à la coupe 1. Elle contient également de rares poches de matière organique.

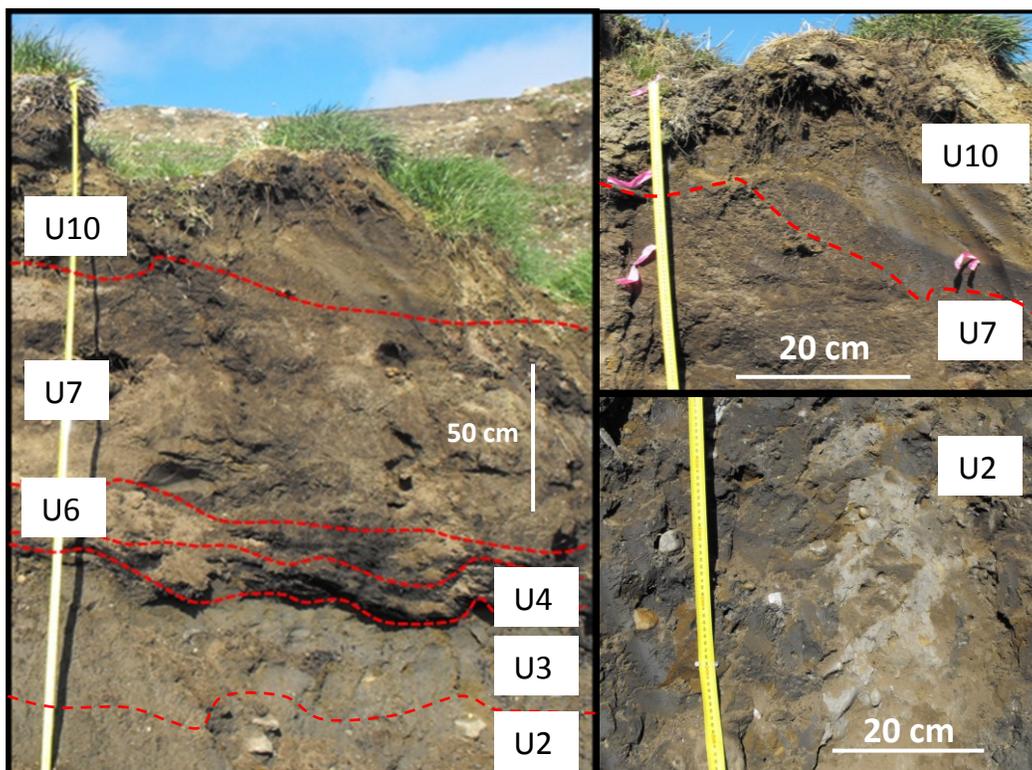
Un contact net sépare cette dernière unité du diamicton basal, lequel est composé d'une matrice à dominance graveleuse, ce qui contraste avec les échantillons de cette même unité provenant des coupes 1, 2 et 3. Ce diamicton possède également plusieurs blocs sub-arrondis décimétriques, lesquels sont parfois striés et imbriqués les uns dans les autres.

## Coupe 5

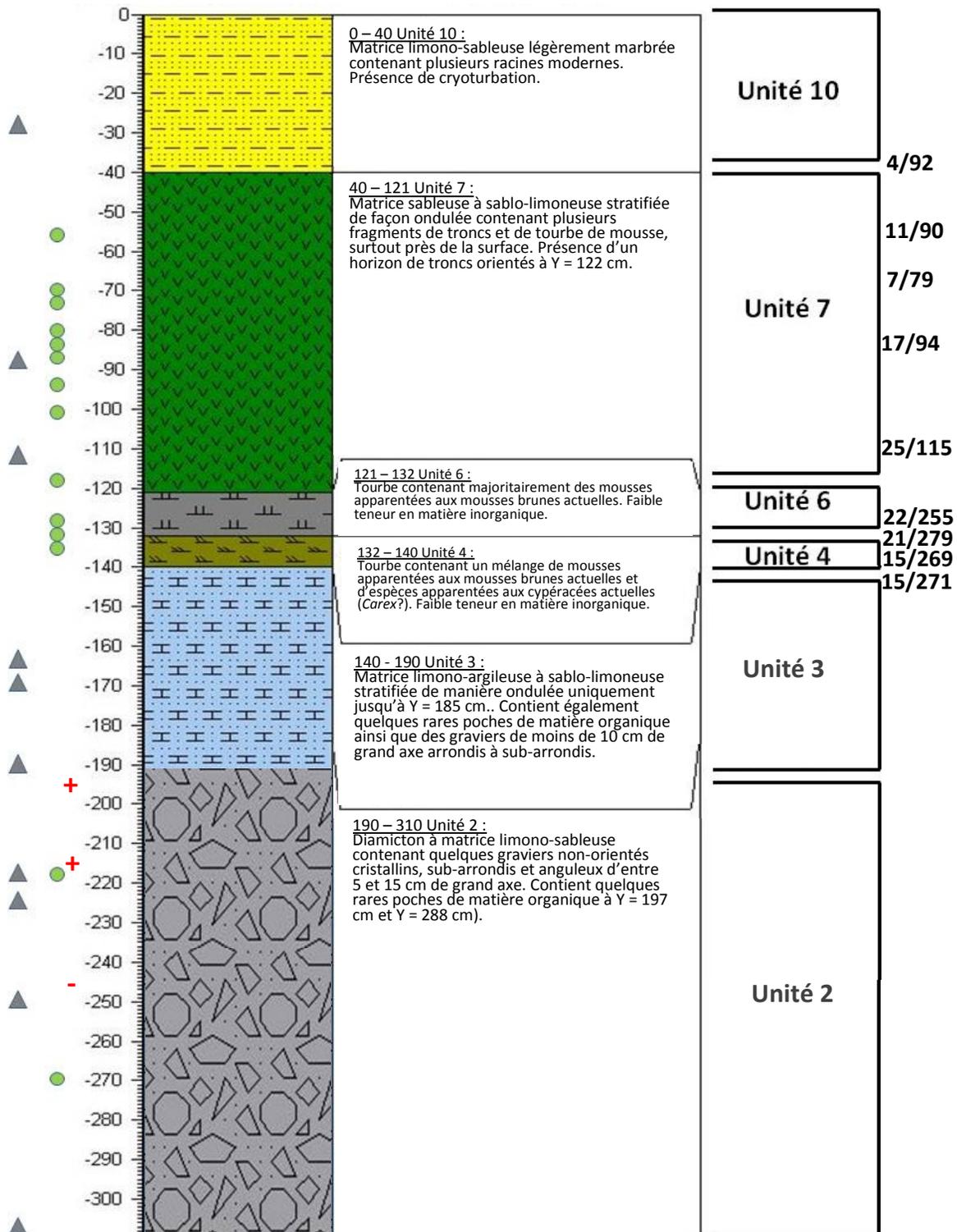
*Orientation : 175° SSE*

*Position UTM 17N : X=533353, Y=8125121*

La coupe 5 est l'endroit le plus au sud-est du plateau où l'on retrouve des vestiges organiques fossiles (voir figure 33). De la même manière que pour les coupes 1 et 2, on la retrouve à l'intérieur d'un amphithéâtre d'érosion évalué à 12523,49 m<sup>2</sup> (no 7, figure 34). Le sommet de la coupe est à une altitude de 502 m et la profondeur totale de cette dernière coupe est de 309 cm. Elle est essentiellement composée des unités stratigraphiques 2, 3, 4, 6, 7 et 10 définies précédemment. Le détail de ces unités est inclut aux figures 43 et 44.



**Figure 43:** Illustration de la coupe 5 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 7 (image du haut) et de l'unité 2 (image du bas). On peut observer la présence de graviers dans l'unité 2 ainsi que le changement de granulométrie entre les unités 7 et 10. Les traits pointillés correspondent à la jonction entre les différentes unités.



**Figure 44 :** Stratigraphie détaillée de la coupe 5 et des unités stratigraphiques qui y sont associées. Les triangles gris indiquent les niveaux où des analyses granulométriques ont été réalisées et les cercles verts, où des analyses polliniques ont été effectuées. Les signes + et – correspondent aux résultats des analyses paléomagnétiques décrits plus loin et les valeurs de pendage et d'orientation, synthétisés à la figure 47, sont indiqués sous la forme "pendage/orientation" à la droite de la figure.

Une unité limoneuse contenant des marbrures, quelques rares graviers sub-anguleux, aucune matière organique visible à l'œil nu et plusieurs racines modernes a tout d'abord pu être observée au sommet de cette coupe. Par la suite, on observe une unité sableuse stratifiée de façon ondulée contenant quelques fragments organiques (aiguilles, cônes, morceaux de troncs, lambeaux de tourbe), lesquels peuvent atteindre près de 50 cm de longueur, ainsi que des traces d'oxydation. Ces pièces de bois, essentiellement retrouvées dans les parties supérieures et inférieures de l'unité sableuse, sont également orientées vers l'ENE du site d'étude avec des pendages très variables (entre 4° et 25°).

Cette unité est suivie d'une unité organique peu décomposée majoritairement composée de mousses s'apparentant aux mousses brunes actuelles. Elle-même est suivie dans la stratigraphie par une unité semblable, mais contenant majoritairement des fragments végétaux similaires aux cypéracées modernes. On retrouve également dans cet horizon quelques fragments ligneux, eux aussi d'apparence orientés. Le contact entre ces deux unités organique est net. Ces deux unités sont généralement orientées vers l'ouest le long d'une pente de 15° à 22°.

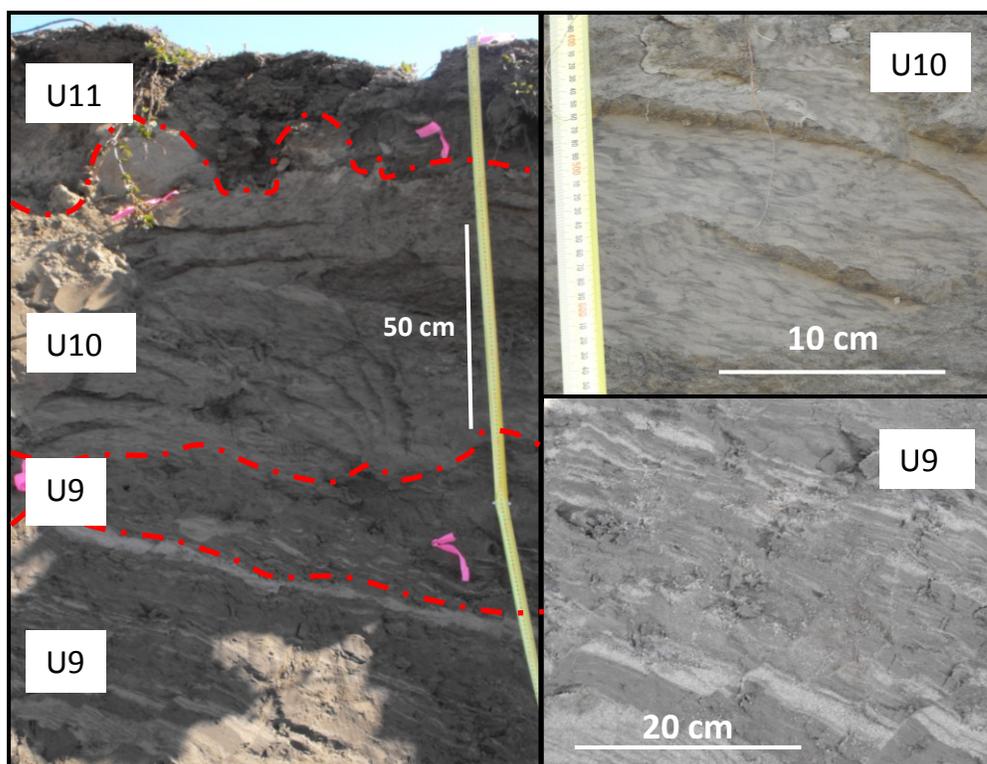
Un contact net sépare l'unité 4 d'une unité compacte parfois sablo-limoneuse, parfois limoneuse et stratifiée de façon diffuse dans sa partie supérieure. Cette unité contient quelques rares graviers et blocs arrondis à sub-arrondis, essentiellement dans sa partie supérieure, ainsi que quelques rares troncs d'apparence orientés vers le sud-ouest du site d'étude. Un fragment de charbon de 15 cm de long (Y = 197 cm) ainsi qu'un lambeau de tourbe (Y = 288 cm) y ont également été retrouvés. La présence de pièces de bois carbonisées a également pu être détectée au sein des unités 4 et 6. Finalement, un forage réalisé au sein de cette coupe confirme sa stratigraphie ainsi que de pénétrer en profondeur dans l'unité basale (unités 2 et 3), niveaux sur lesquels des analyses granulométriques et polliniques ont pu être réalisées.

## Coupe 6

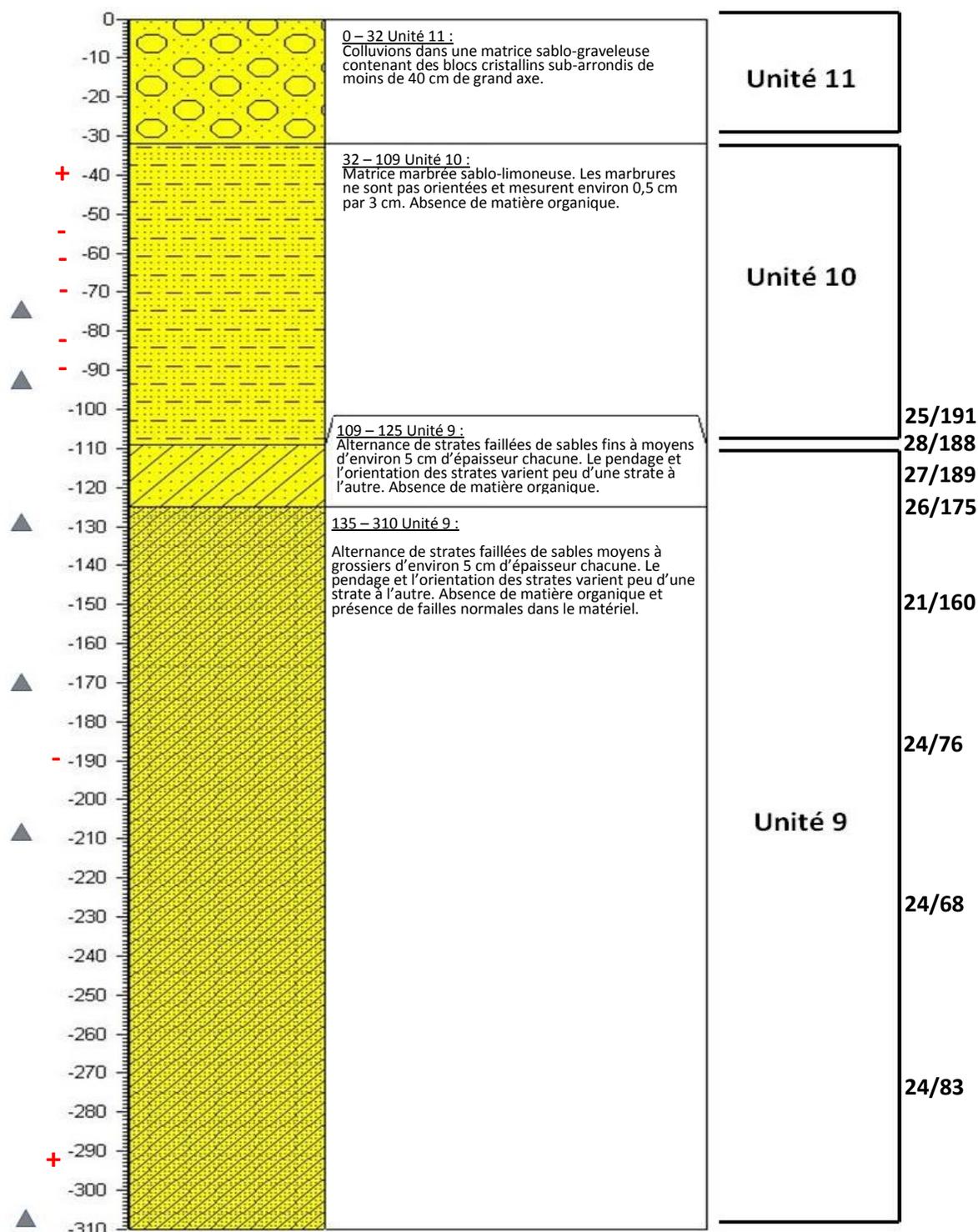
*Orientation: 253° OSO*

*Position UTM 17N : X=533456, Y=8125127*

La coupe 6 est la coupe la plus à l'est qui a été analysée. Aucun dépôt organique n'y a toutefois été observé. De la même manière que pour la plupart des autres coupes stratigraphiques étudiées, on la retrouve à l'intérieur d'un amphithéâtre d'érosion évalué à 1454,18m<sup>2</sup> (no 9, voir figure 34). Le sommet de la coupe est à une altitude de 520 mètres et la profondeur totale de cette dernière coupe est de 309 cm. Elle est essentiellement composée des unités stratigraphiques 9, 10 et 11 définies précédemment. Le détail de ces unités est inclut aux figures 45 et 46.



**Figure 45:** Illustration de la coupe 6 telle qu'échantillonnée sur le terrain, ainsi que le détail de l'unité 10 (image du haut) et de l'unité 9 (image du bas). On peut y observer la présence de marbrures non-orientées au sein de l'unité 10 ainsi que la présence de failles normales au sein de l'unité 9 et la présence de structures de cryoturbation à la jonction entre les unités 10 et 11. Les traits pointillés correspondent à la jonction entre les différentes unités.

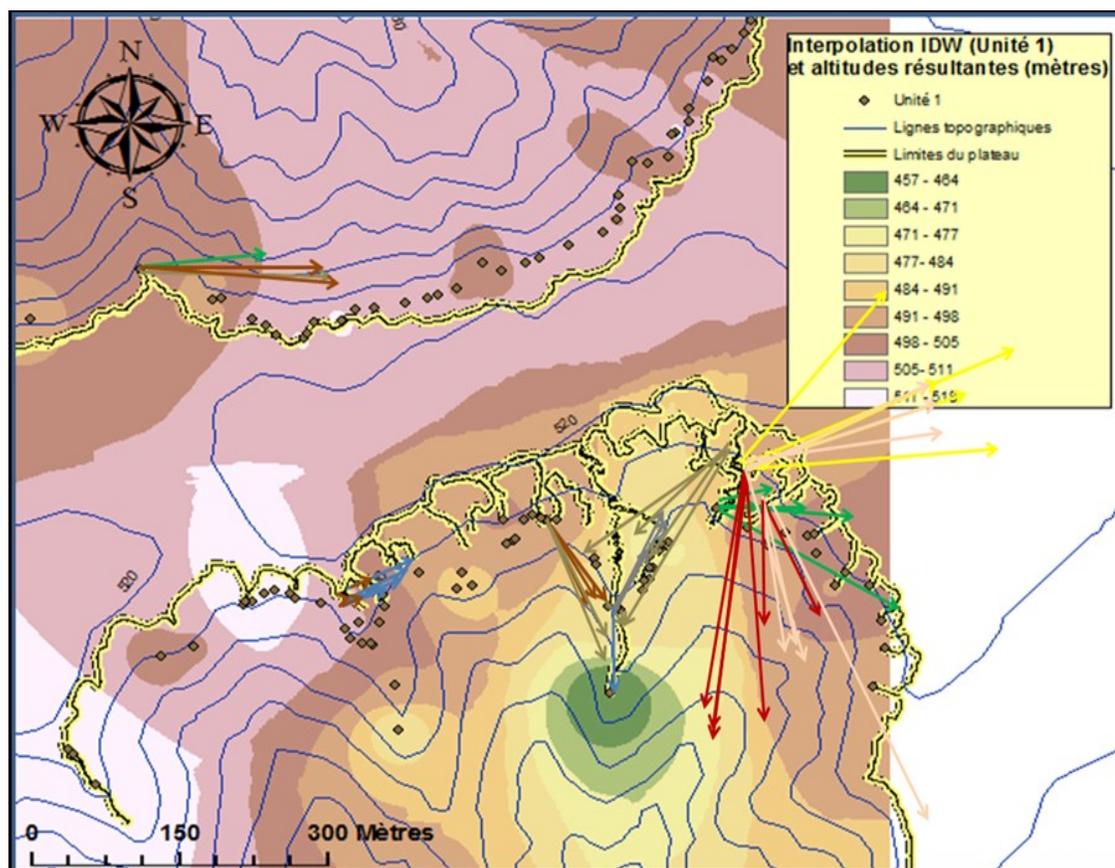


**Figure 46 :** Stratigraphie détaillée de la coupe 6 et des unités stratigraphiques qui y sont associées. Les triangles gris indiquent les niveaux où des analyses granulométriques ont été réalisées et les cercles verts, où des analyses polliniques ont été effectuées. Les signes + et – correspondent aux résultats des analyses paléomagnétiques décrits plus loin et les valeurs de pendage et d'orientation, synthétisés à la figure 47, sont indiqués sous la forme "pendage/orientation" à la droite de la figure.

L'unité limoneuse marbrée composant la partie supérieure de la coupe (unité 10) contient quelques rares graviers sub-arrondis de moins de 10 cm, provenant probablement du diamicton de surface (unité 11) présent immédiatement au-dessus. Aucune orientation préférentielle des marbrures n'a cependant pu y être observée.

Cette unité se termine de façon nette par la présence d'une unité inorganique stratifiée de manière oblique contenant une alternance à chaque 5 cm environ d'horizons de sables fins à moyens. Contrairement à l'unité décrite précédemment, des orientations et un pendage préférentiels (entre 21° et 28°) ont pu être associés à ces stratifications. En effet, on observe un pendage des sédiments vers le sud pour la partie supérieure de cette unité, puis vers l'est pour la partie inférieure, laquelle contient également des sédiments plus fins. Ces horizons sableux sont cependant faillés (failles inverses), ce qui implique un brassage de ces derniers. Finalement, un forage réalisé au sein de cette coupe a également permis de confirmer sa stratigraphie ainsi que de pénétrer en profondeur dans l'unité basale (unité 9).

Il est également intéressant de noter que de la glace a été découverte à la base de la coupe, laquelle a été interprétée comme de la glace de glacier enfouie grâce à des analyses cristallographiques (Fortier *et al.* 2009).



**Figure 47 :** Représentation des valeurs de pendage et d'orientation recueillies sur le terrain. Les couleurs des flèches correspondent aux unités suivantes : bleu (unité 3), gris (unité 4), brun (unité 6), vert (unité 7), jaune (unité 8), rouge (unité 9) et rose (unité 10) . La longueur des flèches est proportionnelle à l'intensité du pendage et la direction des flèches correspond à l'orientation des unités telle que calculée sur le terrain. La trame de fond correspond aux altitudes interpolées suite aux analyses *IDW* pour l'unité 1 (roche mère).

## **Analyses granulométriques**

Des analyses granulométriques ont été réalisées sur 67 échantillons correspondant aux unités observées sur le terrain et décrites précédemment. Tel que mentionné dans la section *Méthodes de laboratoire*, seuls les échantillons contenant plus de 5% de particules plus fines que 63  $\mu\text{m}$  ont fait objet d'analyses hydrométriques.

### Unité 2

Les diagrammes de distribution granulométrique de l'unité 2 se répartissent en deux principaux types, lesquels sont représentés aux figures 48 et 49 ainsi qu'au tableau IX.

Le premier de ces types montre un certain triage du matériel autour de 250  $\mu\text{m}$ , mais contient également un fort pourcentage de particules plus fines (jusqu'à 28,6% de limons et d'argiles) et quelques particules de la taille des graviers (entre 4,1% et 15,4%). La moyenne granulométrique, très variable, est toutefois la plupart du temps supérieure à 1000  $\mu\text{m}$ , alors que la médiane granulométrique ne dépasse pas 200  $\mu\text{m}$ . Le mode granulométrique est quant à lui généralement bas (entre 115,5  $\mu\text{m}$  et 317  $\mu\text{m}$ ) ce qui implique la présence d'une matrice sableuse à sablo-limoneuse.

Le second type contient un légèrement plus faible pourcentage de particules fines (entre 0,0% et 30,8% de limons et d'argiles), et un plus grand pourcentage de particules de la taille des graviers (entre 3,7% et 94,8%). On observe également un certain triage du matériel autour de 250  $\mu\text{m}$ . La moyenne et la médiane granulométrique des échantillons de ce type sont également significativement plus élevées que pour le premier type (environ 2000  $\mu\text{m}$  chacune). Cet écart est explicable, dans la plupart des cas, par la présence d'un pic de matériel relativement grossier (> 10 mm). Le mode granulométrique pour ces échantillons est également plus grand que pour les échantillons associés au 1<sup>er</sup> type de distribution (jusqu'à 18 cm), ce qui implique une matrice plus grossière.

La différenciation entre ces types de distribution est en partie fonction de leur position sur le terrain. En effet, on remarque tout d'abord que la granulométrie moyenne et médiane des échantillons provenant des coupes 1 et 4 est plus grossière que pour les coupes 2 et 3. Dans cette optique, le sommet de cette unité correspond à une granulométrie moyenne plus fine dans le cas des coupes 2, 3 et 4 alors que la médiane granulométrique de l'échantillon au sommet de cette unité pour la coupe 1 est significativement plus petite que pour les autres échantillons plus en profondeur correspondant à cette coupe. On remarque également que seuls les échantillons appartenant à la coupe 3 et au sommet de l'unité de la coupe 2 font partie du premier type de distribution granulométrique.

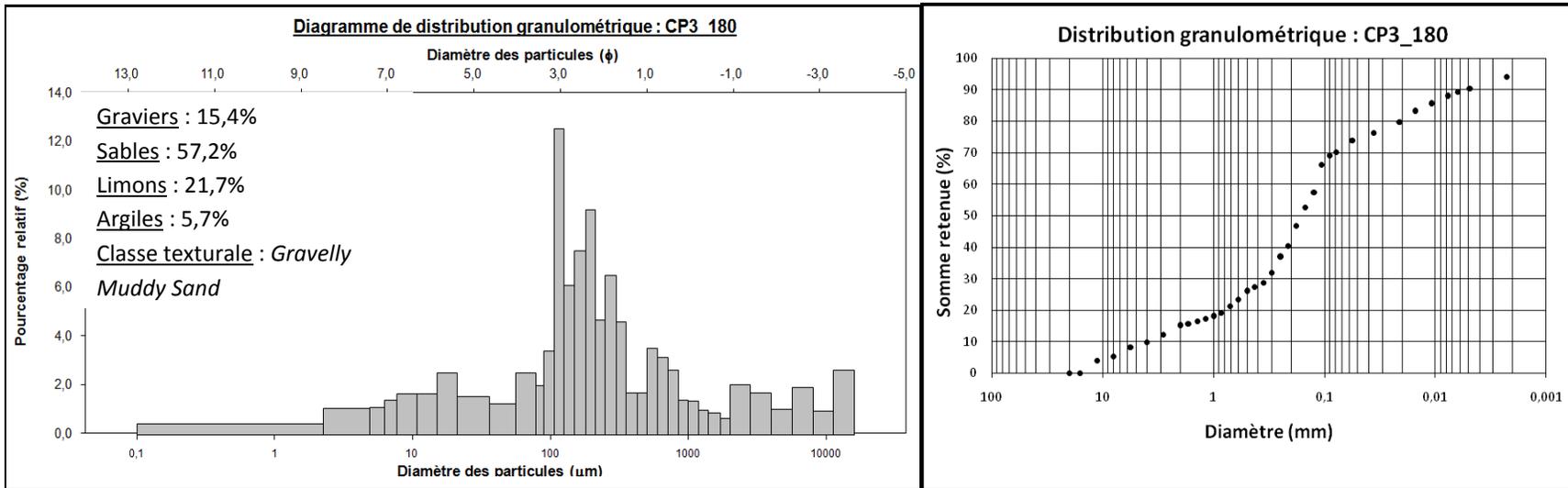


Figure 48 : Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 1 (Unité 2, exemple provenant de l'échantillon CP3\_180).

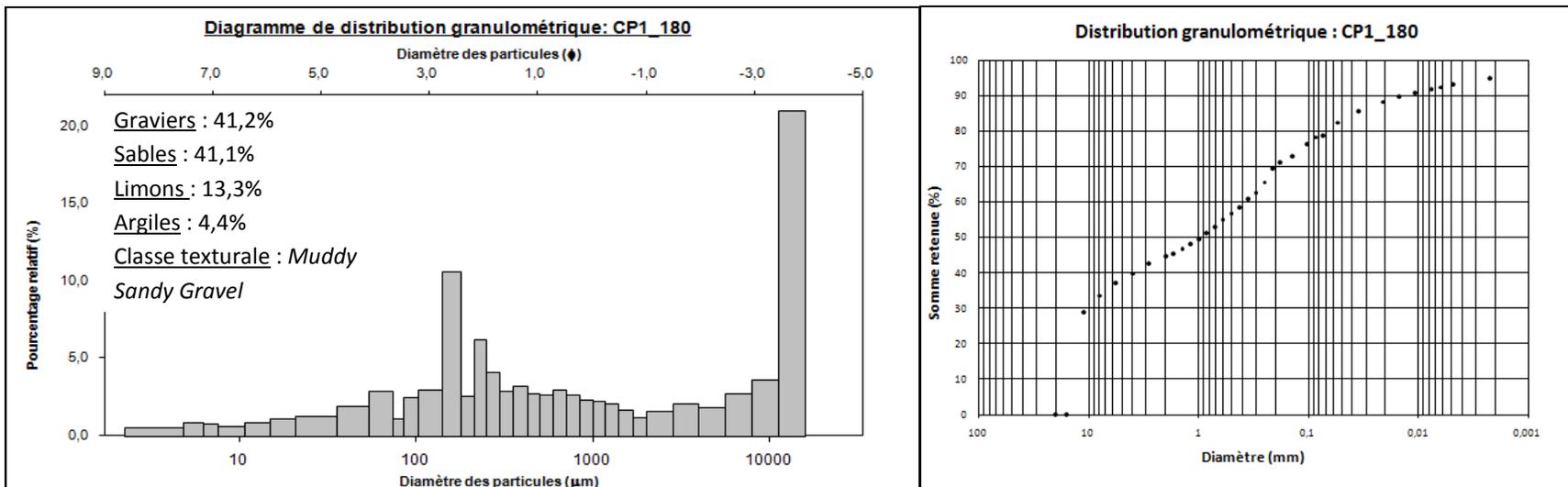


Figure 49 : Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 2 (Unité 2, exemple provenant de l'échantillon CP1\_180).

**Tableau IX : PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS PROVENANT DE L'UNITÉ 2**

Coupe	Prof (cm)	X (UTM 17N)	Y (UTM 17N)	moyenne	médiane	Mode	Asymétrie	écart-type	% graviers (> 2 mm)	% sables (>63 µm)	% limons (> 2 µm)	% argiles (< 2 µm)	Courant estimé (cm/s)	Type
1	180	532993	8124985	4685,5	636,2	13600,0	-0,03	5818,3	41,20%	41,10%	13,30%	4,40%	0,7 -120	2
1	250	532993	8124985	2545,3	11315,2	275,0	-2,74	4915,8	66,90%	28,40%	4,70%	0,00%	0,7- 200	2
1	275	532993	8124985	4519,8	14448,9	18000,0	-2,54	6627,5	70,20%	28,30%	1,50%	0,00%	1,5 -200	2
2	205	532866	8125282	1187,5	247,6	317,0	-0,31	2256,5	16,60%	52,60%	23,40%	7,40%	N/D *	1
2	225	532866	8125282	2799,6	7874	17300,0	-1,20	5838,5	94,80%	5,20%	0,00%	0,00%	N/D *	2
2	230	532866	8125282	1841,5	472,2	275,0	-0,19	2829,3	27,70%	49,20%	19,60%	5,40%	N/D *	2
2	260	532866	8125282	2931,6	3691,4	87,1	-1,07	4796,4	57,00%	23,20%	15,30%	4,40%	N/D *	2
3	130	533198	8125103	442,4	165,4	196,0	-0,01	962,4	4,20%	67,20%	17,60%	11,00%	N/D *	1
3	135	533198	8125103	491,3	192,2	165,0	0,09	669,6	4,10%	77,00%	13,10%	5,80%	N/D *	1
3	160	533198	8125103	960,7	179,8	132,5	-0,25	2299,6	10,50%	67,50%	17,10%	4,90%	N/D *	1
3	180	533198	8125103	1295,8	164,1	115,5	-0,09	3051,7	15,40%	57,20%	21,70%	5,70%	N/D *	1
4	135	533260	8125063	2552,1	6904,7	13600,0	-0,43	4720	65,60%	25,80%	7,00%	1,60%	3,0-130	2
4	155	533260	8125063	6380,4	4408,5	655,0	-1,73	5525,5	64,30%	32,60%	3,20%	0,00%	2,0-200	2
5	190	533353	8125121	4865,6	623,6	165,0	-0,13	7217	32,50%	42,50%	18,70%	6,30%	0-50	2
5	220	533353	8125121	1081,9	289,9	231,0	-0,05	3546,4	37,90%	37,20%	19,50%	5,40%	0,2-60	2
5	225	533353	8125121	312,7	129,8	55,9	-0,63	897,9	21,70%	42,10%	30,50%	5,70%	0,2-50	2
5	250	533353	8125121	4537,5	2344,5	98,0	-1,68	4941	52,70%	42,70%	3,60%	1,00%	0,5-120	2
5	305	533353	8125121	392,5	79,74	48,3	0,11	658,5	3,70%	53,90%	36,90%	5,60%	0-50	2
<b>moyenne</b>				2434,7	3048,6	3628,3	-0,51	3745,7	38,17%	42,98%	14,80%	4,14%		
<b>écart-type</b>				1868,9	4492,5	6673,2	1,03	2136,8	27,37%	17,96%	10,16%	3,08%		
<b>minimum</b>				312,7	79,7	48,3	-2,74	658,5	3,70%	5,20%	0,00%	0,00%		
<b>maximum</b>				6380,4	14448,9	18000,0	0,11	7217,0	94,80%	77,00%	36,90%	11,00%		

\* La nature de cette unité étant définie dans la discussion comme étant glaciaire (till et *ice contact drift*) et la méthode de Visher pour l'estimation des courants étant applicable seulement pour les milieux où l'influence de l'eau est prédominante, aucun courant n'a pu être estimé pour ces échantillons.

### Unité 3

Les diagrammes de distribution granulométrique de l'unité 3 se répartissent en deux principaux types, lesquels sont représentés aux figures 50 et 51 ainsi qu'au tableau X, malgré un mode granulométrique semblable d'un type à l'autre.

Le premier de ces types montre un certain triage du matériel autour de 100  $\mu\text{m}$  et contenant un bon pourcentage de particules plus fines (entre 19,3% et 59,5% de limons et d'argiles) et quelques particules de la taille des graviers (entre 0% et 7,1%). Le diamètre médian et moyen ainsi que le mode granulométrique de ces échantillons sont également très petits (environ 150  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$  et 150  $\mu\text{m}$  respectivement), ce qui se traduit en des courants estimés très faibles (maximum rarement au-dessus de 50 cm/s). Les échantillons analysés au sein de l'unité organique de la coupe 1 (CP1\_65 et CP1\_85) contiennent toutefois un plus grand pourcentage de graviers et de sables (environ 70%).

Le second type correspond aux échantillons CP1\_120 et CP1\_160, qui se caractérisent par leur fort contenu en sables (49,7% et 84,2% respectivement), ce qui correspond à des courants estimés maximums beaucoup plus élevés que pour les deux autres types (entre 120 et 130 cm/s). Sur le terrain, ces échantillons appartenaient à une unité similaire à l'unité 3, mais plus compacte et se débitant en morceaux cubiques d'environ 5 cm de côté. Le diamètre médian et moyen ainsi que le mode granulométrique de ces échantillons sont également supérieurs (environ 175  $\mu\text{m}$ , 700  $\mu\text{m}$  et 250  $\mu\text{m}$  respectivement).

Somme toute, les échantillons appartenant à cette unité sont tout de même relativement semblables pour ce qui est de leur contenu en particules fines. On observe cependant que la différenciation entre ces types de distribution est en partie fonction de leur position sur le terrain. En effet, on remarque que la granulométrie moyenne et médiane des échantillons provenant des échantillons situés les plus à l'ouest est plus fine que pour les coupes les plus à l'ouest (coupes 4 et 5). La profondeur des échantillons ne semble pas, quant à elle, correspondre à une tendance vers une granulométrie plus fine ou plus grossière.

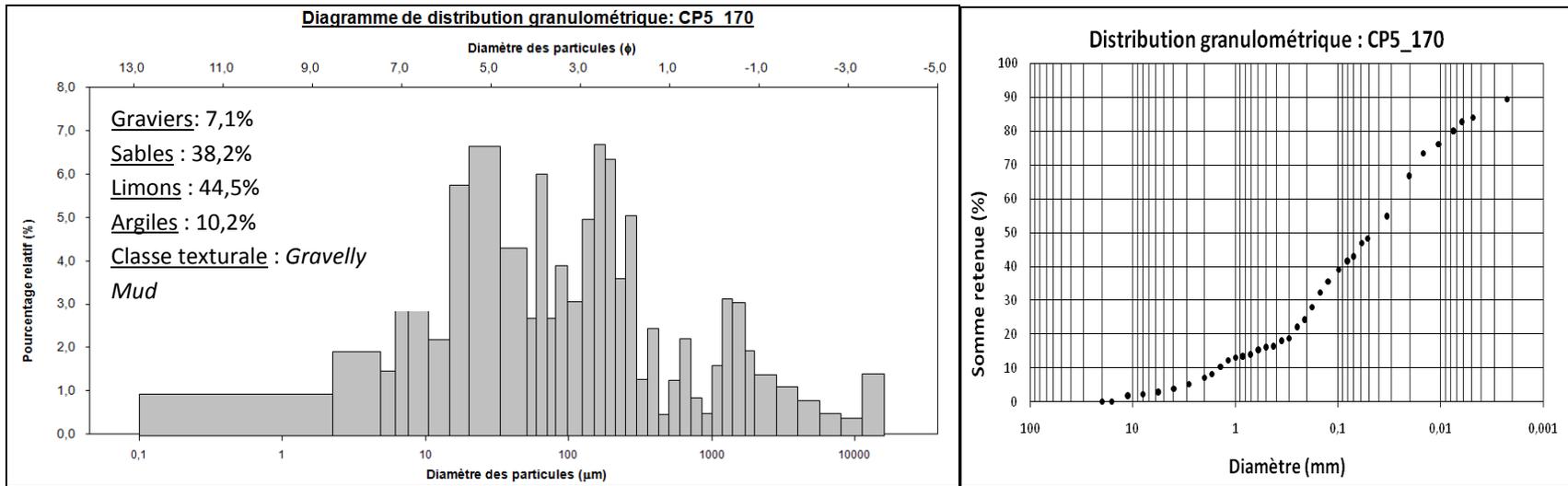


Figure 50 : Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 1 (Unité 3, exemple provenant de l'échantillon CP5\_170).

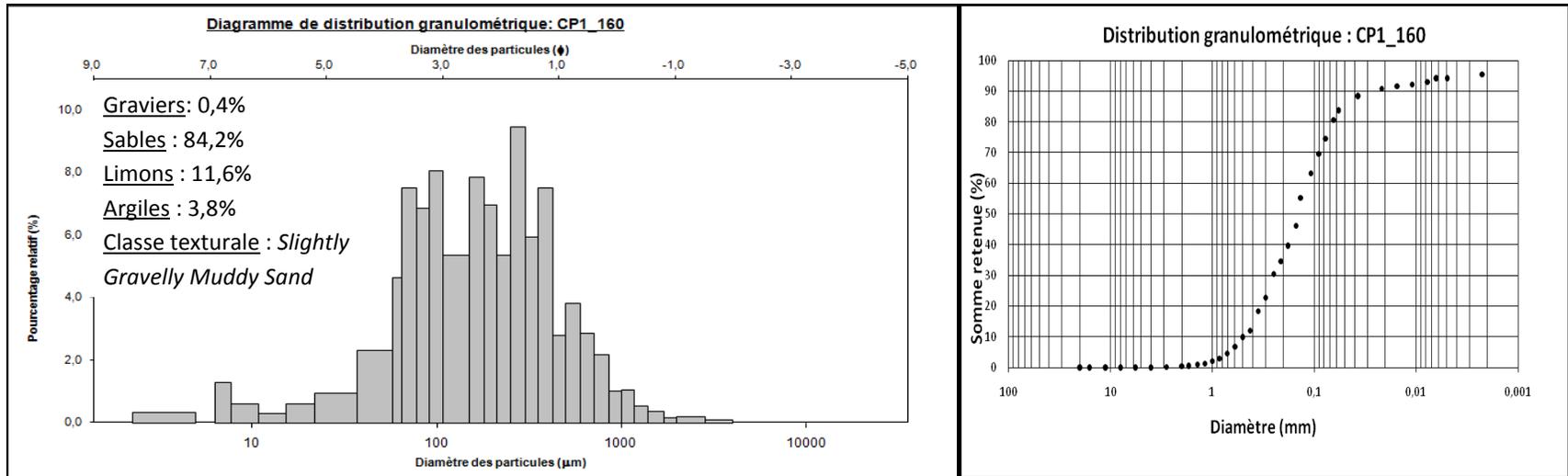


Figure 51 : Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 2 (Unité 3, exemple provenant de l'échantillon CP1\_160).

Tableau X :

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS PROVENANT DE L'UNITÉ 3

Coupe	Prof (cm)	X (UTM 17N)	Y (UTM 17N)	moyenne	médiane	Mode	Asymétrie	écart-type	% graviers (> 2 mm)	% sables (>63 µm)	% limons (> 2 µm)	% argiles (< 2 µm)	Courant estimé (cm/s)	Type
glac1	N/A	533396	8125113	215,2	28,05	87,5	0,20	455,6	0,00%	40,50%	43,80%	15,70%	0- 50	1
glac2	N/A	532995	8124996	269,7	126,5	165,0	0,06	503,3	0,00%	59,60%	35,40%	4,70%	0 - 25	1
1	65	532993	8124985	622,4	163,8	92,6	-0,22	899,8	6,60%	64,80%	26,40%	2,20%	0,2 – 60	1
1	85	532993	8124985	571,3	137,5	104,3	-0,17	769,1	6,80%	53,70%	32,60%	6,90%	0 - 50	1
1	120	532993	8124985	1632,6	234,6	231,0	0,11	3392,7	18,60%	49,70%	36,80%	4,90%	0,5 - 130	2
1	160	532993	8124985	217,7	143,6	275,0	-0,11	268,7	0,40%	84,20%	11,60%	3,80%	0,5 - 120	2
4	105	533260	8125063	742,9	254,1	327,0	-0,04	1794,4	6,50%	74,20%	15,70%	3,60%	0 - 50	1
4	110	533260	8125063	428,7	76,26	102,5	0,09	719,1	3,70%	47,60%	38,40%	10,30%	0,2 - 80	1
5	165	533353	8125121	424,7	119	85,7	0,08	611,6	0,00%	53,50%	35,50%	11,00%	0-50	1
5	170	533353	8125121	646,5	44,8	26,8	0,18	2083,9	7,10%	38,20%	44,50%	10,20%	0,15-50	1
<b>moyenne</b>				577,8	132,8	149,7	0,02	1149,8	4,97%	56,60%	32,07%	7,33%		
<b>écart-type</b>				414,2	73,8	97,0	0,15	981,6	5,73%	14,50%	11,10%	4,30%		
<b>minimum</b>				215,2	28,05	26,8	-0,22	268,7	0,00%	38,20%	11,60%	2,20%		
<b>maximum</b>				1632,6	254,1	327,0	0,20	3392,7	18,60%	84,20%	44,50%	15,70%		

## Unité 7

Les diagrammes de distribution granulométrique de l'unité 7 sont très semblables d'un échantillon à l'autre (voir figures 52 et 53, ainsi que le tableau XI). Cette distribution suit dans tous les cas une courbe quasi-normale centrée autour de 250  $\mu\text{m}$ . Les échantillons analysés provenant de cette unité sont essentiellement composés de particules sableuses (entre 61,5% et 80,7%). La fraction restante est généralement de la taille du limons et des argiles plutôt que des graviers (20,4% contre 6,8% en moyenne) et peut atteindre jusqu'à 31,9% dans le cas de l'échantillon CP5\_115.

Dans certains cas, l'absence d'une partie de la fraction plus petite que 100  $\mu\text{m}$  peut être observée (type 2, voir figure 53). Ce phénomène peut entre autres être observé pour tous les échantillons analysés des coupes 3 et 5. En contre partie, seulement un échantillon de la coupe 4 voit sa portion de particules fines tronquée. Cette différence de distribution granulométrique ne se traduit cependant pas beaucoup en termes de pourcentage de graviers, sables, limons et argiles. Conséquemment à l'uniformité relative des paramètres granulométriques au sein de cette unité, les courants estimés à l'aide de la méthode de Visher (1969) sont tous semblables, à l'exception des échantillons CP3\_15 et CP3\_65, où ces valeurs sont légèrement plus élevées. Aucune corrélation claire ne peut ainsi être faite entre la granulométrie des échantillons analysés et leur profondeur au niveau d'une coupe donnée.

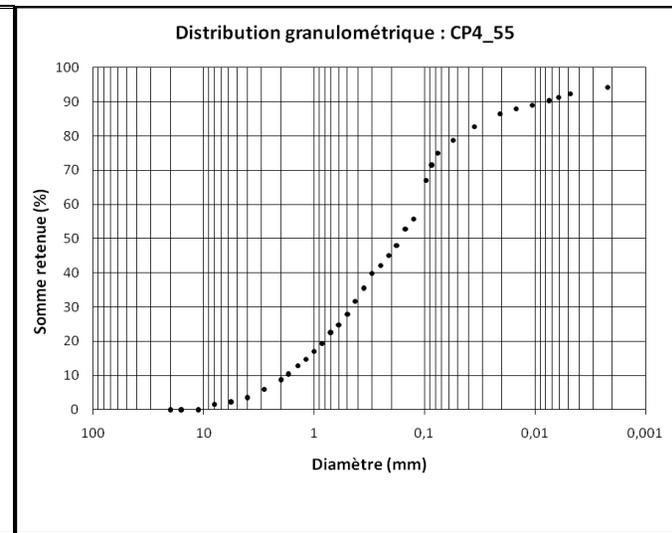
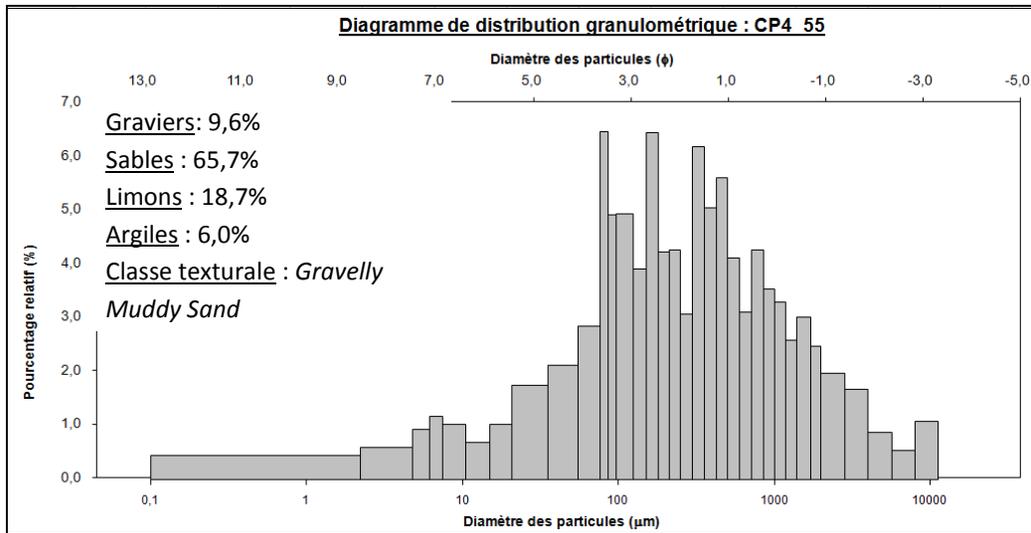


Figure 52 : Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 1 (Unité 7, exemple provenant de l'échantillon CP4\_55).

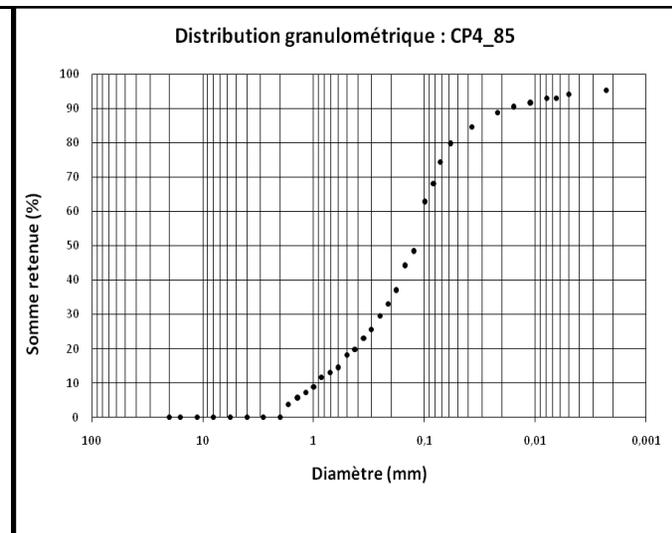
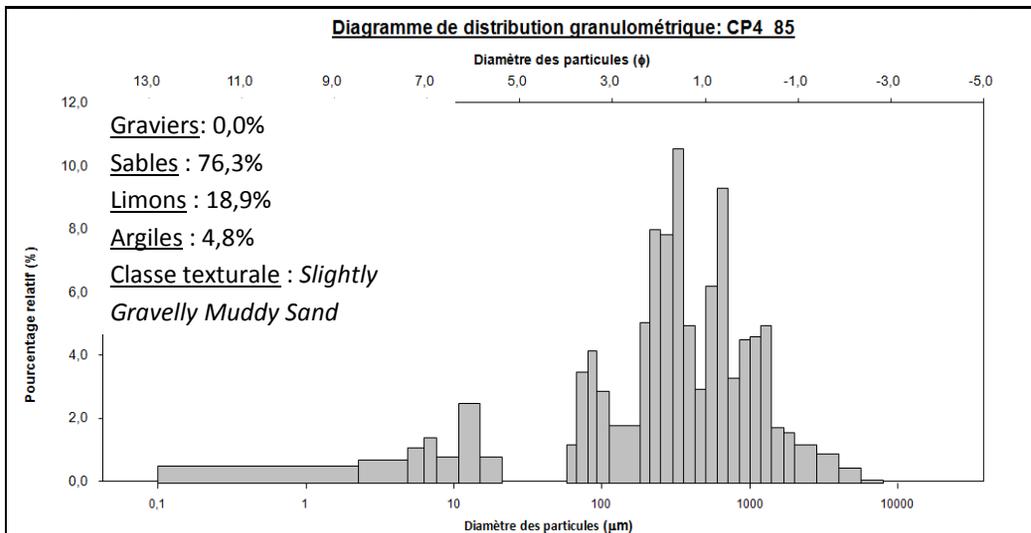


Figure 53 : Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 3 (Unité 7, exemple provenant de l'échantillon CP4\_85).

Tableau XI :

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS PROVENANT DE L'UNITÉ 7

Coupe	Prof (cm)	X (UTM 17N)	Y (UTM 17N)	moyenne	médiane	Mode	Asymétrie	écart-type	% graviers (> 2 mm)	% sables (>63 µm)	% limons (> 2 µm)	% argiles (< 2 µm)	Courant estimé (cm/s)	Type
3	15	533198	8125103	535	234,9	288,0	-0,29	767,2	4,50%	75,00%	12,80%	7,70%	0,7 - 90	2
3	40	533198	8125103	974,6	323,1	317,5	-0,24	1707,1	12,80%	68,10%	14,70%	4,40%	0,65 - 50	2
3	60	533198	8125103	228,3	142,6	98,5	-0,11	309,8	0,60%	78,80%	14,90%	5,70%	0,45 - 38	2
3	65	533198	8125103	1278,4	296,5	327,0	-0,31	2215,7	18,10%	61,50%	13,60%	6,70%	0,5 - 100	2
4	15	533260	8125063	542,5	253	165,0	-0,01	866,8	5,50%	75,80%	11,80%	6,90%	0,7 - 50	1
4	20	533260	8125063	652,6	184,6	105,6	0,14	1365,7	7,60%	72,50%	15,60%	4,40%	0,55 - 50	1
4	30	533260	8125063	271,9	125,4	132,8	-0,14	344,9	0,00%	80,70%	13,30%	6,00%	0,65 - 40	2
4	55	533260	8125063	762,8	202,4	81,3	-0,05	1555,9	9,60%	65,70%	18,70%	6,00%	0,45 - 35	1
4	60	533260	8125063	902,4	340,2	389,5	-0,18	1919,6	8,80%	70,10%	15,80%	5,40%	0,55 - 50	2
4	75	533260	8125063	742,9	254,1	274,3	-0,26	1794,4	6,80%	77,10%	12,40%	3,70%	0,7 - 35	2
4	85	533260	8125063	322,5	132,7	102,5	-0,19	455,2	0,00%	76,30%	18,90%	4,80%	0,55 - 38	2
5	90	533353	8125121	480,6	165,6	162,5	-0,13	1008,6	4,80%	68,50%	21,00%	5,70%	0,3 - 45	2
5	115	533353	8125121	395,9	99,92	85,7	-0,10	609,2	3,90%	64,20%	22,60%	9,30%	0,6 - 50	2
fgg4	N/A	533310	8125112	1027,6	287	275,0	0,08	2171,6	12,60%	73,10%	10,40%	4,00%	0,4 - 45	1
fgm5	N/A	533414	8125158	571,5	202,4	275,0	-0,12	1417	5,70%	70,10%	18,10%	6,10%	0,4 - 50	1
<b>moyenne</b>				646	216,3	205,3	-0,13	1233,9	6,80%	71,83%	15,60%	5,80%		
<b>écart-type</b>				302,4	75,4	104,5	0,13	657,4	5,10%	5,58%	3,50%	1,50%		
<b>minimum</b>				228,3	99,92	81,3	-0,31	309,8	0,00%	61,50%	10,40%	3,70%		
<b>maximum</b>				1278,4	340,2	389,5	0,14	2215,7	18,10%	80,70%	22,60%	9,30%		

## Unité 8

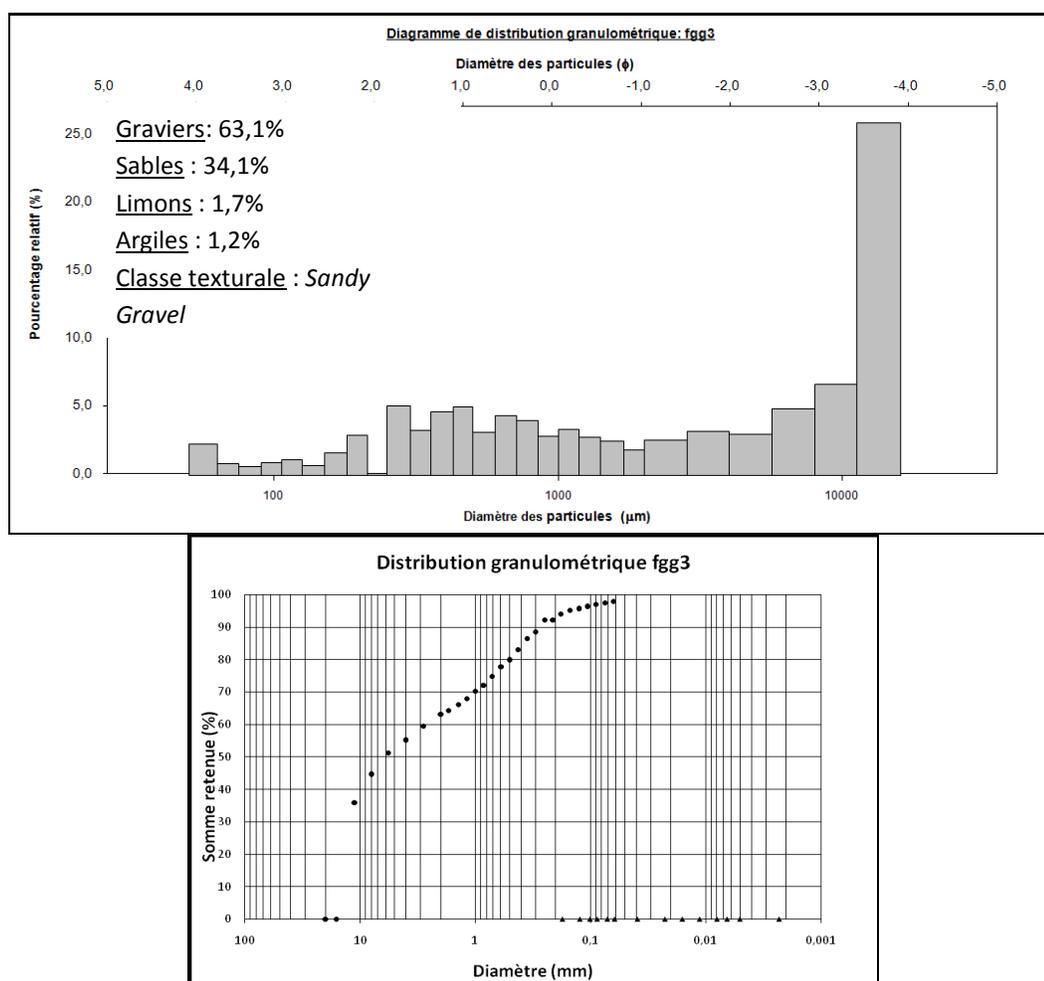
Les diagrammes de distribution granulométrique de l'unité 8 se répartissent en trois principaux types, lesquels sont représentés aux figures 54 à 56 ainsi qu'au tableau XII.

Le premier de ces types contient des échantillons contenant essentiellement des grains de la taille des graviers (entre 46,5% et 65,7%). Le diagramme de distribution (figure 54) illustre la faible teneur de ces échantillons en particules fines et l'absence de triage du matériel fin. Conséquemment, la moyenne, le mode et la médiane granulométrique de ces échantillons est très élevée, ce qui se traduit en des courants estimés similaires à ceux des échantillons provenant de l'unité 2 (jusqu'à 200 cm/s).

Le second type, de son côté, contient un pourcentage élevé de particules de la taille des sables (entre 60,7% et 64,3%) en plus de contenir plus de 30,0% de particules de la taille des graviers. On observe également un certain triage du matériel autour de 250  $\mu\text{m}$ . Cette observation se traduit par une moyenne, un mode et une médiane granulométrique significativement plus basses que pour les échantillons du premier type, mais tout de même beaucoup plus élevées que pour les unités 3 et 7 décrites précédemment (1281,3  $\mu\text{m}$ , 575  $\mu\text{m}$  et 646,0  $\mu\text{m}$  respectivement). Ce type de distribution est toutefois représenté par seulement deux échantillons (*fgg5* et *fgg6*).

Le troisième type de distribution granulométrique observé au sein de cette unité est essentiellement constitué de particules de la taille des sables (entre 66,0% et 93,6%), trié autour de 250  $\mu\text{m}$ . Il est également similaire aux distributions observées plus loin pour l'unité 9, quoique constitué de matériel plus grossier. On y note également l'absence d'un pic de particules de la taille des graviers dans les diagrammes de distribution. Conséquemment, les moyennes, les modes et les médianes granulométriques des échantillons de ce type sont significativement plus basses que pour les deux premiers types de distribution observés au sein de l'unité 8 (environ 1500  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$  et 500  $\mu\text{m}$  respectivement), ce qui se traduit en des courants estimés plus faibles.

La différenciation entre ces types de distribution n'est toutefois pas fonction de leur répartition géographique. Ainsi, on ne remarque aucune tendance particulière dans la granulométrie des échantillons, tant sur un transect est-ouest que nord-sud. Somme toute, les échantillons appartenant à cette unité sont relativement différents. On observe cependant une présence plus ou moins grande de particules grossières de la taille des graviers et un triage plus ou moins important autour de 250  $\mu\text{m}$ . De ce point de vue, le deuxième type de distribution granulométrique semble être une transition entre les types 1 et 3.



**Figure 54:** Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 1 (Unité 8, exemple provenant de l'échantillon fgg3).

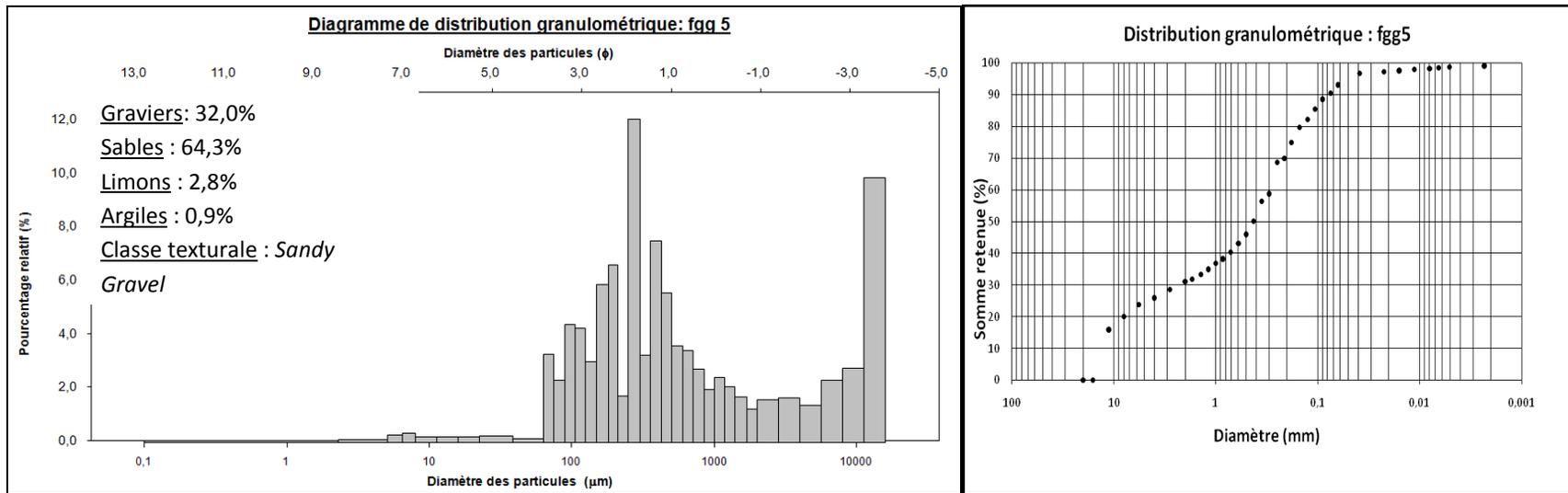


Figure 55: Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 2 (Unité 8, exemple provenant de l'échantillon fgg5).

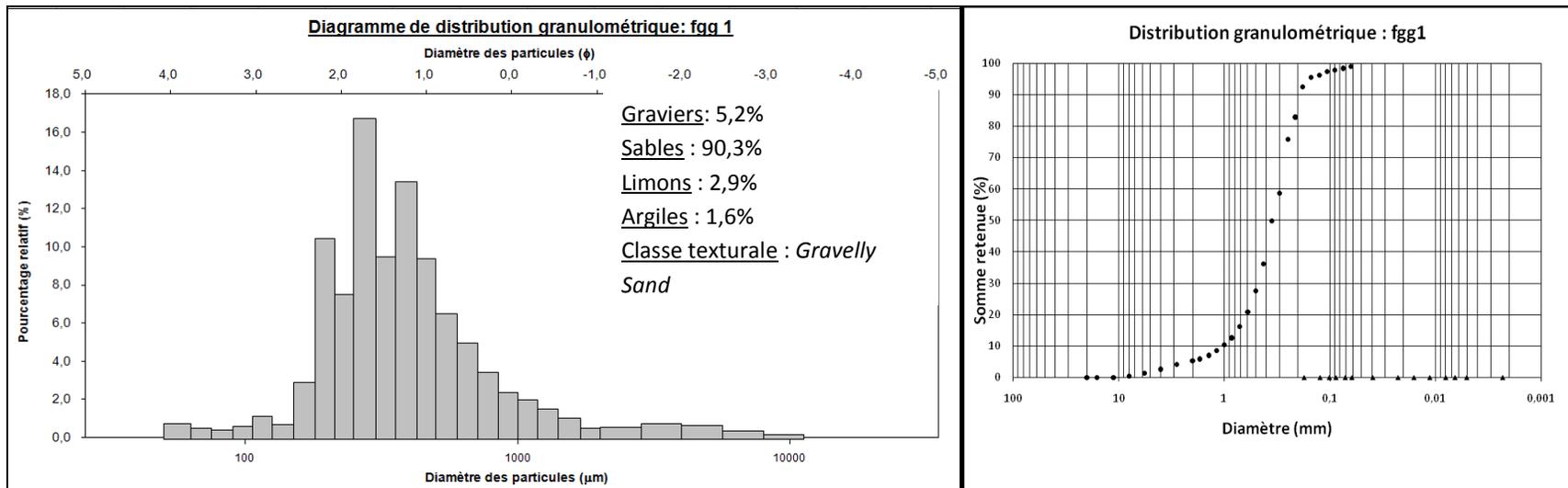


Figure 56: Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant au type 3 (Unité 8, exemple provenant de l'échantillon fgg1).

**Tableau XII :**  
PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS PROVENANT DE L'UNITÉ 8

Coupe	Prof (cm)	X (UTM 17N)	Y (UTM 17N)	moyenne	médiane	Mode	Asymétrie	écart-type	% graviers (> 2 mm)	% sables (>63 µm)	% limons (> 2 µm)	% argiles (< 2 µm)	Courant estimé (cm/s)	Type
fgg8	N/A	533141	8125305	1998,8	538,8	275,0	0,21	658,1	24,20%	71,00%	3,40%	1,40%	0,7 - 80	3
fgg7	N/A	533159	8124990	5792,5	5791	275,0	-0,86	6392,5	65,70%	29,10%	4,00%	1,20%	N/D*	1
fgg6	N/A	533268	8125093	3572,3	1102,1	780,0	0,34	4594,8	37,80%	60,30%	1,10%	0,80%	2 - 130	2
fgm2	N/A	533284	8125128	823,1	285,3	275,0	0,29	1568,1	10,10%	82,60%	5,30%	2,10%	1,25 - 50	3
fgg5	N/A	533286	8125125	3441,8	455,7	389,5	0,38	5057,9	32,00%	64,30%	2,80%	0,90%	0,5 - 130	2
fgg9	N/A	533331	8125442	4349,2	1481,2	1650,0	-0,53	5115,9	46,50%	48,10%	3,90%	1,60%	N/D*	1
fgg10	N/A	533355	8125496	2196	1133,9	180,0	0,06	2681,8	33,40%	64,80%	1,10%	0,70%	2 - 120	3
fgg3	N/A	533388	8125129	6827,2	6049	13600,0	-0,58	5736,2	63,10%	34,10%	1,70%	1,20%	N/D*	1
fgg2	N/A	533483	8125075	1586,7	523,5	196,0	0,19	523,9	23,70%	68,40%	5,60%	2,30%	1,5 - 100	3
fgg1	N/A	533527	8125003	642,7	353,3	190,7	0,26	1094,3	5,20%	90,30%	2,90%	1,60%	1,5 - 40	3
<b>moyenne</b>				3123	1771,4	1692,6	0,12	3342,4	34,20%	61,30%	3,20%	1,40%		
<b>écart-type</b>				2070,4	2221,6	4190	0,29	2272,5	20,10%	19,50%	1,60%	0,50%		
<b>minimum</b>				642,7	285,3	165,0	-0,86	523,9	5,20%	29,10%	1,10%	0,70%		
<b>maximum</b>				6827,2	6049	13600,0	0,38	6392,5	65,70%	90,30%	5,60%	2,30%		

\* La nature de cette unité étant définie dans la discussion comme étant glaciaire (till et *ice contact drift*) et la méthode de Visher pour l'estimation des courants étant applicable seulement pour les milieux où l'influence de l'eau est prédominante, aucun courant n'a pu être estimé pour ces échantillons.

Unité 9

Les diagrammes de distribution granulométrique de l'unité 9 sont très semblables d'un échantillon à l'autre (voir figure 57 et tableau XIII). En effet, le matériel provenant de cette unité est relativement bien trié autour de 200  $\mu\text{m}$ . Les échantillons analysés provenant de cette unité sont essentiellement composés de particules de la taille des sables (jusqu'à 77,2% et 96,8%). La fraction restante est uniquement composée de limons et d'argiles et peut donc atteindre jusqu'à 22,8% dans le cas de l'échantillon CP6\_170. Les valeurs de moyennes, de modes et de médianes granulométriques de ces échantillons sont quant à elles semblables d'un échantillon à l'autre et oscillent respectivement autour de 197,1 $\mu\text{m}$ , 204,1  $\mu\text{m}$  et 166,4  $\mu\text{m}$ , ce qui se traduit en des courants estimés tout aussi semblables. Compte tenu de l'uniformité des échantillons, on ne remarque aucune tendance particulière dans la granulométrie des échantillons, tant sur un transect est-ouest que nord-sud.

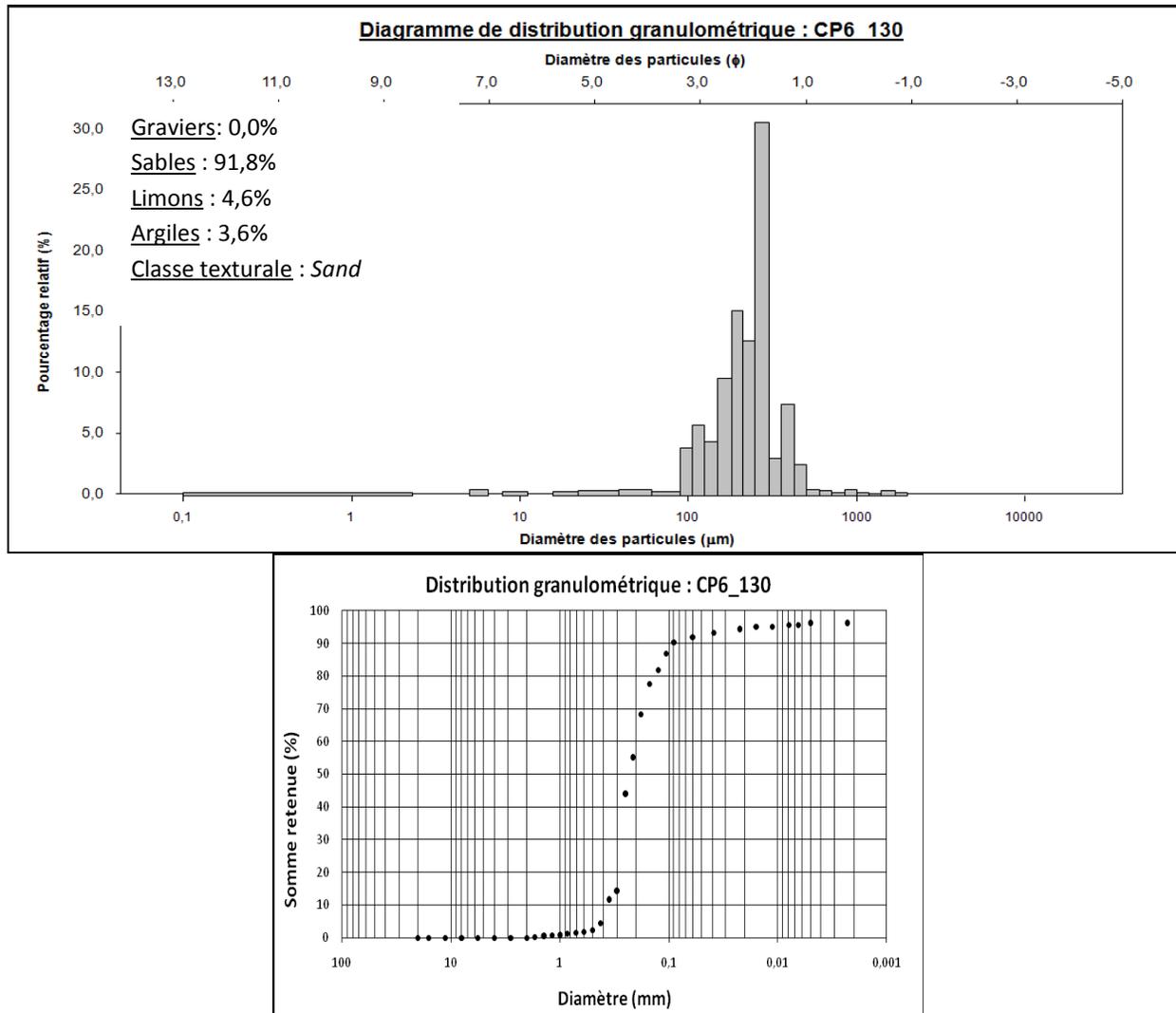


Figure 57: Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant à l'unité 9 (Unité 9, exemple provenant de l'échantillon CP6\_130).

**Tableau XIII :**  
PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS PROVENANT DE L'UNITÉ 9

Id	Prof (cm)	X (UTM 17N)	Y (UTM 17N)	moyenne	médiane	Mode	Asymétrie	écart-type	% graviers (> 2 mm)	% sables (>63 µm)	% limons (> 2 µm)	% argiles (< 2 µm)	Courant estimé (cm/s)
fgm1	N/A	533344	8125211	224,5	204,1	196,0	-0,04	127,1	0,00%	94,80%	3,60%	1,60%	0,7 - 25
fgf2	N/A	533273	8125094	224,2	200,4	275,0	-0,11	132,5	0,00%	95,30%	2,80%	1,90%	0,7 - 25
fgm3	N/A	533556	8124873	156,8	109,4	98,0	0,08	224	0,00%	80,20%	10,90%	8,9%	0,5 - 20
fgm4	N/A	533456	8125127	232	192,9	196,0	0,11	216,5	0,00%	87,60%	8,20%	4,20%	0,7 - 25
fgm7	N/A	533289	8125129	217,1	138,7	225,0	0,04	304,3	0,00%	88,70%	4,60%	6,70%	0,4 - 25
6	130	533456	8125127	237,2	230,6	275,0	0,06	167,3	0,00%	91,80%	4,60%	3,60%	0,6 - 25
6	170	533456	8125127	138,5	125,7	165,0	-0,12	169,9	0,00%	77,20%	18,00%	4,80%	0,5 - 22
6	310	533456	8125127	146,4	129,5	63,0	-0,04	117,7	0,00%	88,60%	9,80%	1,60%	0,7 - 25
<b>moyenne</b>				197,1	166,4	186,6	-0,02	182,4	0,00%	88,40%	7,90%	4,20%	
<b>écart-type</b>				42	45,4	76,4	0,06	63,1	0,00%	6,90%	5,00%	1,90%	
<b>minimum</b>				138,5	109,4	63,0	-0,12	117,7	0,00%	77,20%	3,60%	1,60%	
<b>maximum</b>				237,2	230,6	275,0	0,11	304,3	0,00%	95,30%	18,00%	6,70%	

## Unité 10

Les diagrammes de distribution granulométrique de l'unité 10 sont très semblables d'un échantillon à l'autre (voir figure 58 et tableau XIV). Ainsi, le matériel provenant de cette unité est relativement bien trié autour de 100  $\mu\text{m}$ . Les échantillons analysés provenant de cette unité sont essentiellement composés de particules de la taille des sables (entre 54,0% et 63,8%) et de limons (entre 27,5% et 40,2%). Les valeurs de moyennes et de médianes granulométriques de ces échantillons sont quant à elles semblables d'un échantillon à l'autre et oscillent respectivement autour de 101,9  $\mu\text{m}$ , 64,7  $\mu\text{m}$  et 72,1  $\mu\text{m}$ , ce qui en fait l'unité contenant les échantillons à la granulométrie moyenne la plus fine recueillie dans le cadre de cette étude. Ainsi, les données recueillies et l'uniformité des paramètres granulométriques ne permettent pas de conclure à un patron spatial de variations granulométriques.

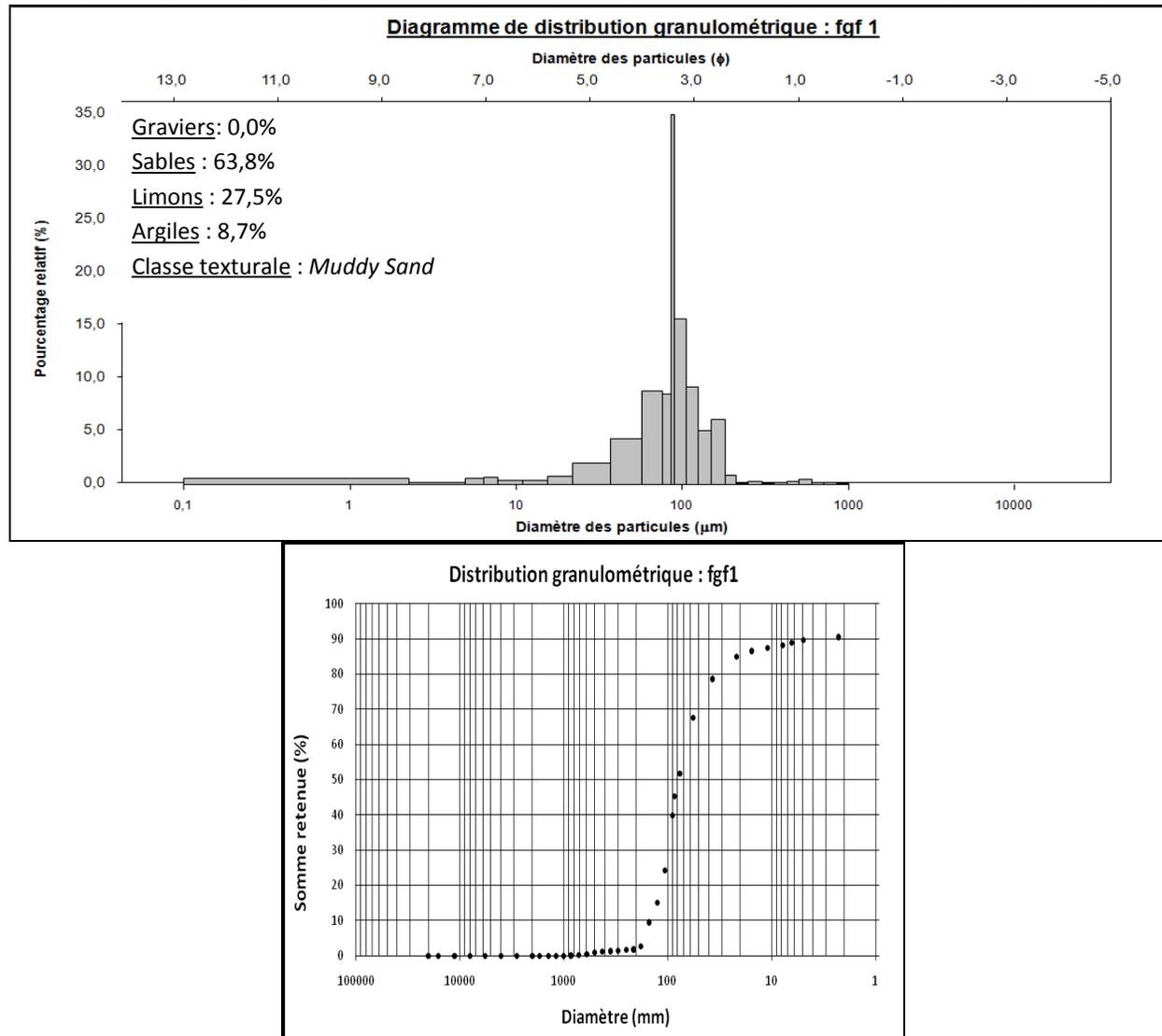


Figure 58: Exemple de distribution granulométrique des échantillons appartenant à l'unité 10 (Unité 10, exemple provenant de l'échantillon fgf1).

**Tableau XIV:**

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS PROVENANT DE L'UNITÉ 10

Coupe	Prof (cm)	X (UTM 17N)	Y (UTM 17N)	moyenne	médiane	Mode	Asymétrie	écart-type	% graviers (> 2 mm)	% sables (> 63 µm)	% limons (> 2 µm)	% argiles (< 2 µm)	Courant estimé (cm/s)
fgf1	N/A	533561	8124929	83,6	81,8	88,1	-0,21	73	0,00%	63,80%	27,50%	8,70%	0,3 - 20
5	30	533353	8125121	134,6	70,6	63,0	-0,14	248,3	0,00%	56,30%	35,60%	8,10%	0,6 - 22
6	75	533456	8125127	97,6	66,2	59,6	0,08	133,5	0,00%	54,00%	40,20%	5,80%	0,55 - 20
6	95	533456	8125127	101,4	74,1	60,4	0,06	126,2	0,00%	62,40%	33,30%	4,30%	0,65-20
6	210	533456	8125127	92,5	67,8	61,8	-0,04	127,9	0,00%	54,10%	39,20%	6,70%	0,65 - 20
<b>moyenne</b>				101,9	72,1	66,6	-0,06	141,8	0,00%	58,10%	35,20%	6,70%	
<b>écart-type</b>				19,4	6,2	12,1	0,07	64,4	0,00%	4,70%	5,10%	1,80%	
<b>minimum</b>				83,6	66,2	59,6	-0,21	73	0,00%	54,00%	27,50%	4,30%	
<b>maximum</b>				134,6	81,8	88,1	0,08	248,3	0,00%	63,80%	40,20%	8,70%	

### **Synthèse des analyses granulométriques**

Les courbes cumulatives et itérations obtenues ont permis de distinguer 6 types de courbes granulométriques distincts, lesquels tiennent également compte du diamètre moyen et médian des particules. Les figures 59 à 64 illustrent la variabilité obtenue et les statistiques générales correspondant à chacun de ces types. Il est intéressant de constater que les unités définies sur le terrain se démarquent bien les unes des autres grâce aux courbes granulométriques cumulatives et leurs granulométries moyennes et médianes (voir tableau XV).

On observe ainsi que l'unité 2 contient les particules les plus grossières en moyenne ainsi que les courbes cumulatives les plus variables d'un échantillon à l'autre. Les unités 3 et 8 ont également un contenu granulométrique variable, dans une moindre mesure. Inversement, les échantillons de l'unité 10 sont ceux contenant les particules les plus fines (autour de 100  $\mu\text{m}$ ). La courbe enveloppe (forme grise, figure 64) de cette unité est également très restreinte, signifiant une très faible variabilité inter-échantillons. Il en est de même pour les unités 7 et 9.

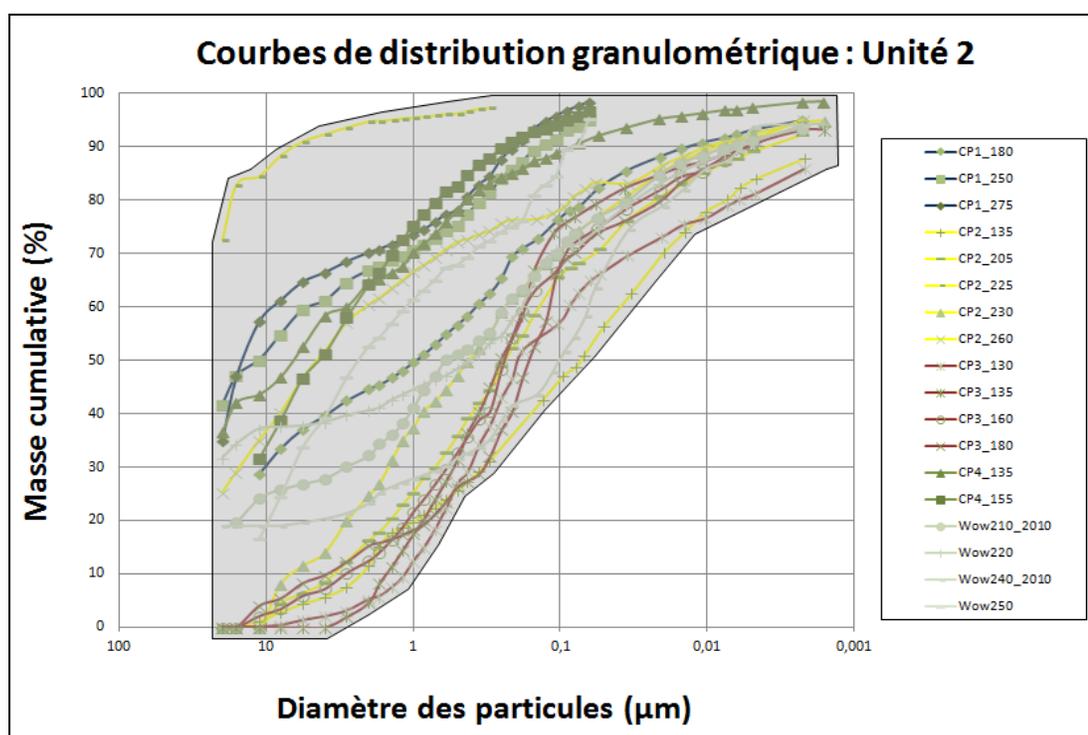


Figure 59 : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 2.

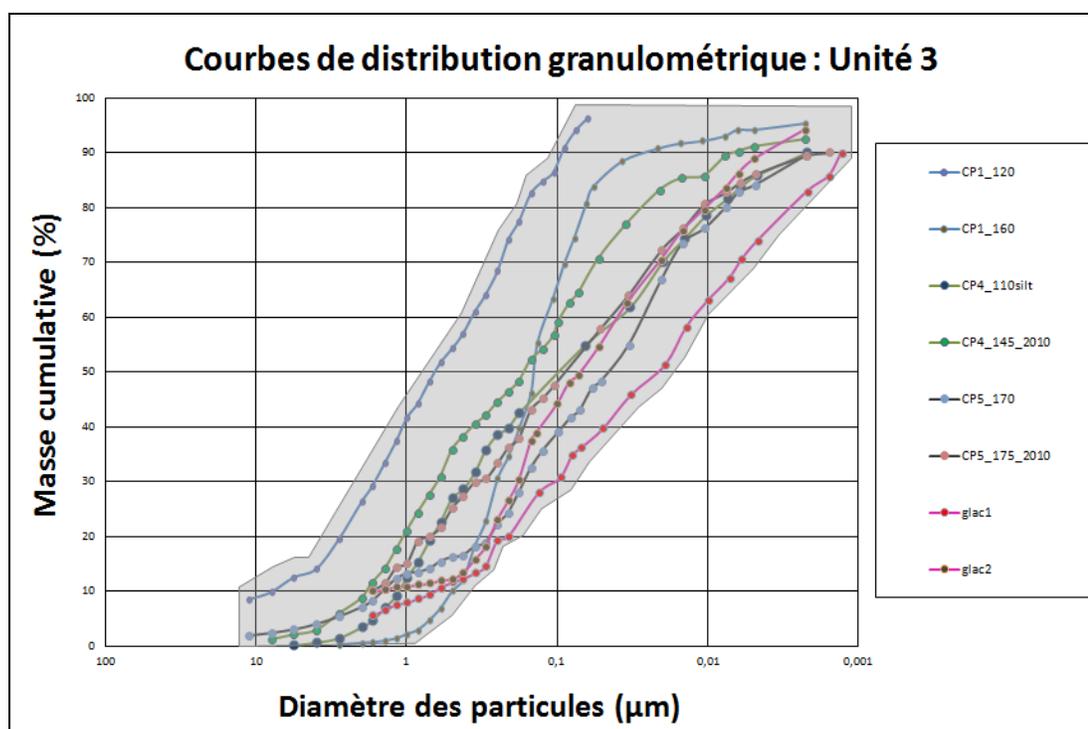


Figure 60 : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 3.

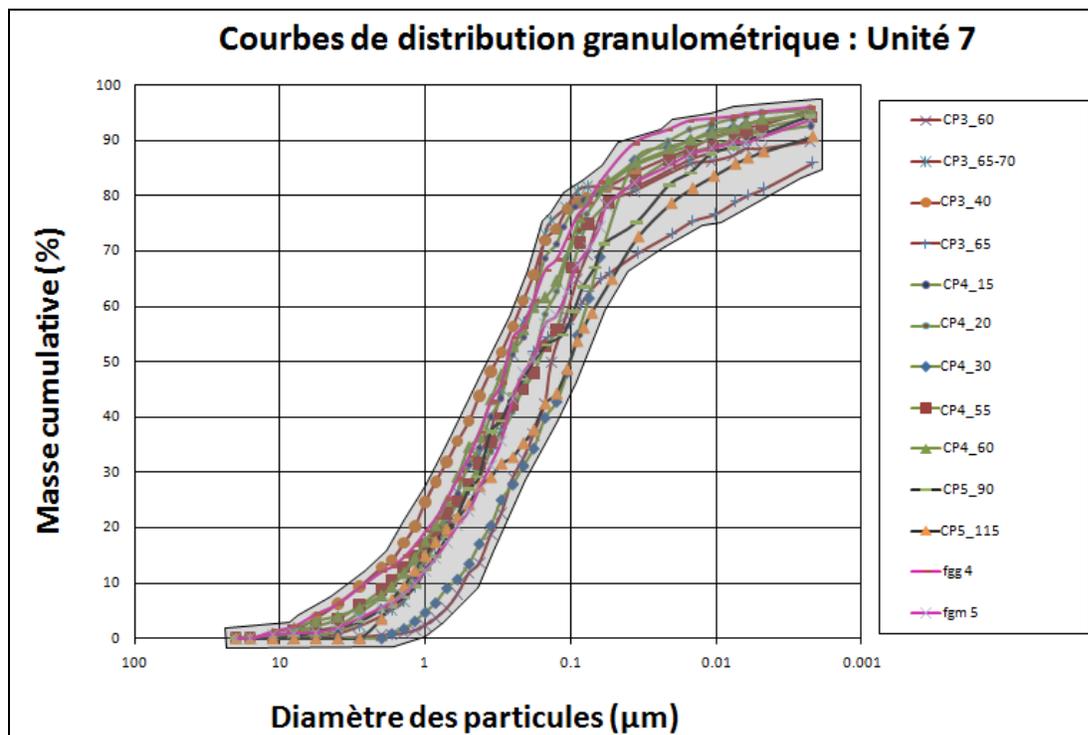


Figure 61 : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 7.

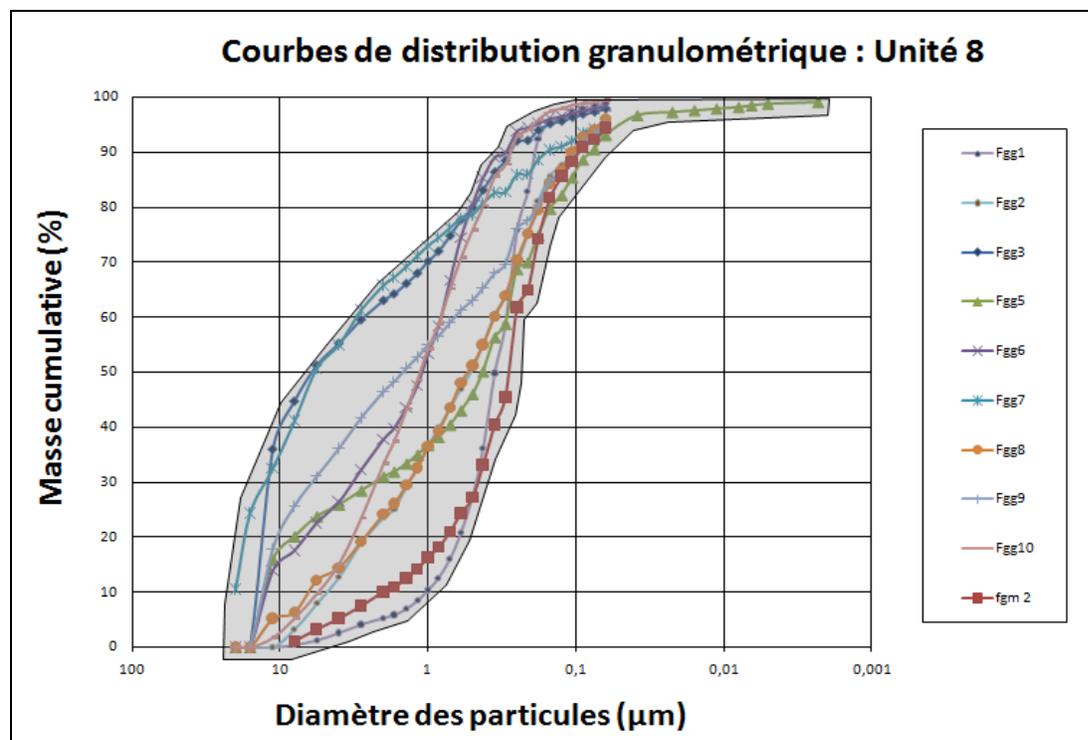


Figure 62 : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 8.

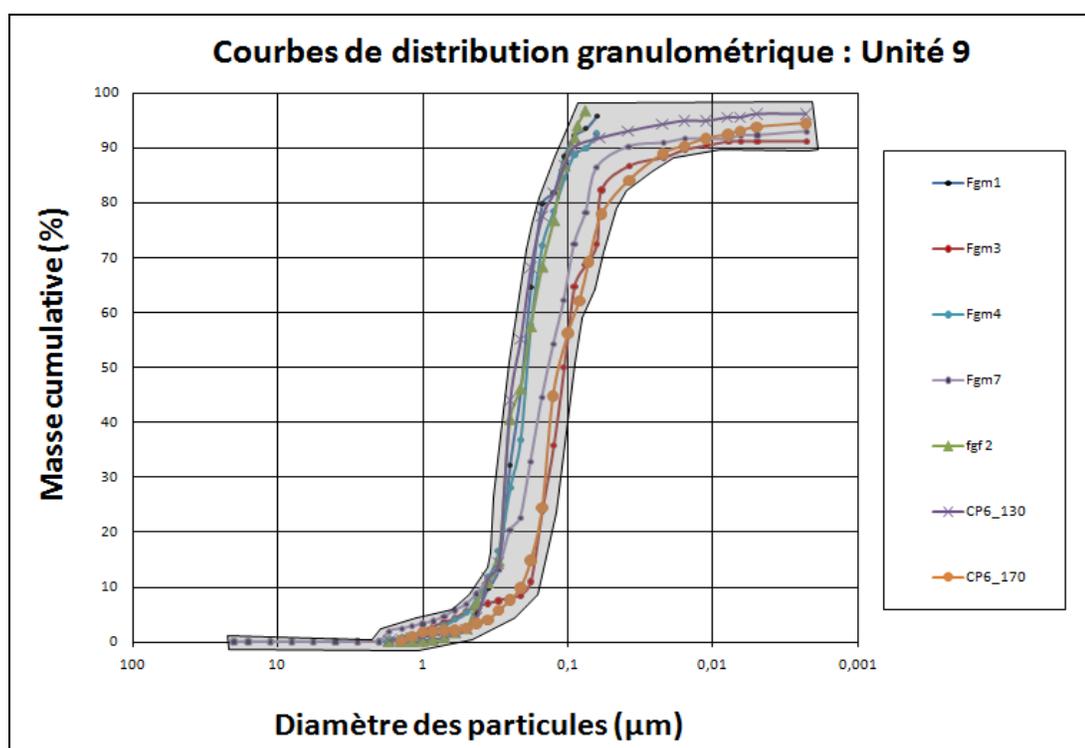


Figure 63 : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 9.

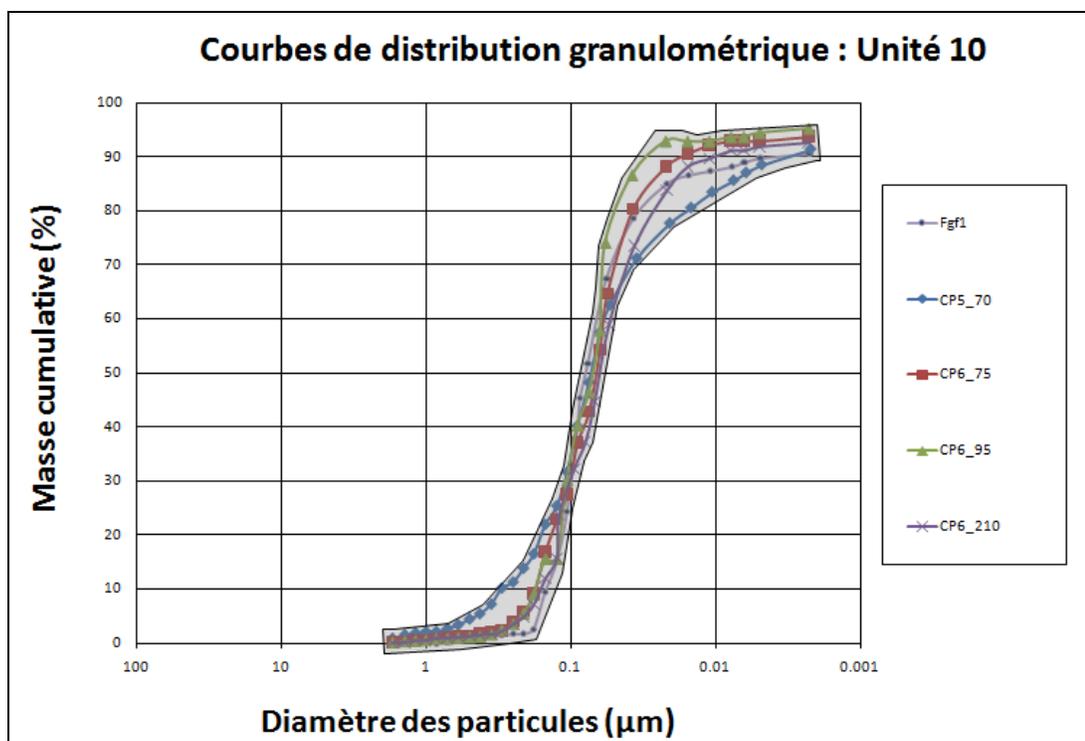


Figure 64 : Distribution granulométrique des échantillons identifiés comme appartenant à l'unité 10.

**Tableau XV :**  
 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS ET CLASSES  
 GRANULOMÉTRIQUES CORRESPONDANTES

Unité	Taille moyenne des grains (µm)	Taille médiane des grains (µm)	Classe de texture selon <i>Gradistat v.7.0</i> (Blott et Pye, 2001)
2	2434,7	3048,6	<i>Muddy Sandy Gravel - Gravel</i>
3	577,8	132,8	<i>Mud – Muddy Sandy Gravel</i>
7	646,0	216,3	<i>Mud Sand – Gravelly Muddy Sand</i>
8	3123,0	1771,4	<i>Mudy Sand – Sand</i>
9	197,1	166,4	<i>Muddy Sand – Sandy Gravel</i>
10	101,9	72,1	<i>Muddy Sand</i>

Les distinctions granulométriques entre les unités définies précédemment sont également visibles sur les triangles de distribution granulométriques. On remarque ainsi des groupements distincts correspondant à leur contenu en particules grossières pour chaque unité stratigraphique, particulièrement dans le cas des unités 7 à 11 (voir figure 65). En effet, mis à part les échantillons provenant des unités 2 et 3, facilement reconnaissables visuellement sur le terrain, le chevauchement statistique entre les unités est très limité. On observe le même phénomène pour ce qui est des distinctions inter-unités et de leur contenu en particules fines. On observe également la prédominance des sables et des limons pour tous les échantillons, au détriment des argiles.

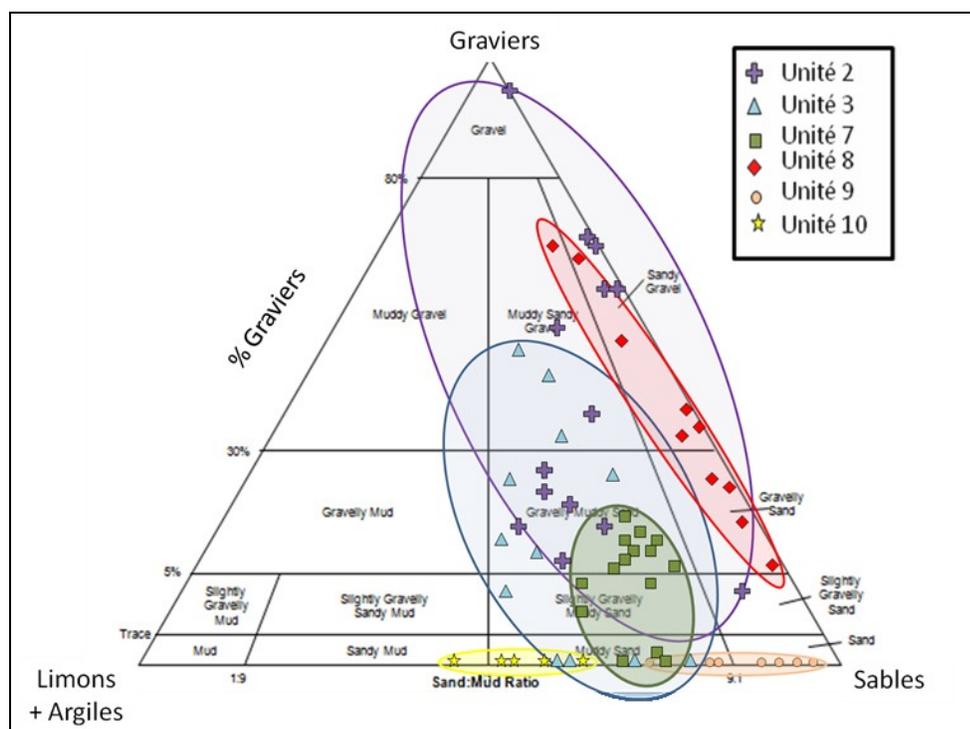


Figure 65 : Teneur granulométrique en matière grossière (graviers, sables, limons + argiles).

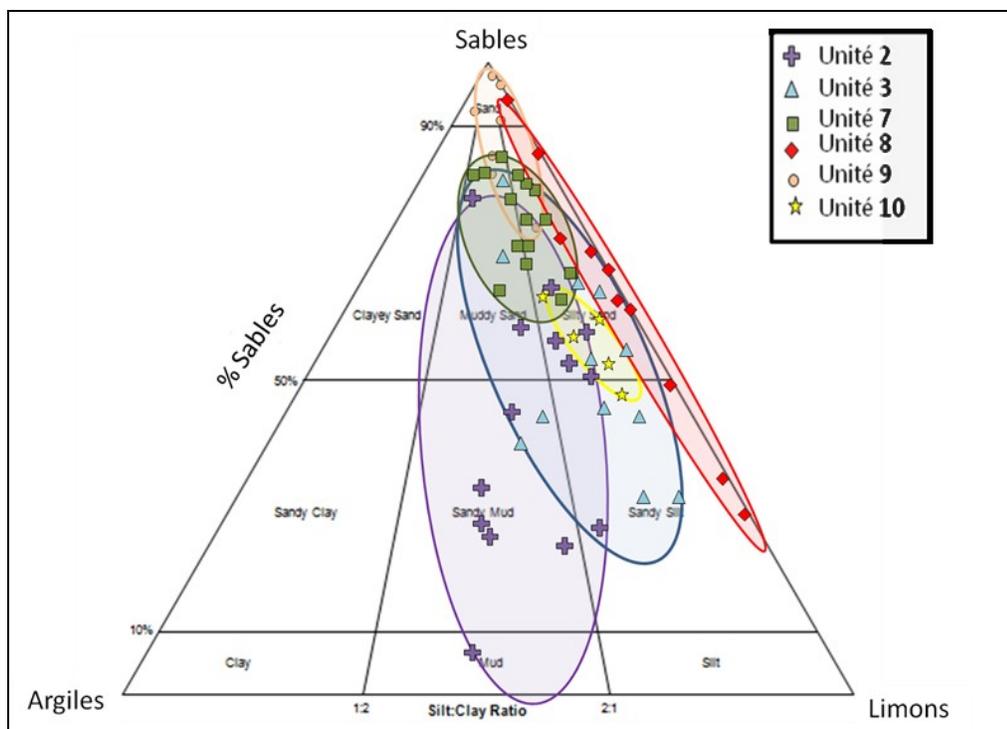


Figure 66 : Teneur granulométrique en matière fine (sables, limons, argiles) des échantillons analysés dans cette étude.

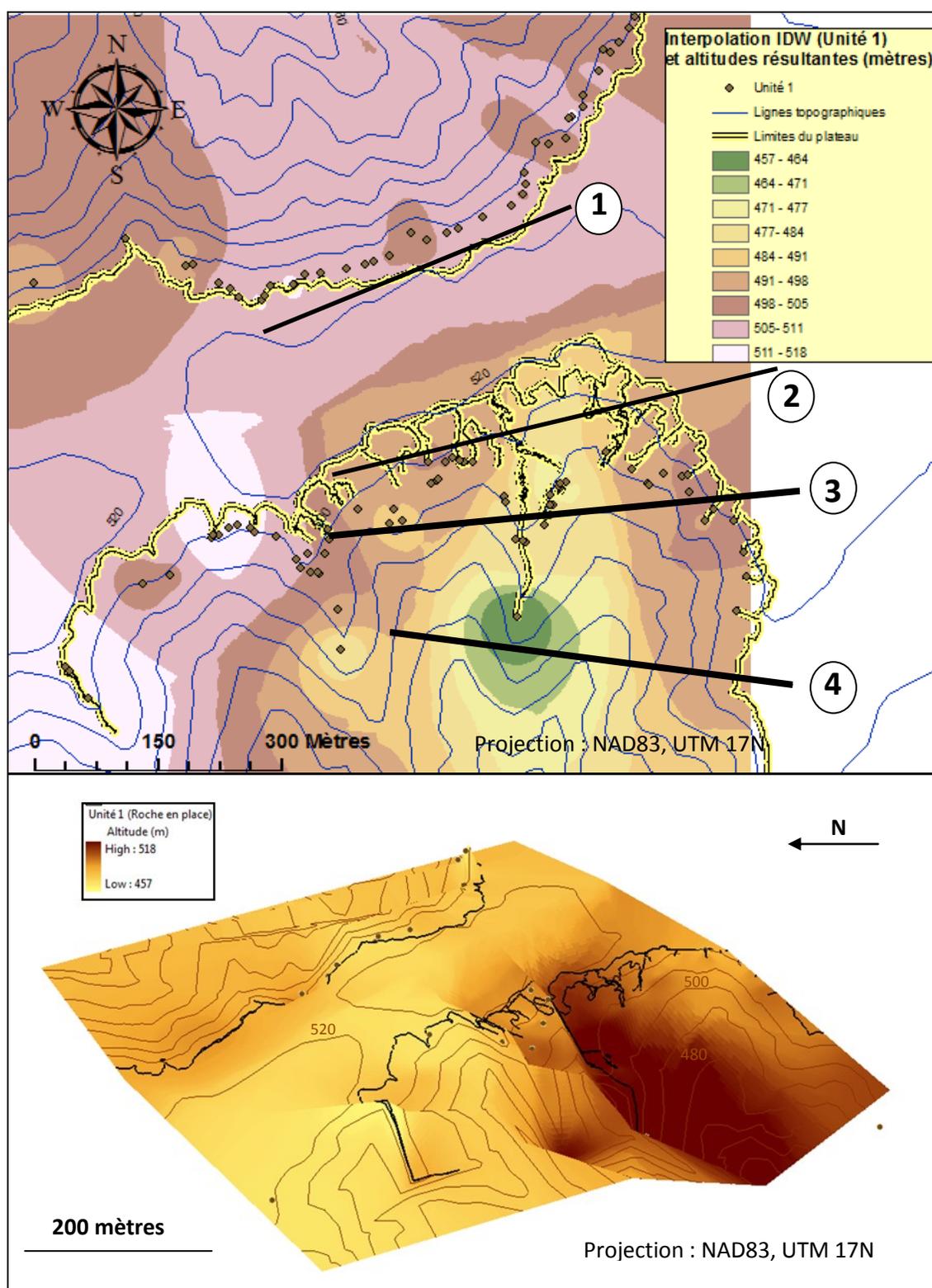
## Analyses spatiales

### Fonction Inverse Pondéré de la Distance (IDW)

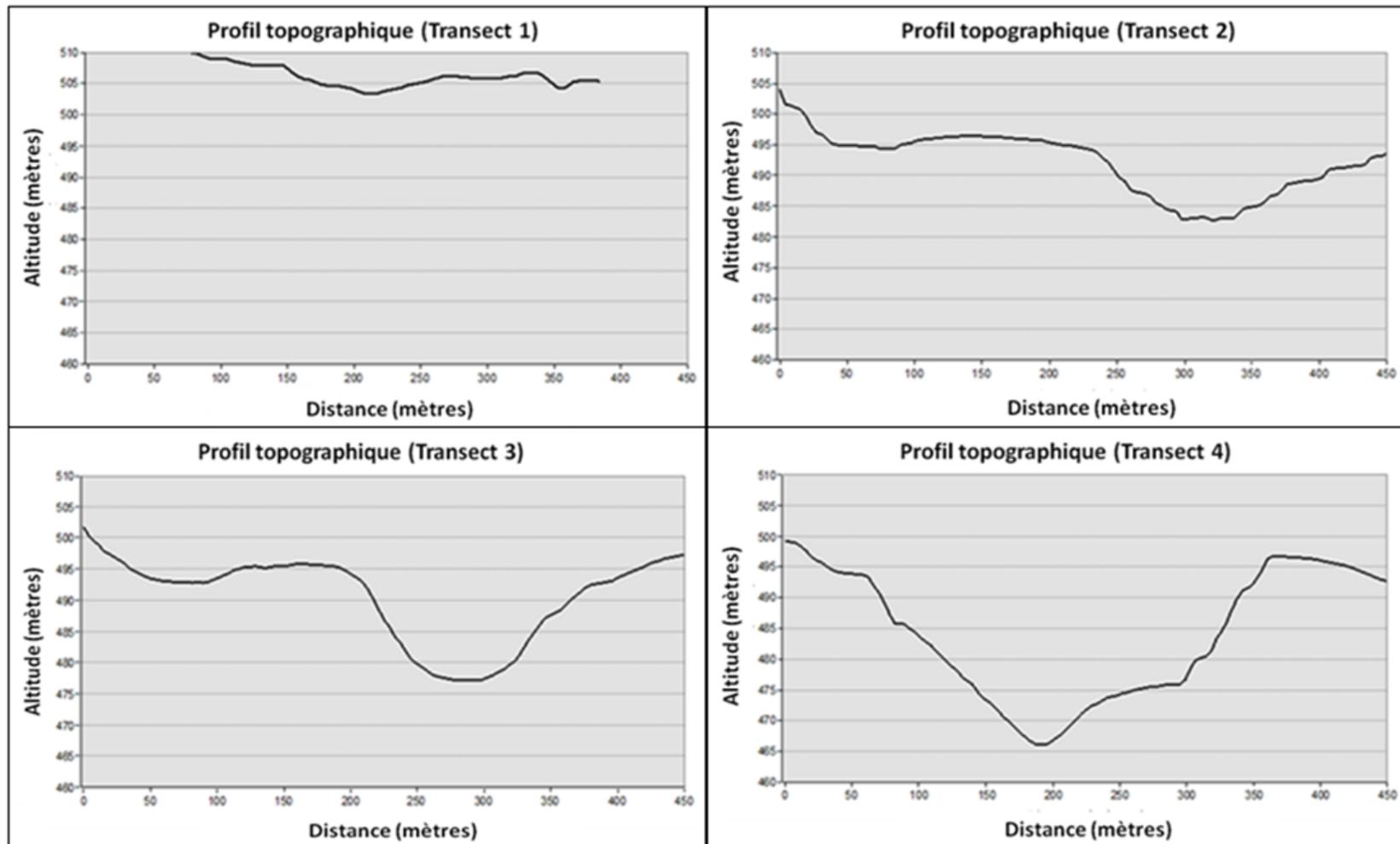
L'inventaire à l'aide d'un DGPS des unités présentées précédemment a permis de représenter spatialement les unités stratigraphiques à l'aide du système d'informations géographiques ArcGIS v9.3. L'option *Inverse Distance Weighted* (en français *Inverse Pondéré de la Distance*, noté *IDW* dans ce travail) permet d'interpoler les altitudes correspondant aux points DGPS recueillis dans le but de mettre en lumière la physiographie approximative des unités stratigraphiques étudiées, tout en considérant la distance entre chaque point d'échantillonnage dans le calcul d'interpolation.

### Unité 1

La compilation des résultats pour l'unité appartenant à la roche mère révèle la présence d'une dépression dans le roc peu consolidé dans laquelle les autres sédiments se seraient accumulés par la suite (voir figure 67). Le traçage de transects à l'aide de l'option *Trace Profile Graphs* permet également de constater que cette dépression est plus profonde et plus large du côté sud du plateau (transects 3 et 4 par rapport aux transects 1 et 2, voir figure 68). Cette dépression peut atteindre 35 mètres de profondeur et jusqu'à 350 mètres de largeur (voir transect 4). À l'aide du module *ArcScene* (ArcGIS, version 9.3), la physiographie de la dépression du plateau a également pu être représentée en trois dimensions, suite au transfert du résultat de l'interpolation IDW en format TIN (voir figure 67). On remarque ainsi trois petites sous-dépressions, dont deux correspondent à la position de coupes stratigraphiques (coupes 1 et 2).



**Figure 67 :** Interpolation des valeurs d'altitudes et position spatiale des points DGPS recueillis pour l'unité 1 (image du haut) et représentation 3D à l'échelle de cette interpolation (image du bas).



**Figure 68 :** Représentation graphique des altitudes interpolées le long des transects 1 à 4 représentés à la figure 66, à l'aide de l'option *Trace Profil Graphs* d'ArcGIS. On remarque que la forme de la dépression est de plus en plus évidente du nord vers le sud du plateau.

## Unités 2 à 10

Cette forme de dépression est également observée au sein de toutes les autres unités étudiées (voir figures 69 à 77). On peut cependant constater que la forme de cette dépression a tendance à diminuer en taille (*i.e.* diamètre), sauf pour ce qui est des unités 8 et 9. Cette dépression peut également être observée de plus en plus à l'est du site d'étude au fur et à mesure que l'on remonte dans la colonne sédimentaire. Cette dernière est également généralement de moins en moins profonde. Il est cependant important de noter que le nombre de points DGPS correspondant à certaines unités stratigraphiques est faible, ce qui diminue la précision de leurs interpolations respectives. C'est le cas notamment de l'unité 10 (seulement 6 localisations DGPS).

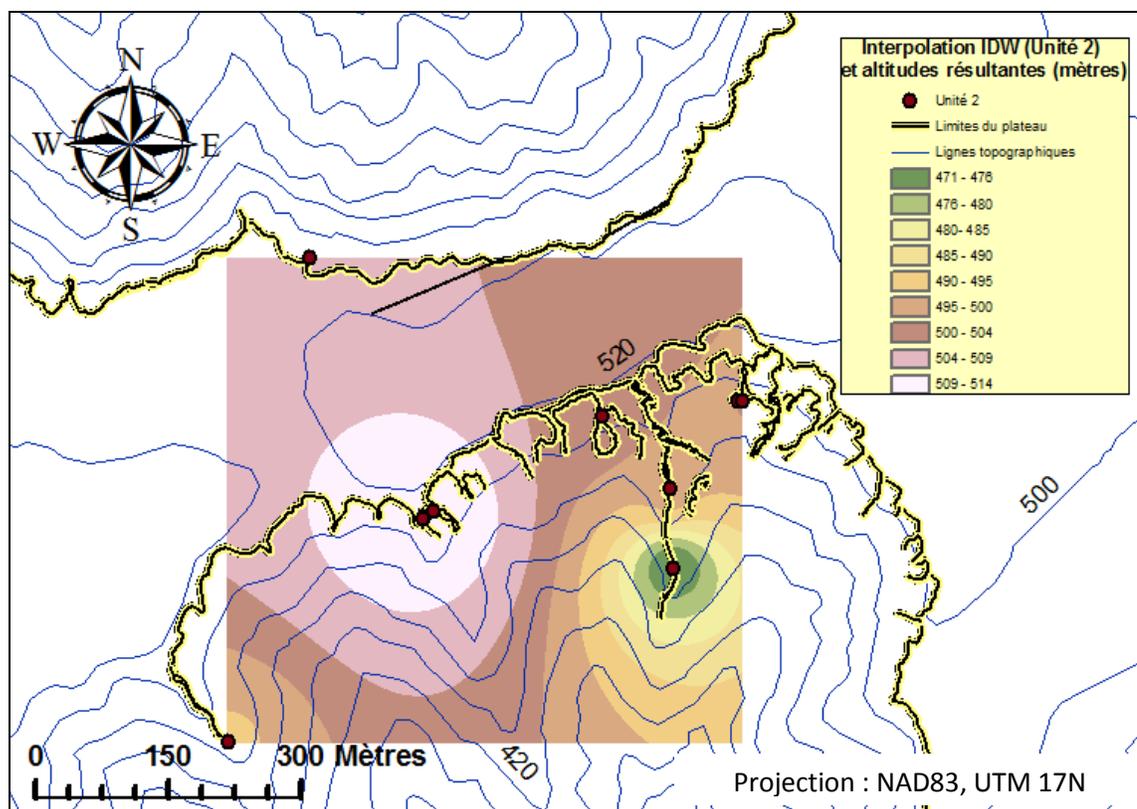


Figure 69 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 2.

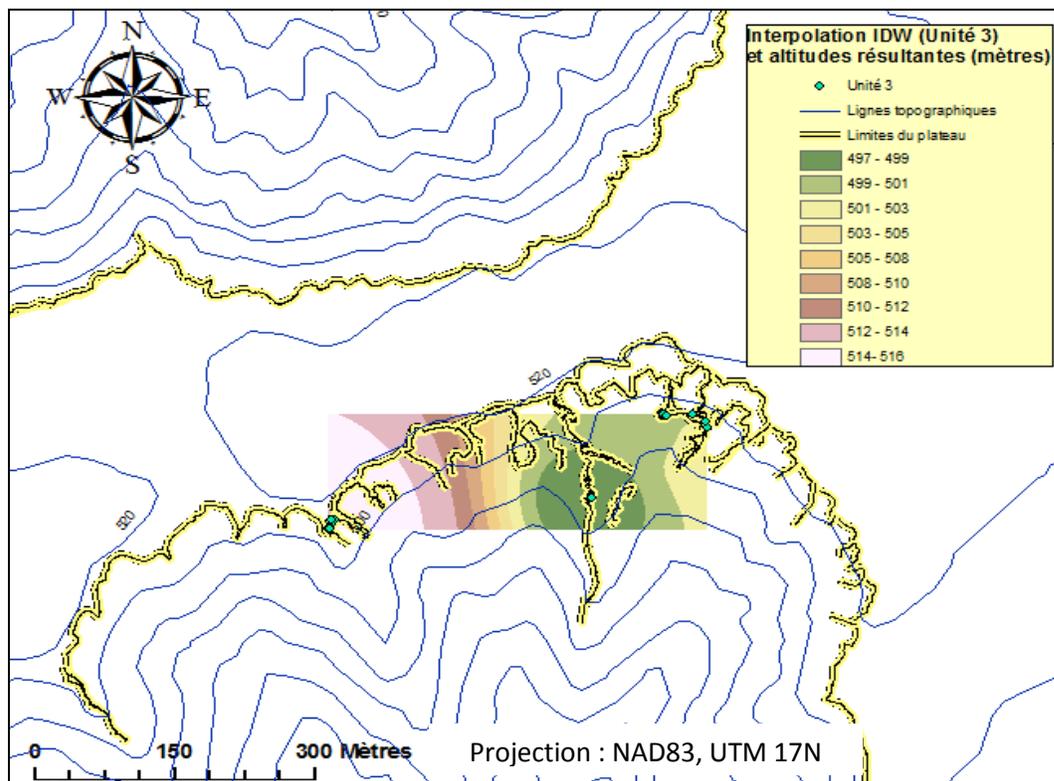


Figure 70 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 3.

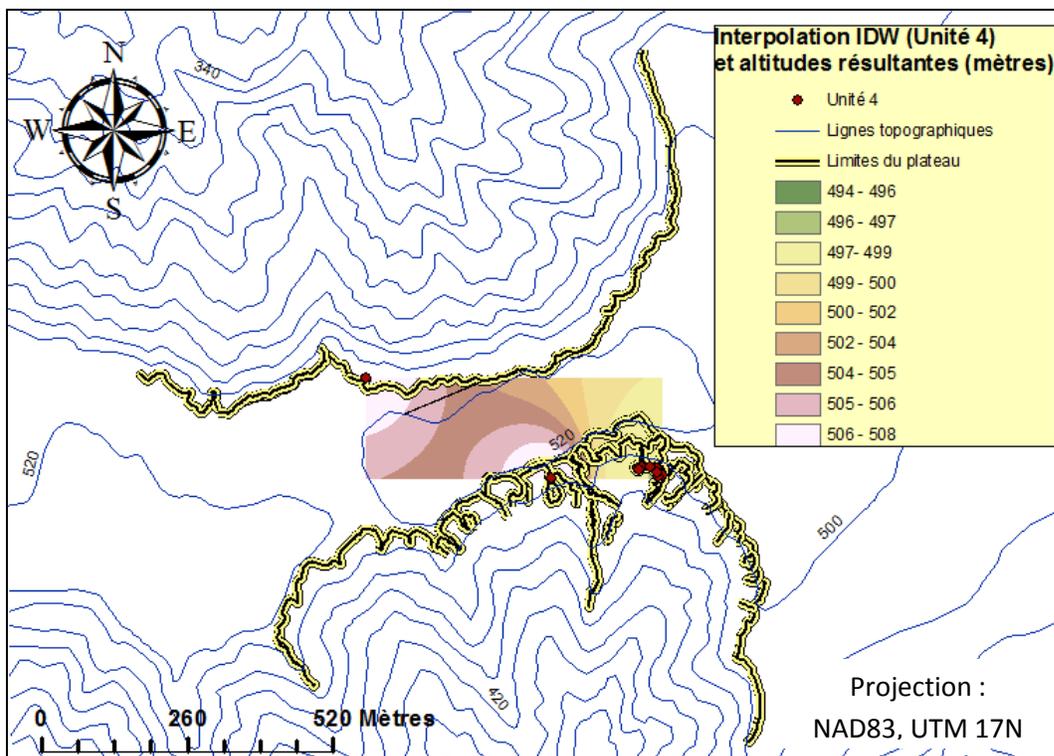


Figure 71 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 4.

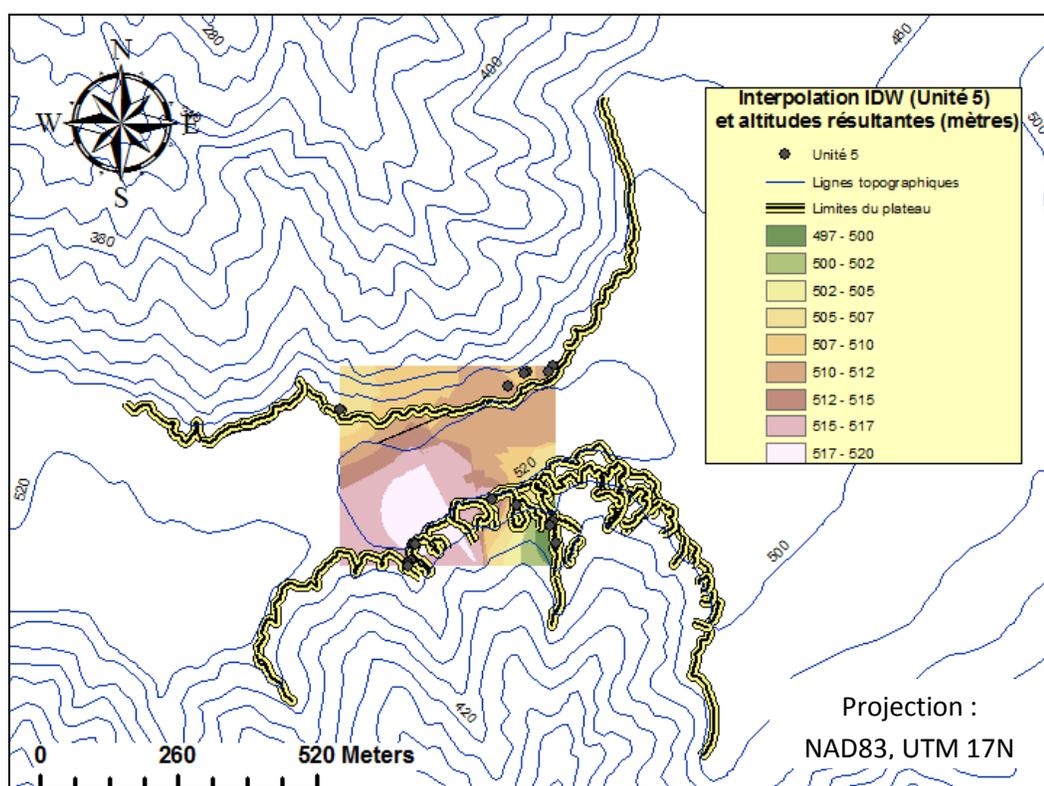


Figure 72 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 5.

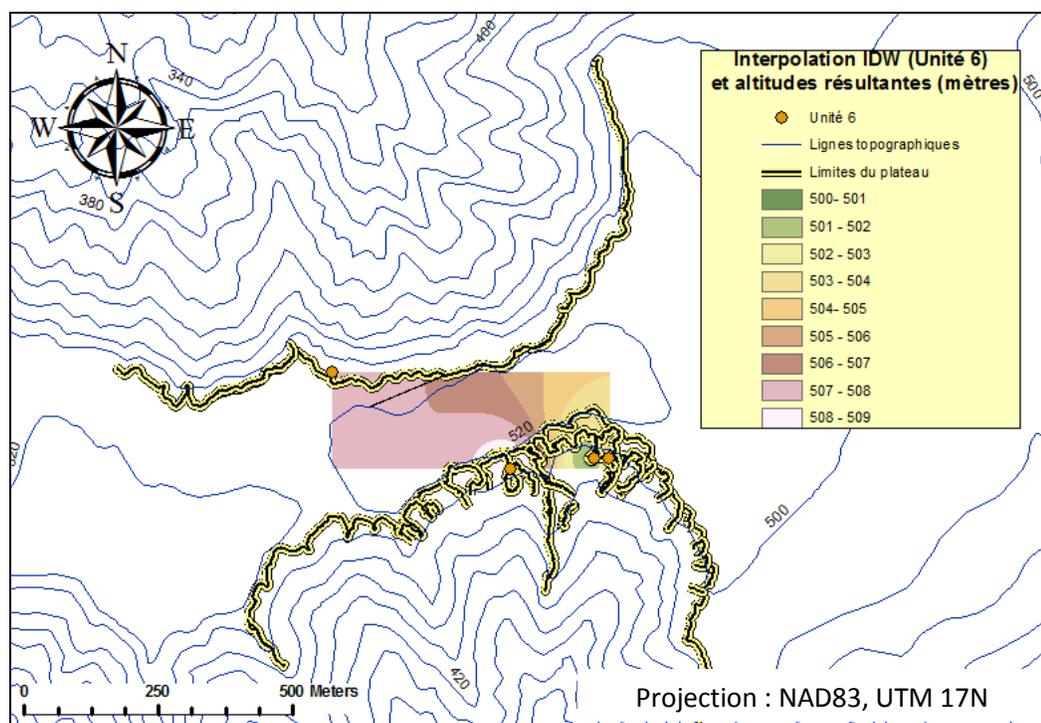


Figure 73 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 6.

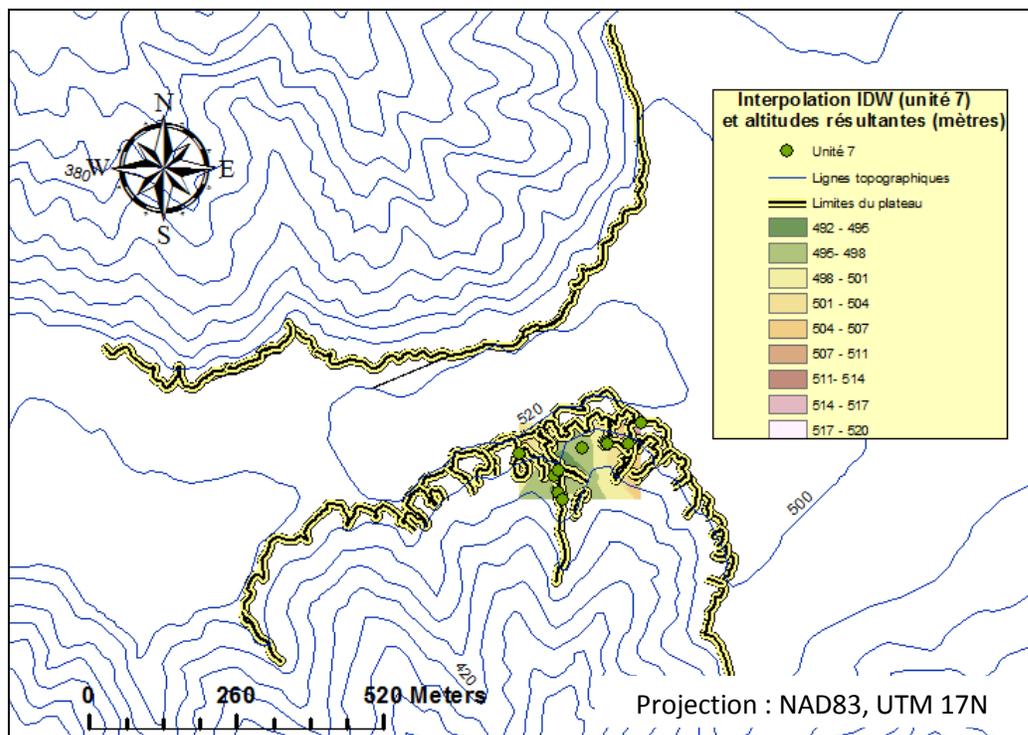


Figure 74 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 7.

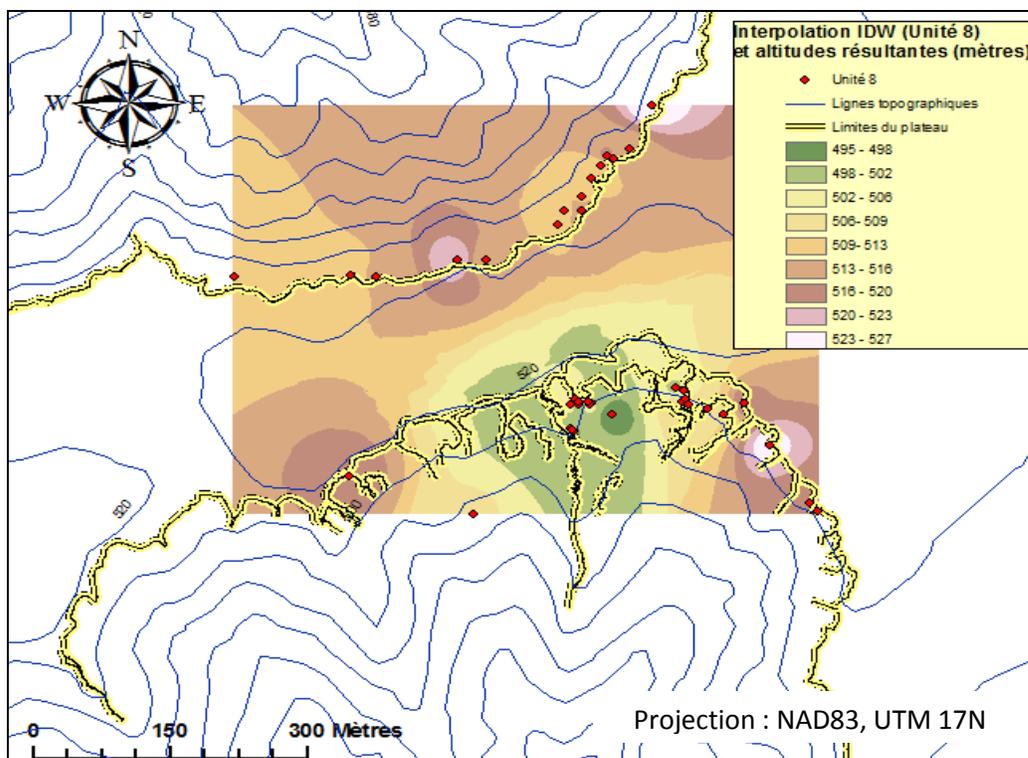


Figure 75 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 8.

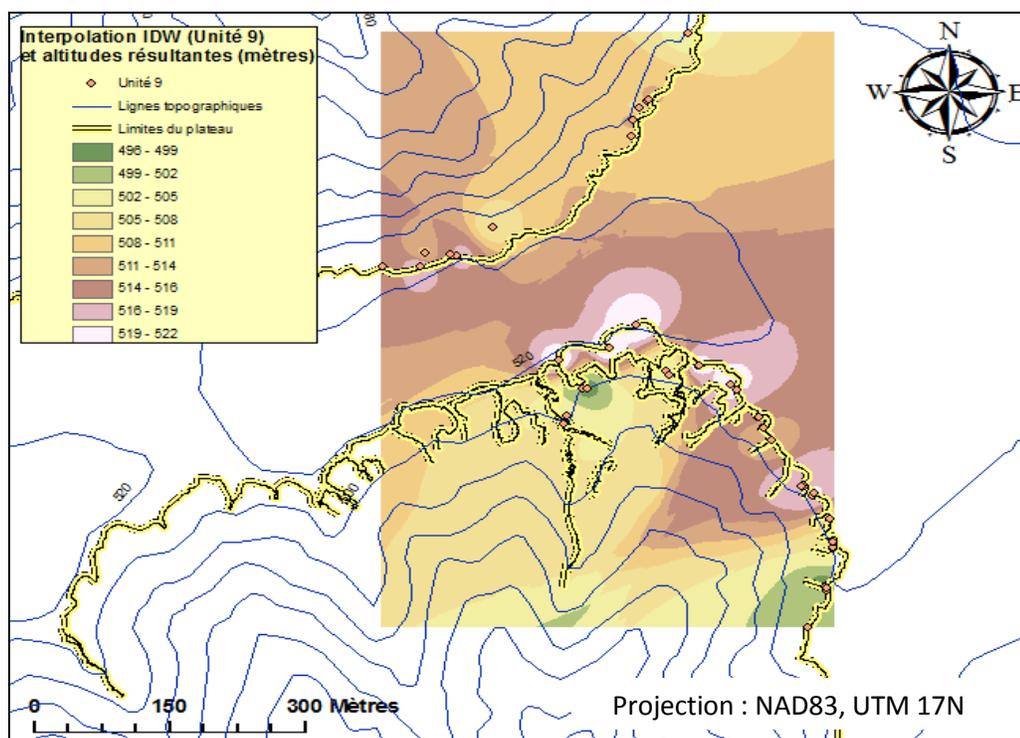


Figure 76 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 9.

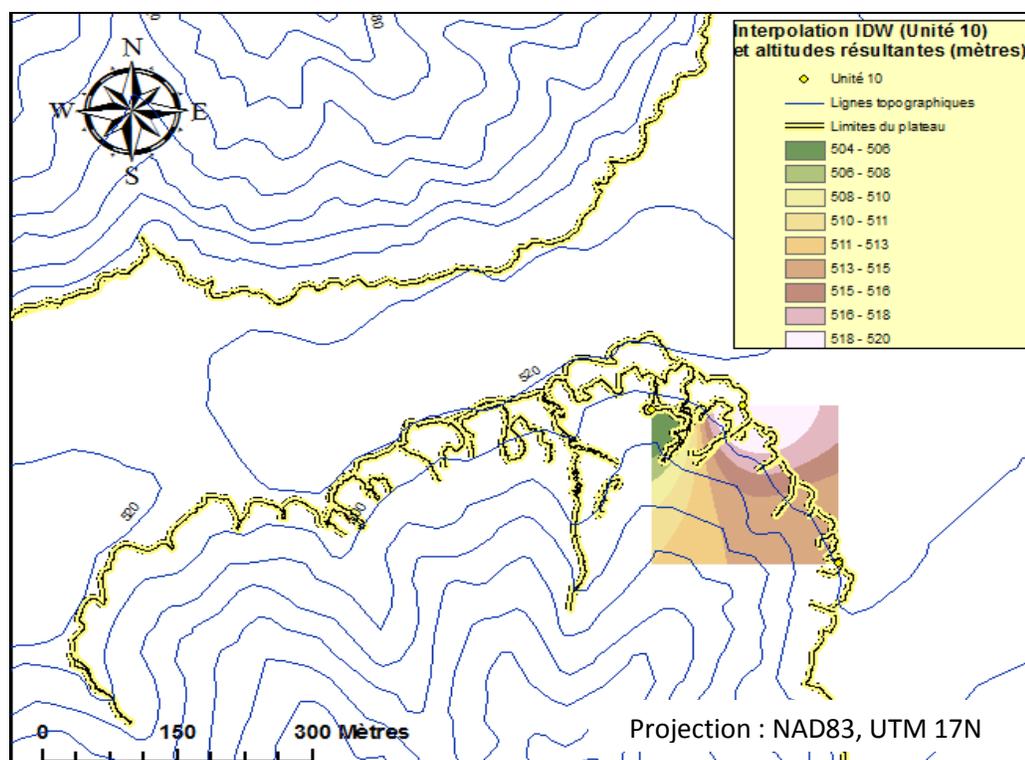


Figure 77 : Interpolation des valeurs d'altitudes et position des points DGPS recueillis pour l'unité 10.

### Fonction *Différence (Minus)*

Les résultats de l'option *Différence (Minus)* montrent une tendance générale une absence d'inversion stratigraphique importante. En effet, les valeurs de différence observées entre les unités  $n$  et  $n-1$  sont généralement positives (*i.e.* en vert) (voir figures 78 à 86), ce qui signifie, par exemple, que les points correspondant à l'unité 2 sont généralement retrouvés au-dessus de l'unité 1 (figure 78). Les valeurs négatives observées se retrouvent quant à elles soit au niveau de la surface du plateau, sur laquelle aucune donnée n'a pu être prise (figures 78, 80, 82 et 83), soit du côté nord du plateau, où la dépression initiale schisteuse est moins évidente (figures 78, 82, 83 et 85) ou encore au niveau des coupes 3 et 4 (figures 79 et 84). Les valeurs positives observées entre les unités 5 et 6 et 6 et 7 sont quant à elles situées aux seuls endroits où ces deux unités ont pu être observées simultanément.

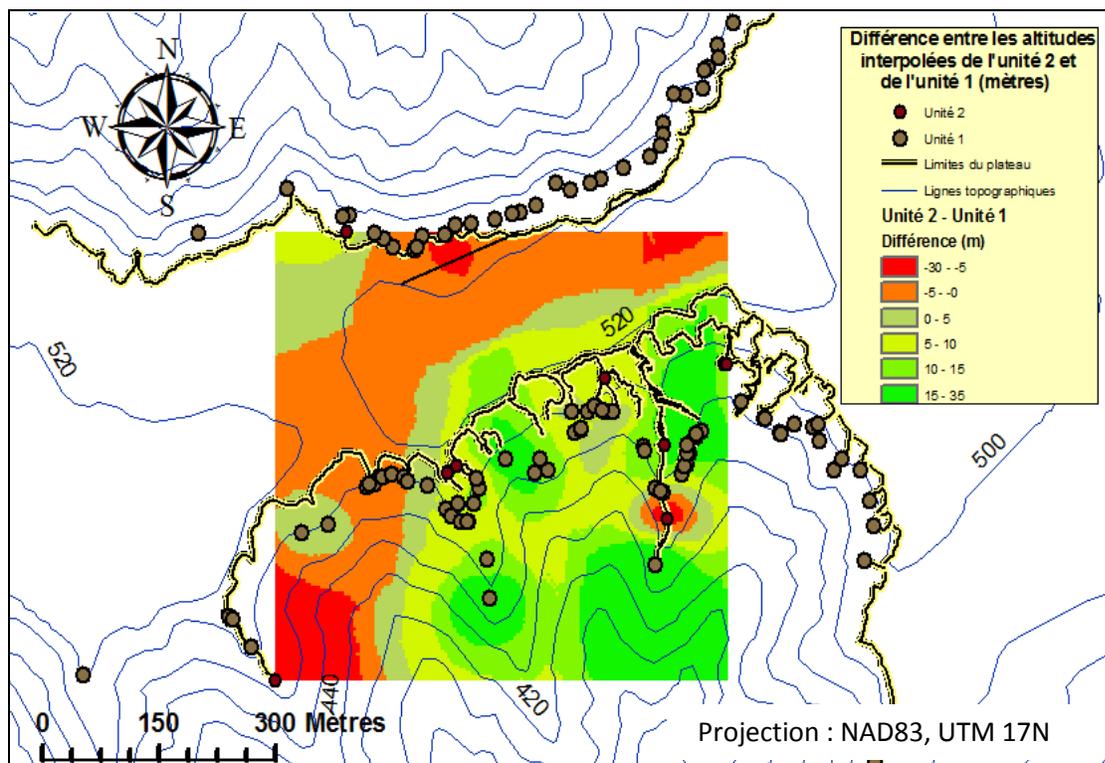


Figure 78 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 2 et celles de l'unité 1 (mètres).

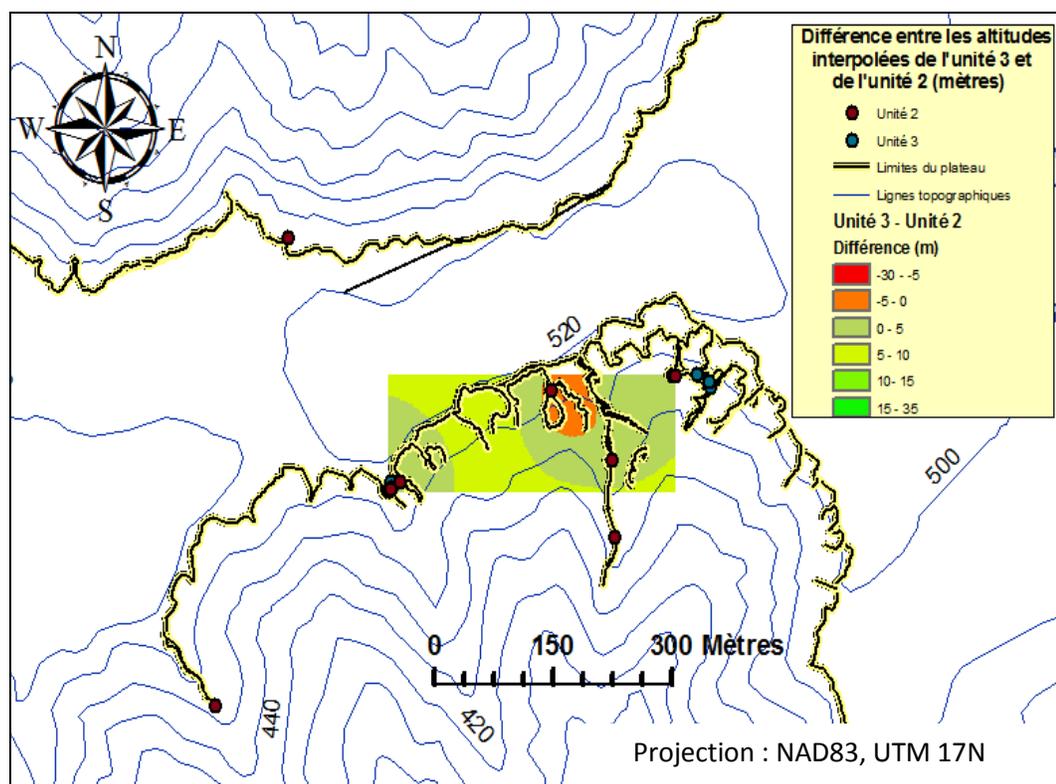


Figure 79 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 3 et celles de l'unité 2 (mètres).

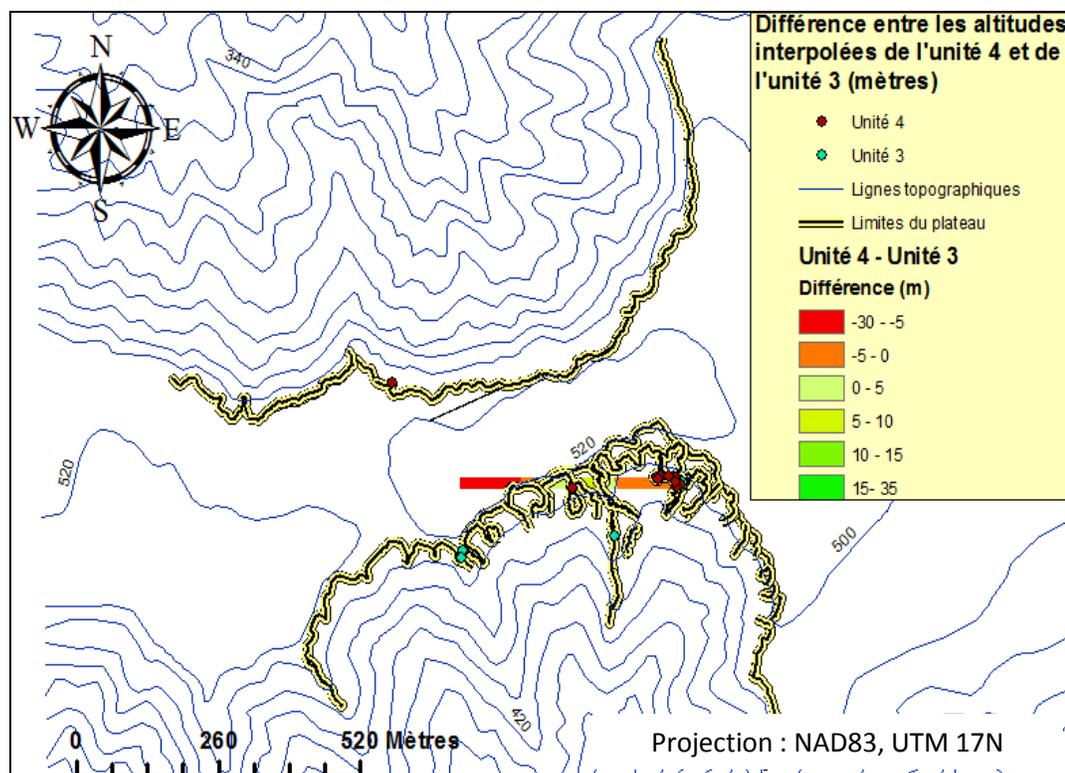


Figure 80 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 4 et celles de l'unité 3 (mètres).

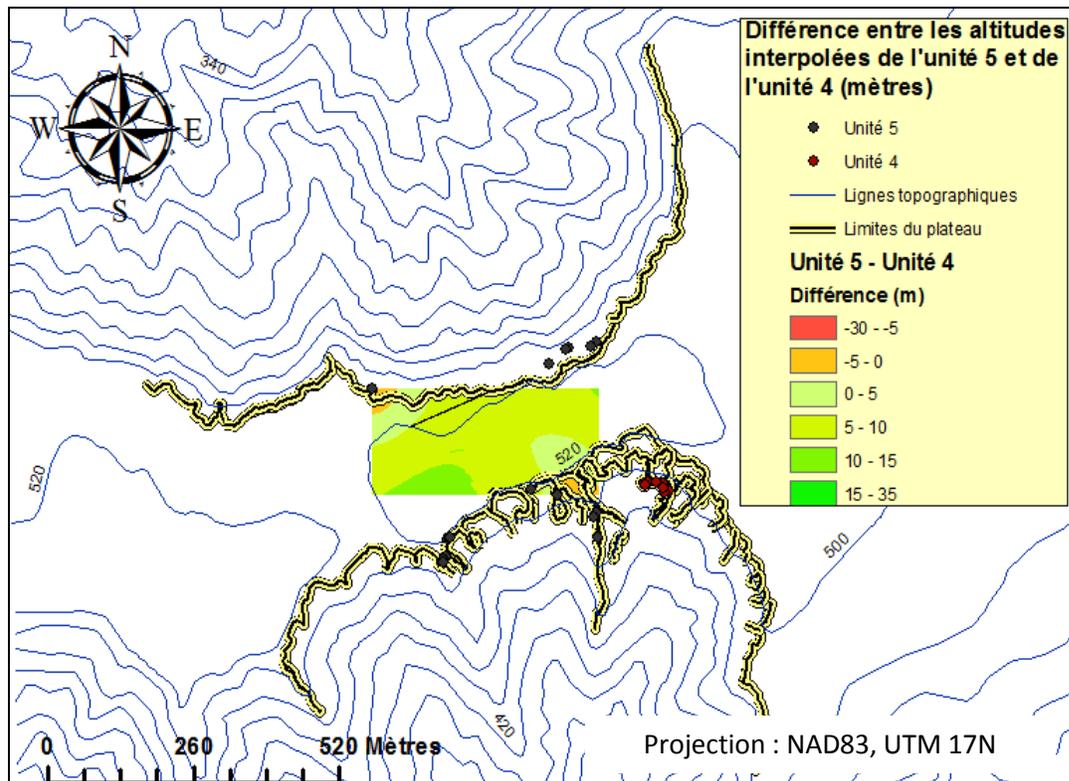


Figure 81 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 5 et celles de l'unité 4 (mètres).

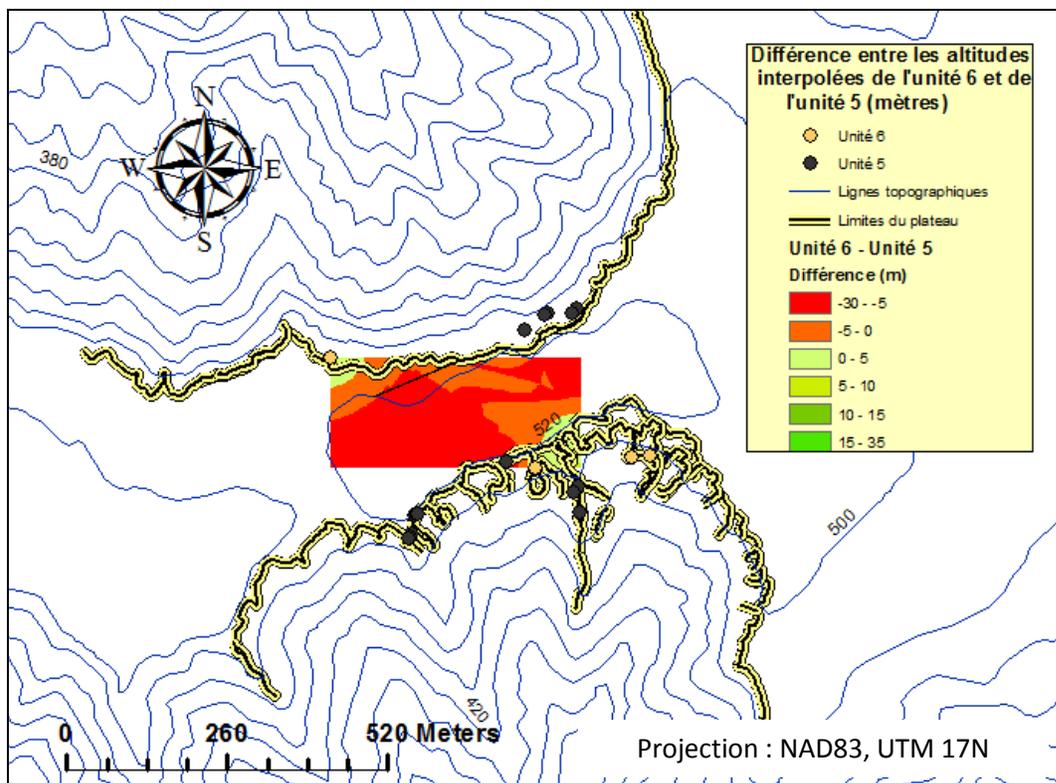


Figure 82 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 6 et celles de l'unité 5 (mètres).

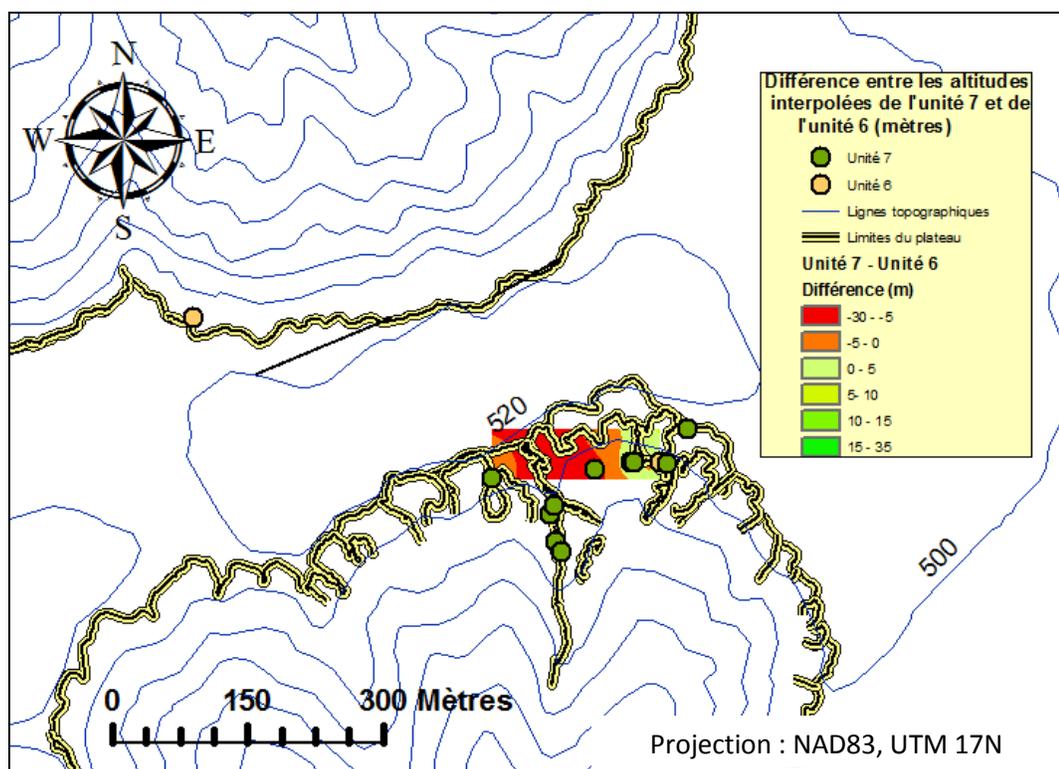


Figure 83 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 7 et celles de l'unité 6 (mètres).

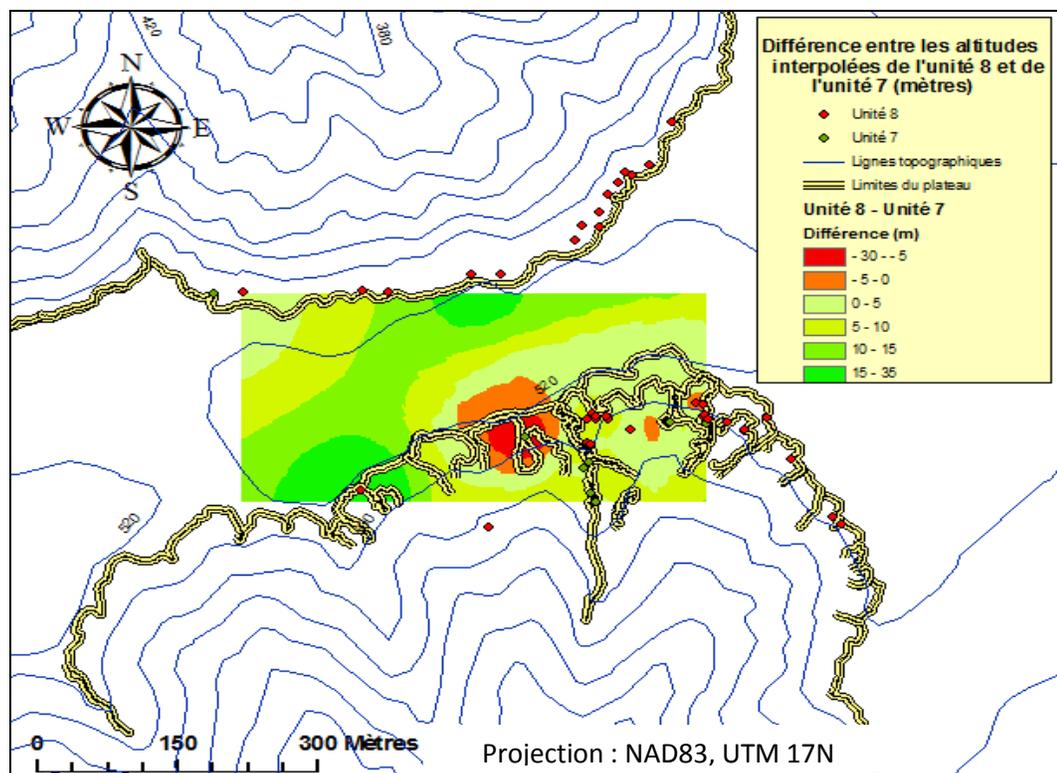


Figure 84 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 8 et celles de l'unité 7 (mètres).

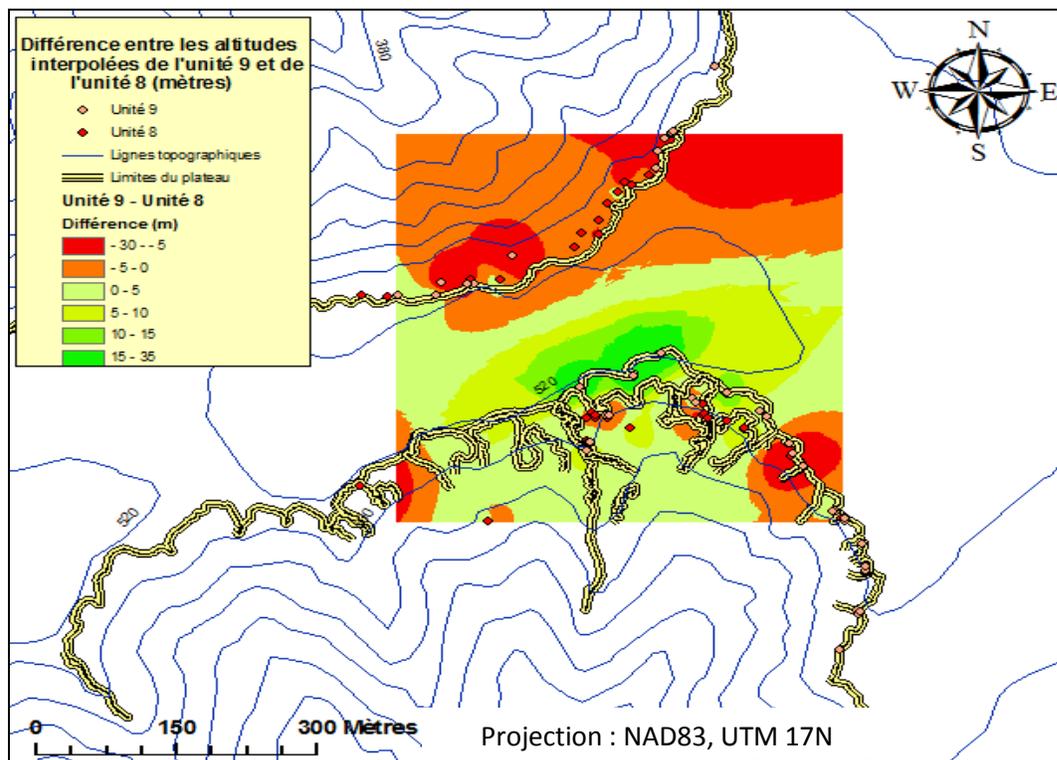


Figure 85 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 9 et celles de l'unité 8 (mètres).

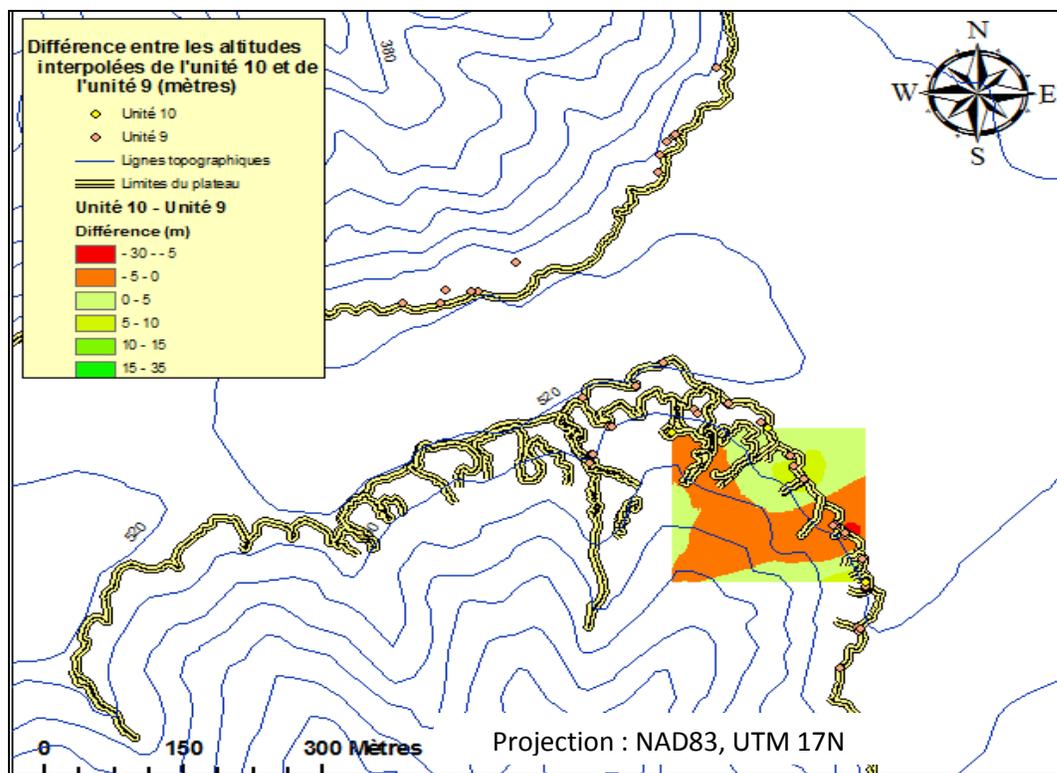


Figure 86 : Différence entre les altitudes interpolées de l'unité 10 et celles de l'unité 9 (mètres).

## **Analyses paléomagnétiques :**

Un total de 65 échantillons a été recueilli durant les séances de terrain de 2009 et 2010 à des fins d'analyse paléomagnétiques. Ces échantillons provenaient initialement des unités 2, 3, 7, 8, 9 et 10 identifiées sur le terrain. Suite à l'application des critères retenus et détaillés dans la section *Méthodes de laboratoire*, uniquement 25 échantillons ont pu être retenus, ce qui correspond à 38 % du total prélevé sur le terrain. Les courbes de démagnétisation ainsi que les principales caractéristiques de tous ces échantillons sont incluses à l'annexe IV.

Suite à cette première sélection, les échantillons provenant de l'unité 2, jugée perturbée, mélangée dans certains cas avec l'unité 3 et non fiable par sa nature sédimentaire (Guillaume St-Onge, communication personnelle), n'ont également pas été retenus. Ceci a donc réduit le nombre d'échantillons analysés à 20 échantillons, dont aucun ne provient de la coupe 2. La liste de ces échantillons, ainsi que leur principales caractéristiques, apparaissent au tableau XVI.

Les courbes de démagnétisation des échantillons retenus sont assez similaires (voir annexe IV). Certains échantillons sont cependant plus difficiles à démagnétiser que d'autres, caractéristique représentée par des valeurs de MDF plus ou moins grandes (entre 7,5 et 72,5). Les valeurs de MAD oscillent quant à elles entre 2,3 et 13,4. Les valeurs élevées de cet indice magnétique ne semble toutefois pas dépendre de la coupe auxquelles elles sont associées, ni de leur position dans la colonne stratigraphique.

Les valeurs des ratios IRM/SIRM et NRM/IRM, elles, sont contenues dans les intervalles souhaitées (autour de 1,00 pour IRM/SIRM et plus petit que 0,05 pour NRM/IRM). Les valeurs de MDF ne correspondent toutefois pas toujours aux valeurs normales associées à la magnétite (entre 20 et 30).

Les résultats d'inclinaison révèlent des inversions magnétiques dans les horizons limoneux de la coupe 5 ainsi qu'au sommet et à la base de la coupe 6. On remarque également que ces changements de polarité correspondent à des changements de la valeur de leur ratio NRM/ARM correspondant, particulièrement au sein de la coupe 6 (voir figure 88). Des changements importants de la déclinaison magnétique et de l'intensité magnétique sont également observés dans la coupe 6, changements qui correspondent au changement d'inclinaison. Ces variations ne sont cependant pas aussi importantes pour la coupe 5.

Tous les autres échantillons récoltés sont de polarité positive, à l'exception de la plupart de ceux provenant de l'unité 9. Toutefois, certaines valeurs de polarité observées pour les coupes 1 et 6 correspondent à des inclinaisons relativement faibles ( $11^\circ$ ,  $-23^\circ$  et  $-24^\circ$  respectivement). Enfin, on observe que tous les échantillons recueillis correspondent à des niveaux contenant des faibles pourcentages de matière organique ( $< 5\%$ , voir graphiques synthèse à l'annexe V).

Tableau XVI :

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES ÉCHANTILLONS RETENUS SUITE AUX ANALYSES PALÉO-MAGNÉTIQUES

Coupe / Échantillon	Unité	Profondeur (cm)	Intensité (10 <sup>-5</sup> A/m)	INC (°)	DEC (°)	MAD (°)	MDF	IRM / SIRM	NRM / ARM	NRM / IRM
<b>1</b>	3	151	1,57	11	208	10,45	10,7	0,99	0,3	0,005
<b>3</b>	alluvial	75	1,26	56	-14	3,5	30	0,98	0,41	0,006
<b>4</b>	7	65	7,5	75	179	4,1	18	1,01	0,74	0,013
	7	80	11,1	76	168	4,8	19,3	1,01	1,02	0,021
	3	105	7,59	53	194	5,8	19,1	1,01	0,82	0,019
	3	120	12	50	204	6,2	19,6	1,01	1,02	0,022
	3	125	15,2	34	207	3	22,8	1	1,29	0,026
<b>5</b>	3	195	4,17	41	272	9,7	19	0,99	0,13	0,004
	3	216	1,35	68	258	12,5	14,4	0,99	0,17	0,004
	3	245	2,16	-70	157	5	7,5	1	0,52	0,01
<b>6</b>	10	35	9,17	75	186	2,3	14,6	0,97	1,41	0,03
	9	50	7,46	-83	149	3,5	72,5	0,98	2,69	0,014
	9	55	5,43	-72	128	4,8	47,6	0,98	9,1	0,012
	9	60	3,37	-81	143	5,5	37,3	0,98	3,12	0,006
	9	75	1,46	-66	137	6,8	12,8	0,97	0,34	0,001
	9	80	1,51	-83	157	13,4	13,9	0,98	0,35	0,001
	9	180	3,38	-23	262	11,2	21,1	0,94	0,2	0,02
	9	205	3,48	-24	230	6,7	24	1	0,48	0,007
	9	290	4,8	84	217	7,4	18	1,02	1,34	0,02
<b>fgf1</b>	10	15	4,04	71	162	5,9	17,7	0,97	1,46	0,031

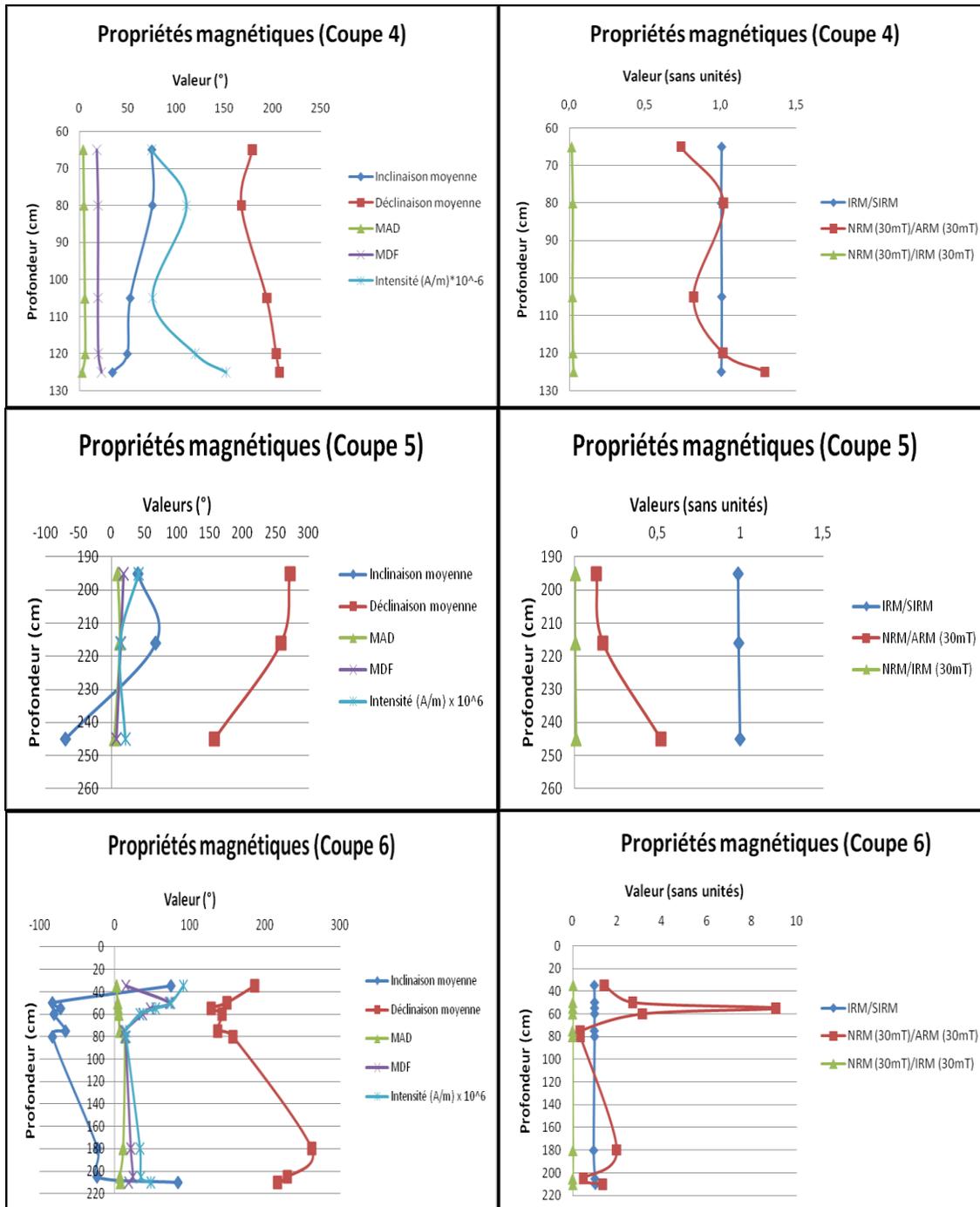


Figure 87 : Propriétés magnétiques des échantillons analysés provenant des coupes 4, 5 et 6.

## Analyses polliniques :

(Les spectres polliniques et les graphiques synthèses utilisés sont inclus aux annexes V, VI et VII)

### Unité 2

Le diamicton formant l'unité 2 contient une palynodiversité relativement faible (entre 10 et 16 taxons recensés, essentiellement composées de taxons de type arbustifs ou herbacés). Les concentrations polliniques observées sont faibles en général (environ 5000 grains/cm<sup>3</sup>), sauf dans le cas d'un échantillon à la base de la coupe 2 (Y = 237,5 cm, 246 208 grains/cm<sup>3</sup>). Les taxons dominants retrouvés dans cette unité sont *Betula* (principalement entre 19 et 25 µm de diamètre, environ 30% de la somme pollinique (SP)), les Cypéracées (entre 15 et 40%), les Ericaceae (entre 5 et 10%), *Alnus* type *crispa* (environ 10%), *Salix* (environ 5%) et *Larix* (environ de 5%).

Le sommet de l'unité 2 de la coupe 2 est cependant quelque peu différent. On y observe en effet de plus forts pourcentages de *Salix* (environ 35% de la SP), en dépit d'une diminution importante des grains de pollen de *Betula* (environ 5%). La présence des grains d'*Alnus* type *crispa* et de *Salix* est quant à elle marginale dans la coupe 1. On observe également la présence de quelques grains de *Carpinus/Ostrya* au sein des coupes 3, 4 et 5, ainsi que quelques grains de *Carya* au niveau de la coupe 3 et d'*Alnus* type *incana* au niveau de la coupe 5.

On remarque également la faible présence de taxons associés à des milieux humides ou inondés, tels que *Menyanthes* cf. *trifoliata* (Coupes 3, 4 et 5), *Lycopodium* spp. (coupes 2, 3, 4 et 5), *Huperzia* type *selago* (coupe 5) et *Potamogeton* (coupes 2, 3 et 5), ainsi que quelques taxons de milieux plus méziques, tels que les Poacées (coupes 2, 3, 4 et 5), les Rosacées (coupes 1, 2, 4 et 5), les Caryophyllacées (coupes 2 et 5), *Artemisia* type

*ambrosia* (coupe 2), *Pediastrum* spp. (coupes 1, 2 et 5) et *Oxyria* type *digyna* (coupes 1, 2, 3 et 5).

### Unité 3

L'unité 3 contient une palynodiversité elle aussi relativement faible (entre 13 et 20 taxons recensés, essentiellement composées de taxons de type arbustifs ou herbacés). Les concentrations polliniques observées sont elles aussi faibles et ce, pour tous les cas étudiés (entre 5000 et 15000 grains/cm<sup>3</sup>). Les taxons dominants en pourcentage retrouvés dans cette unité sont *Betula* (principalement entre 19 et 25 µm de diamètre, entre 10 et 50% de la somme pollinique (SP)), les Cypéracées (entre 10 et 50%), *Alnus* type *crispa* (entre 5 et 10%), *Salix* (entre 0 et 15%), *Larix* (entre 0 et 15%), *Corylus* cf. *cornuta* (entre 0 et 6%) et les Ericaceae (entre 0 et 6%). On retrouve également de faibles pourcentages (< 5%) d'espèces apparentées aux milieux subarctiques actuels : *Thuja* (coupes 1 et 4), *Pinus* cf. *banksiana* (coupes 1 et 4), *Picea* type *mariana* (coupes 4 et 5) et *Ostrya/Carpinus* (coupe 4).

On remarque également la présence de plusieurs taxons de milieux humides ou inondés, comme *Menyanthes* cf. *trifoliata* (Coupe 1), *Potamogeton* (coupe 1), et *Sphagnum* (coupes 1 et 4), ainsi que quelques taxons associés au contraire à des environnements plutôt méziques, tels que les Poacées (coupes 1 et 4), les Rosacées (coupe 1), *Lycopodium* spp. (coupes 1 et 4), *Pediastrum* spp. (coupe 1), *Polygonum* sp. (coupe 4) et *Oxyria* type *digyna* (coupe 1).

Les spectres polliniques observés pour la coupe 1 sont toutefois légèrement différents de ceux observés au sein des autres coupes. En effet, les cypéracées y sont en général plus présentes (entre 30% et 40% de la somme pollinique), tout comme les Poacées (entre 15% et 20%). Les grains de bouleaux y sont toutefois moins fréquents (entre 5% et 15%) mais généralement plus gros (principalement entre 24 et 26 µm de diamètre).

#### Unité 4

L'unité 4 contient une palynodiversité plus importante que les unités précédentes (entre 17 et 21 taxons recensés, composés majoritairement de taxons de type arborescents). Les concentrations polliniques observées sont également relativement élevées pour tous les cas étudiés (environ 50 000 grains/cm<sup>3</sup>). Les taxons dominants en pourcentage retrouvés dans cette unité sont *Betula* (principalement entre 20 et 25 µm de diamètre avec un pic autour de 30 µm pour les coupes 3 et 5, entre 10% et 30% de la somme pollinique (SP)), les Cypéracées (entre 10% et 35%), *Alnus crispa* (entre 5% et 30%), *Larix* (entre 5% et 10%), et *Salix* (environ 5%). On retrouve également de faibles pourcentages (< 5%) d'espèces apparentées aux milieux subarctiques et boréaux actuels (*Thuja* (coupe 3), *Quercus* (coupe 3), *Myrica* cf. *gale* (coupes 3 et 5), *Corylus* cf. *cornuta* (coupes 3 et 5), les Ericaceae (coupe 3 et 5), *Abies* (coupe 5) et *Ostrya/Carpinus* (coupes 5).

L'unité 4 de la coupe 3 est cependant quelque peu différente de celle de la coupe 5. On y observe ainsi des pourcentages relativement importants de grains de *Pinus* (cf. *banksiana* et type *strobis*) et de *Picea* (type *mariana* et type *glauca*), lesquels peuvent atteindre jusqu'à 10% de la somme pollinique dans certains cas, comparativement à 2 ou 3% dans le cas de la coupe 5. Les pourcentages de grains de pollen d'*Alnus* type *crispa* atteignent également environ 35% de la somme pollinique à 93 cm de profondeur.

Tout comme pour les unités 2 et 3, on observe également au sein des spectres polliniques *Menyanthes* (Coupes 3 et 4) et *Potamogeton* (coupes 2 et 3), lesquels sont des taxons de milieux humides, mais également quelques taxons de milieux plus secs, tels que les Poacées (coupes 2, 3 et 4), les Rosacées (coupes 1, 2 et 4), *Pediastrum* spp. (coupes 1 et 2), *Lycopodium* spp. (coupes 2, 3 et 4) et *Oxyria digyna* (coupes 1,2 et 3). On observe finalement des pics de *Sphagnum* et de spores monolètes à la base de cette unité, tant pour la coupe 3 que pour la coupe 5.

## Unité 5

L'unité 5 se divise en deux types de spectres polliniques légèrement différents l'un de l'autre, malgré le faible nombre de niveaux analysés au sein de cette dernière.

Le premier de ces types, retrouvé au sein de la coupe 2, contient une palynodiversité relativement faible (14 taxons recensés), composés autant de taxons de type herbacés, arbustifs et arborescents. Les concentrations polliniques observées sont toutefois relativement élevées (79 802 grains/cm<sup>3</sup>). Les taxons dominants en pourcentage retrouvés dans cette unité sont le *Salix* (environ 40% de la somme pollinique (SP)), les Cypéracées (environ 25%), et le *Betula* (principalement entre 20 et 25 µm de diamètre, environ 20%). On retrouve également de faibles pourcentages (< 5%) de grains de *Pinus* cf. *banksiana*, de *Larix*, d'*Alnus* type *crispa*, de *Corylus* cf. *cornuta*, d'Ericaceae et d'*Ambrosia*. On remarque également la présence de taxons associés à des milieux humides ou perturbés, tels que *Menyanthes* cf. *trifoliata*, *Pediastrum* spp., *Lycopodium* spp. et *Potamogeton*, ainsi qu'une quantité considérable de spores monolètes.

Le deuxième type de spectre pollinique, retrouvé au sein des coupes 3 et 4, contient une palynodiversité plus importante (entre 20 et 22 taxons recensés), principalement composée d'espèces arbustives et arborescentes. Les concentrations polliniques observées sont similaires à celle calculée au sein de la coupe 2 (environ 85 000 grains/cm<sup>3</sup>). Les taxons dominants en pourcentage retrouvés dans cette unité sont toutefois différents, à savoir le *Betula* (principalement entre 21 et 26 µm de diamètre et entre 35% et 50% de la somme pollinique), l'*Alnus* type *crispa* (environ 10%), les Cypéracées (environ 10%), le *Salix* (entre 5% et 10%) et les éricacées (entre 5% et 10%). On retrouve également de faibles pourcentages (< 5%) de grains d'*Ostrya/Carpinus*, de *Corylus* cf. *cornuta*, de *Pinus* cf. *banksiana* et cf. *strobus*, de *Picea* type *mariana*, de *Larix*, et de *Carya* cf. *ovata*. On remarque également de faibles pourcentages de *Menyanthes* cf. *trifoliata*, de *Lycopodium* spp. et de *Potamogeton*, ainsi que des spores monolètes, des spores trilètes et de *Sphagnum*.

## Unité 6

L'unité se divise elle aussi en deux types de spectres polliniques très différents l'un de l'autre.

Le premier de ces types, retrouvé au sein de la coupe 2, contient une palynodiversité assez variable (entre 12 et 23 taxons recensés), composée majoritairement des taxons de type arbustifs ou herbacés. Les concentrations polliniques observées sont également très variables (entre 15 000 et 75 000 grains/cm<sup>3</sup> environ). Les taxons dominants en pourcentage retrouvés dans cette unité, dont les pourcentages relatifs varient eux aussi beaucoup, sont le *Betula* (principalement entre 19 et 29 µm de diamètre et entre 5% et 95% de la somme pollinique (SP)), le *Salix* (entre 15% et 40%), les Cypéracées (entre 5% et 25%), l'*Alnus* type *crispa* (entre 5% et 10%) et les éricacées (environ 5%). La tendance générale est une augmentation significative des pourcentages de saule en fonction de la profondeur, combinée à une chute importante des pourcentages des grains de bouleaux. Inversement, la taille des grains de pollen de bouleaux observés semble augmenter en fonction de la profondeur. On retrouve également de faibles pourcentages (< 5%) d'espèces apparentées aux milieux subarctiques et arctiques actuels (*Pinus* cf. *banksiana*, *Pinus* type *strobis*, *Thuja*, *Larix*, *Alnus* type *incana*, *Corylus* cf. *cornuta*, les Poacées et les Rosacées).

On observe également la présence des taxons aquatiques *Menyanthes* cf. *trifoliata*, *Nuphar*, *Pediastrum* spp. (qui peut atteindre jusqu'à environ 20% de la SP) et *Potamogeton*, ainsi que la présence en quantité significative des Poacées, des Rosacées, des Caryophyllacées, des Chenopodiacées, du *Lycopodium*, d'*Artemisia* type *ambrosia* et d'*Oxyria* type *digyna*.

Le deuxième type de spectre pollinique, présent au sein des coupes 3 et 5, contient une palynodiversité plus importante (entre 19 et 23 taxons recensés), composée majoritairement de taxons arborescents. Les concentrations polliniques observées sont

également beaucoup plus élevées (entre 55 000 et 110 000 grains/cm<sup>3</sup> environ). Les taxons dominants en pourcentage retrouvés dans cette unité sont le *Betula* (principalement entre 25 et 30 µm de diamètre et entre 15% et 30% de la somme pollinique (SP)), les Cypéracées (entre 10% et 25%), l'*Alnus crispa* (entre 5% et 15%), le *Pinus cf. banksiana* (entre 2% et 10%), le *Picea type mariana* (entre 5% et 10%), le *Salix* (entre 3% et 15%), le *Carya cf. ovata* (entre 2% et 10%) et le *Pinus type strobus* (entre 2% et 10%).

On retrouve également de faibles pourcentages (< 5%) d'espèces apparentées aux milieux subarctiques et arctiques actuels (*Thuja* (coupe 3), *Larix* (coupes 3 et 5), *Carpinus/Ostrya* (coupes 3 et 5), *Corylus cf. cornuta* (coupes 3 et 5), *Myrica cf. gale* (coupes 3 et 5), les Ericaceae (coupes 3 et 5), les Poacées (coupes 3 et 5) et les Rosacées (coupes 3 et 5). On remarque enfin la présence de *Sphagnum* en grande quantité (peut atteindre jusqu'à 60% de la SP) ainsi que celle, plus modeste, des spores monolètes (entre 5% et 20% de la SP).

### Unité 7

L'unité 7 contient la plus grande palynodiversité (entre 15 et 25 taxons différents), essentiellement composée de taxons arborescents et arbustifs. Les concentrations polliniques observées sont également très élevées par rapport à celles des autres unités, (entre 75 000 et 175 000 grains/cm<sup>3</sup>), mis à part à la base de l'unité pour les coupes 4 et 5 (entre 20 000 et 30 000 grains/cm<sup>3</sup>) et au sommet de l'unité de la coupe 4 (environ 30 000 grains/cm<sup>3</sup>). Les taxons dominants en pourcentage retrouvés au sein de cette unité sont *Betula* (principalement entre 25 et 29 µm de diamètre, entre 25% et 50% de la somme pollinique (SP)), *Pinus cf. banksiana* (entre 5% et 25%), *Alnus type crispa* (entre 10% et 20%), les Cypéracées (entre 10% et 20%), *Salix* (entre 2% et 10%) et *Picea type mariana* (entre 2% et 10%). On retrouve également de faibles pourcentages (< 5%) de plusieurs espèces apparentées aux milieux subarctiques et boréaux actuels (*Thuja*, *Pinus type strobus*, *Larix*, *Abies*, *Carya cf. ovata*, *Acer cf. rubrum*, *Alnus type incana*, *Myrica*

cf. *gale*, *Corylus* cf. *cornuta*, les Ericaceae, *Ostrya/Carpinus*) au sein de toutes les coupes stratigraphiques concernées, à l'exception de *Quercus* (présent uniquement au sein des coupes 3 et 5), *Fraxinus* (uniquement au sein des coupes 4 et 5) et *Fagus* (uniquement au sein des coupes 4 et 5).

Le sommet de cette unité au sein de la coupe 4 contient toutefois beaucoup moins de grains de *Betula* et inversement beaucoup plus de grains de Cypéracées que les autres niveaux étudiés pour cette coupe. L'unité 7 de la coupe 3, elle, contient un pourcentage significativement plus élevé de grains de pollen d'*Alnus* type *incana* et de Cypéracées que les autres coupes, alors que celle de la coupe 3 contient significativement moins de grains de bouleaux (environ 30%) et plus de grains de *Carya* que les autres coupes étudiées. On observe également une montée progressive de la proportion des grains de *Pinus* cf. *banksiana* au sein de la coupe 5 en remontant vers la surface.

Les spectres polliniques contiennent également des taxons associés à des milieux ouverts ou perturbés, tels que les Poacées, les Rosacées, le *Thalictrum* et *Artemisia* type *ambrosia*, tout comme la présence de *Sphagnum* en relativement grande quantité (peut atteindre entre 10% et 20% de la SP) et celle des spores monolètes (entre 5% et 20% de la SP).

### Synthèse des analyses polliniques

Les taxons polliniques identifiés dans cette étude permettent d'ajouter de nouvelles espèces non inventoriées par Piraux en 2005 (voir tableau XVII). Ainsi, les taxons suivants ont pu être ajoutés à l'inventaire palynologique du site :

- *Abies* cf. *balsamea*
- *Corylus* cf. *cornuta*
- *Quercus* sp.
- *Acer* cf. *rubrum*
- *Fraxinus* type *nigra*
- *Carya* cf. *ovata*
- *Thuja* cf. *occidentalis*
- *Ostrya/Carpinus*

Ces espèces sont majoritairement des espèces de milieux boréaux ou subarctiques retrouvées en petites quantités sous forme pollinique dans les sédiments étudiés. Toutefois, le *Corylus* cf. *cornuta* et le *Carya* cf. *ovata* peuvent représenter plus de 5% du spectre pollinique dans certains cas (au sein de l'unité 6 de la coupe 3, par exemple).

**Tableau XVII** : LISTE DES MACRO-RESTES (M) ET DES TAXONS POLLINIQUES (P) DE 2005  
ET DE 2011

<b>Taxon</b>	<b>M 2005 :</b>	<b>P 2005 :</b>	<b>M 2011 :</b>	<b>P 2011 :</b>
<i>Picea type glauca</i>	X			X
<i>Picea type mariana</i>	X			X
<i>Picea</i> sp.		X	CP3	X
<i>Pinus</i> sp.	X	X		X
<i>Pinus type strobus</i>				X
<i>Pinus cf. banksiana</i>				X
<i>Betula cf. papyrifera</i>	X			
<i>Betula cf. glandulosa</i>	X			
<i>Betula</i> sp.		X		X
<i>Larix</i> sp.	X	X		X
Cupressaceae		X		X
<i>Thuja/Juniperus</i>				X
<i>Abies</i> sp.				X
<i>Populus</i> sp.		X		X
<i>Fraxinus type nigra</i>				X
<i>Acer cf. rubrum</i>				X
<i>Carya cf. ovata</i>				X
<i>Quercus</i> sp.				X
<i>Ostrya/Carpinus</i>				X
<i>Salix</i> sp.		X		X
<i>Alnus</i> sp.		X		
<i>Alnus type crispa (viridis)</i>				X
<i>Alnus type incana (rugosa)</i>				X
<i>Corylus cf. cornuta</i>				X
<i>Myrica arctogale</i>	X			(M. cf. g)
Ericaceae		X		X
<i>Empetrum cf. nigrum</i>			CP4	
<i>Andromeda polifolia</i>	X			
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	X			
<i>Artemisia</i>		X		X
Chenopodiaceae				X
Rosaceae	X			X
<i>Potentilla</i> sp.		X		
Ranunculaceae				X
Cyperaceae		X	CP3	X
<i>Carex</i> spp.	X			
Poaceae		X		X
<i>Menyanthes trifoliata</i>	X	X		X
Saxifragaceae		X		
<i>Epilobium</i> sp.		X		
<i>Oxyria digyna</i>		X		X
<i>Lycopodium cf. annotinum</i>				X
<i>Lycopodium cf. clavatum</i>				X
<i>Thalictrum</i>				X
<i>Potamogeton/Triglochin</i>				X
Spores monolètes				X
Spores trilètes				X
<i>Osmunda cf. regalis</i>	X			
<i>Hippuris cf. tetraphylla</i>	X			
<i>Hippuris cf. vulgaris</i>			CP4	X
<i>Aracites globosa</i>	X		CP3	
<i>Drepanocladus</i> sp.			CP 3 & 4	
<i>Sphagnum</i> sp.	X	X	CP 3 & 4	X
<b>Total des taxons</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>7</b>	<b>39</b>
<b>Grand total</b>		<b>32</b>		<b>42</b>

## Variables physico-chimiques

### Résultats des tests d'homogénéisation

Les tests réalisés afin d'évaluer l'erreur sur les données de pH, de conductivité électrique et de contenu en matière organique et en carbonates permettent de confirmer la validité des valeurs obtenues. L'erreur obtenue sur le pH est inférieure à 0,2, celle sur la conductivité électrique, inférieure à 15 S/m, celle sur le pourcentage de matière organique inférieure à 5% et celle sur le pourcentage de carbonates, inférieure ou égale à 0,2%. On observe également une plus grande variabilité des résultats pour les échantillons à forte teneur en matière organique (voir tableau XIIX). Le sommaire de ces analyses ainsi que des analyses polliniques est présenté au tableau XIX.

**Tableau XVIIX** : RÉSULTATS DES TESTS D'HOMOGÉNÉISATION DES ÉCHANTILLONS POUR LE CALCUL DU PH ET DE LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

	<b>Coupe 4</b> Profondeur = 15 cm	<b>Coupe 3</b> Profondeur = 93 cm	<b>Coupe 5</b> Profondeur = 220 cm
Test pH	6,07 ; 5,89 ; 5,86	5,80 ; 5,67 ; 5,75	7,85 ; 7,81 ; 7,76
Test conductivité	70,2 ; 67,8 ; 65,1	166,6 ; 178,6 ; 179,8	64,1 ; 68,3 ; 65,6
Test % M.O. (gravimétrique)	89,7 ; 91,4; 88,7	92,8; 88,7; 91,3	4,6; 3,9; 4,6
Test % CaCO <sub>3</sub> (gravimétrique)	0,57 ; 0,44; 0,37	0,69; 0,64; 0,74	0,91; 0,71; 0,81

## pH

Les valeurs de pH se distinguent d'une unité stratigraphique à l'autre, et se comparent bien d'une coupe stratigraphique à une autre pour les mêmes unités. Ainsi, ces dernières oscillent entre 6,36 et 8,15 dans l'unité 2 et entre 5,40 et 7,81 dans l'unité 3 (la valeur extrême de 5,40 étant observée à la base de la coupe 5). Elles sont significativement plus basses à la base de l'unité 4 (jusqu'à 4,20 pour l'échantillon provenant de la coupe 3 (Y = 100 cm)). Tel que mentionné précédemment, on assiste ensuite à une montée progressivement des valeurs de pH au sein de cette unité, puis à une stabilisation de ces dernières pour les unités 5 et 6 autour de 6,00 pour la coupe 1 et 2 et autour de 6,50 pour les coupes 3,4 et 5. Le pH correspondant à l'unité 7 varie quant à lui entre 5,87 et 7,48.

## Conductivité électrique

Les valeurs de conductivité électrique sont significativement différentes d'une unité stratigraphique à l'autre. Elles avoisinent ainsi 100 S/m pour l'unité 2, alors quelles sont très variables pour les autres unités, à l'exception de l'unité 7 (entre 36,2 et 94,5 S/m). On observe également des grandes valeurs de conductivité à la base de l'unité 4 de la coupe 3 (1164 S/m) ainsi qu'à la base de l'unité 6 des coupes 1 et 2 (plus de 500 S/m). Le sommet de l'unité 6 pour ces deux même coupes est très peu conducteur (moins de 100 S/m), tout comme les unités 4, 5 et 6 de la coupe 3.

## Matière organique

Les valeurs de pourcentage de matière organique sont significativement différentes d'une unité stratigraphique à l'autre. Elles sont ainsi très faibles et peu variables (entre 1,9% et 6,7%) pour l'unité 2. Il en est sensiblement de même pour l'unité 3, à l'exception d'un échantillon au sommet de cette unité au niveau de la coupe 1 (20,4 %). Le peu de valeurs disponibles pour les unités 4 et 5 laisse croire à une forte teneur en matière organique,

malgré la présence d'une valeur moins importante à la base de cette unité au sein de la coupe 3 (65,1%). La proportion de matière organique au sein de l'unité 6 varie en fonction des coupes étudiées; elle est ainsi relativement faible pour la coupe 1, élevée pour la coupe 5, et variable au sein des coupes 2 et 3. En effet, l'horizon de blocs cristallins dans la coupe 2 diminue de façon significative la teneur en matière organique, alors que cette teneur est de seulement 38,7% au sommet de l'unité au niveau de la coupe 3. Pour ce qui est de l'unité 7, on y observe très peu de matière organique, à l'exception du sommet de la coupe 4, où on retrouve un lambeau de tourbe (90% de M.O.).

### Carbonates

Les valeurs de pourcentages de carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ) sont très basses dans tous les cas étudiés, peu importe leur origine stratigraphique, à l'exception de la base de la coupe 1. En effet, on y observe des pourcentages entre 2,6% et 6,4% au sein des unités 2 et 3, alors que toutes les autres valeurs obtenues sont inférieures à 2,0%.

Tableau XVIII :

SYNTHÈSE DES ANALYSES POLLINIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES EN FONCTION DE LEURS UNITÉS STRATIGRAPHIQUES CORRESPONDANTES

Unité	Taxons dominants (> 5%)	Principaux taxons marginaux (< 5%)	Concentration pollinique (grains/cm <sup>3</sup> )	pH	Conductivité électrique (m/S)	% M.O.	% Carbonates	Palynodiversité
2	<i>Betula</i> Cyperaceae Ericaceae <i>Alnus type crispa</i> <i>Salix</i> <i>Larix</i>	Rosaceae <i>Oxyria type digyna</i> <i>Picea cf. banksiana</i> Poaceae <i>Picea type mariana</i> <i>Ostrya/Carpinus</i> <i>Corylus cf. cornuta</i>	5 000 et moins	6,36 – 8,15	60 – 159	1,9 – 6,7	0,6 – 1,2	10 - 16
3	<i>Betula</i> Cyperaceae <i>Alnus type crispa</i> <i>Salix</i> <i>Larix</i>	Ericaceae <i>Thuja</i> <i>Pinus cf. banksiana</i> <i>Picea type mariana</i> <i>Corylus cf. cornuta</i>	5 000 – 15 000	5,40 – 7,81	66 – 760	2,6 – 20,4	0,8 – 6,4	13 - 20
4	<i>Betula</i> Cyperaceae <i>Alnus type crispa</i> <i>Larix</i> <i>Salix</i>	<i>Thuja</i> <i>Quercus</i> <i>Myrica cf. gale</i> <i>Corylus cf. cornuta</i> Ericaceae <i>Ostrya/Carpinus</i> <i>Pinus cf. banksiana</i> <i>Picea type mariana</i>	environ 50 000	4,20 – 6,18	48 – 1164	65 – 93	0,3 – 1,4	17 – 21

Unité	Taxons polliniques dominants (> 5%)	Taxons polliniques marginaux (< 5%)	Concentration pollinique (grains/cm <sup>3</sup> )	pH	Conductivité électrique (m/S)	% M.O.	% Carbonates	Palynodiversité
5 (Coupe 2)	<i>Salix</i> Cyperaceae <i>Betula</i>	<i>Pinus cf. banksiana</i> <i>Larix</i> <i>Alnus type crispa</i> <i>Corylus cf. cornuta</i> Ericaceae	environ 80 000	6,63	611	74,2	1,1	14
5 (Coupes 3 et 4)	<i>Betula</i> <i>Alnus type crispa</i> Cyperaceae <i>Salix</i> Ericaceae	<i>Carpinus/Ostrya</i> <i>Corylus cf. cornuta</i> <i>Pinus cf. banksiana</i> <i>Pinus type strobus</i> <i>Picea type mariana</i> <i>Larix</i> <i>Carya cf. ovata</i>	environ 85 000	6,13 – 6,74	33,3 - 494	77,4 - 81,5	0,7 - 0,9	20 -22
6 (Coupe 1)	Cyperaceae Poaceae Rosaceae <i>Larix</i> <i>Salix</i> <i>Betula</i> <i>Pinus cf. banksiana</i>	<i>Myrica cf. gale</i> <i>Corylus cf. cornuta</i> Ericaceae <i>Alnus type crispa</i>	5000 - 15 000	5,56 – 6,70	82 - 544	13 – 36	1,5 – 1,8	14 -17
6 (Coupe 2)	<i>Betula</i> <i>Salix</i> Cyperaceae <i>Alnus type crispa</i> Ericaceae	<i>Pinus cf. banksiana</i> <i>Pinus type strobus</i> <i>Thuja</i> <i>Larix</i> <i>Alnus type incana</i> <i>Corylus cf. cornuta</i> Poaceae Rosaceae	15 000 – 75 000	5,18 – 6,46	37 - 792	24 - 85	0,3 – 1,8	12 - 23

Unité	Taxons dominants (> 5%)	Principaux taxons marginaux (< 5%)	Concentration pollinique (grains/cm <sup>3</sup> )	pH	Conductivité électrique (m/S)	% M.O.	% Carbonates	Palynodiversité
6 (Coupes 3 et 5)	<i>Betula</i> Cyperaceae <i>Alnus type crispa</i> <i>Pinus cf. banksiana</i> <i>Picea type mariana</i> <i>Salix</i> <i>Carya</i> <i>Pinus type strobus</i>	<i>Thuja</i> <i>Larix</i> <i>Carpinus/Ostrya</i> <i>Corylus cf. cornuta</i> <i>Myrica cf. gale</i> Ericaceae Poaceae Rosaceae	55 000 – 110 000	6,69 – 6,88	23 - 220	39 - 80	0,5 – 1,9	19 - 23
7	<i>Betula</i> <i>Pinus cf. banksiana</i> <i>Alnus type crispa</i> Cyperaceae <i>Salix</i> <i>Picea type mariana</i>	<i>Thuja</i> <i>Pinus type strobus</i> <i>Larix</i> <i>Abies</i> <i>Carya cf. ovata</i> <i>Acer cf. rubrum</i> <i>Alnus type incana</i> <i>Myrica cf. gale</i> <i>Corylus cf. cornuta</i> Ericaceae <i>Ostrya/Carpinus</i> <i>Quercus</i> <i>Fraxinus</i> <i>Fagus</i>	50 000 – 175 000	5,87 – 7,48	36 - 95	2,3 - 90	0,5 – 1,3	15 - 25

## **Discussion**

Dans cette section, un historique de la végétation et de la succession des paysages aux abords du site d'étude sera suggéré à partir des analyses faites sur le terrain et en laboratoire. Pour chaque unité stratigraphique, la nature du dépôt sera proposée, supportée par les résultats des analyses granulométriques, polliniques et de faciès. La végétation locale et extra-locale, ainsi que les conditions climatiques estimées qui en découlent seront également présentées pour les unités au sein desquelles des analyses polliniques ont été réalisées. Une synthèse de ces résultats permettra par la suite 1) de comparer la végétation fossile de l'île Bylot avec des sites actuels, en fonction des espèces jugées localement présentes et en fonction des spectres polliniques présentés dans ce travail, 2) de comparer les conditions climatiques déduites des analyses de coexistence avec des sites modernes et avec les études antérieures réalisées sur le site par Csank (2010) et 3) de proposer un âge pour les unités organiques fossilifères présentes sur le site (unités 4 à 7), grâce aux résultats des analyses paléomagnétiques et à la comparaison entre la végétation du site de l'île Bylot et celle d'autres sites arctiques plio-pléistocènes.

### **Historique du site et succession des paysages**

Les résultats obtenus permettent de mettre en lumière une succession sédimentaire et végétale en lien avec les dépôts organiques observés sur le site. Tout d'abord, les interpolations d'altitudes faites pour la roche en place (unité 1) et montrant une dépression initiale tendent à démontrer que celle-ci a été progressivement comblée par les sédiments. Ces observations montrent donc que le paysage de l'époque était significativement différent de celui d'aujourd'hui. Les résultats des analyses réalisées à l'aide d'ArcGIS tendent également à appuyer le postulat d'une succession sédimentaire sans inversion stratigraphique importante, laquelle aurait progressivement comblée la dépression initialement présente au sein de la roche mère (unité 1).

## Unité 2

La dépression initiale formée par l'unité 1 aurait initialement été comblée par un sédiment qui, d'après les résultats des analyses granulométriques et polliniques, semble être un diamicton glaciaire. En effet, l'unité 2 est caractérisée par une absence de triage des particules et de pendage préférentiel des blocs, ainsi que par la présence de blocs cristallins sub-arrondis et striés de taille décimétrique parfois incrustés les uns dans les autres, ce qui correspond à la description de ce type de dépôt. L'origine locale des blocs associés à ce dépôt déterminée par Piraux (2005) laisse donc supposer la présence d'un glacier au-dessus du site d'étude à cette époque. Selon les études géologiques faites par Klassen (1994) et selon les estimations faites par Piraux (2005) et Csank (2011) pour l'âge des dépôts organiques, ce dépôt pourrait correspondre à une glaciation plio-pléistocène non-répertoriée à ce jour.

La présence d'un certain triage des particules autour de 250  $\mu\text{m}$  pourrait indiquer une influence alluviale. Ce dépôt glaciaire aurait donc possiblement été influencé par les eaux de fontes à proximité du front glaciaire (*ice contact drift*), notamment à la base des coupes 4 et 5. Ces sédiments seraient donc issus d'un mélange entre des sédiments glaciaires et fluvio-glaciaire.

Le dépôt des sédiments près des fronts glaciaires étant généralement très hétérogène, il est ainsi possible que les courbes granulométriques ne fassent que constater cette réalité. Des analyses plus étendues permettraient de confirmer cette possibilité. Malgré les différences observées entre les deux types de distribution granulométrique, l'hypothèse la plus plausible demeure donc celle d'un âge similaire pour tous ces échantillons, à l'exception, possiblement, de ceux associés à la coupe 1. Il s'agirait ainsi que deux sous-unités associées à un seul et unique évènement glaciaire.

La végétation régionale à cette époque, déduite par les données polliniques, devait être clairsemée et réduite aux quelques zones non-englacées. Ces dernières auraient notamment permis la croissance du mélèze (*Larix*), du saule (*Salix*), de l'aulne crispé

(*Alnus* type *crispa*), des éricacées (*Chamaedaphne calyculata* ou *Andromeda polifolia*, selon les résultats d'analyse macro-fossiles faites par Piraux en 2005) et des cypéracées (*Carex?*). Compte tenu des conditions de croissance de *Larix occidentalis*, il est toutefois jugé très peu probable que cette espèce ait été présente au niveau de cette unité, d'autant plus que des macro-restes de *Larix altoborealis* ont été retrouvés par Piraux (2005), espèce directement apparentée à *Larix laricina* (Lepage et Basinger, 1991). Le bouleau était aussi présent, mais sa présence dans le paysage y était probablement mineure et restreinte aux milieux les mieux drainés, compte tenu des relativement faibles pourcentages polliniques mis en lumière pour ce taxon (< 20%). Les espèces de bouleaux présentes sur le site étaient *Betula nana* et *Betula glandulosa*, si l'on se fie à la taille des grains observés pour cette unité (principalement entre 20 et 24 µm). Le myrique (*Myrica* cf. *gale*) était également présent sur place, mais probablement en faible quantité. Des taxons de milieux humides ou aquatiques peuvent également être observés dans les spectres polliniques (*Menyanthes* cf. *trifoliata* et *Pediastrum*), ce qui implique la présence d'un ou plusieurs plans d'eau à proximité. Des apports lointains de grains de pollen de l'épinette (*Picea* type *mariana*) et du pin (*Pinus* type *strobus*) sont également soupçonnés. Les rares grains de pollen de caryer (*Carya* cf. *ovata*), de *Corylus cornuta* et d'ostryer (*Ostrya/Carpinus*) retrouvés au sein des coupes 3 et 5 seraient soit issus d'un transport de longue distance ou des grains de type secondaires (*i.e.* issus d'une unité associée à des conditions climatiques plus tempérées (unité 1 ou unité 4)). Dans cette optique, le till observé à la base de la coupe 2 contient des valeurs élevées de concentrations polliniques (44 710 et 246 208 grains/cm<sup>3</sup>).

L'échantillon analysé dans la coupe 1 fait toutefois classe à part, ne contenant pas de grains de pollen de *Larix*, de *Pinus* type *strobus*, de *Corylus* cf. *cornuta*, de *Myrica* cf. *gale*, de *Menyanthes* cf. *trifoliata* et de *Lycopodium*. On y retrouve également des taxons généralement associés à des milieux arctiques, tel que *Oxyria digyna*. La concentration pollinique qui y est associée est beaucoup plus faible que pour les autres coupes (863 grains/cm<sup>3</sup>). L'hypothèse d'un till en marge glaciaire est plausible compte tenu des valeurs relativement élevées de concentrations polliniques pour ce type de sédiment

(Richard *et al.* 1991; Fréchette *et al.* 1996). Ces différences polliniques, mais également granulométriques, laissent quant à elle penser, tel que mentionné précédemment, que ce dépôt pourrait être d'un âge différent que pour le dépôt glaciaire observé dans les autres coupes.

En somme, les faibles concentrations polliniques observées ainsi que les faibles valeurs de palynodiversité, le faible pourcentage de grains de pollen arborescent (généralement moins de 15% du total) et les faibles pourcentages de matière organique correspondraient une végétation clairsemée et/ou un taux de sédimentation très rapide. La possible présence d'un till glaciaire d'origine locale entourée d'une toundra arbustive serait dans ce cas à privilégier pour toutes les coupes sauf la coupe 1, qui était vraisemblablement proximale à un environnement encore plus froid. Les conditions climatiques déduites des analyses de coexistence (supportées par les données de Ritchie, 1987; Thompson *et al.*, 1999; Williams *et al.*, 2006 et Environnement Canada (Section *Plant Hardiness*), 2011) y étaient toutefois relativement clémentes, soit:

- Température moyenne annuelle (°C) : entre -2,4°C et 3,6°C
- Température moyenne de janvier (°C) : entre -26,6°C et -11,5°C
- Température moyenne de juillet (°C) : entre 15,7°C et 16,4°C
- Précipitations moyennes annuelles (mm) : entre 390 mm et 1469 mm
- Précipitations moyennes de janvier (mm) : entre 27,0 mm et 95,4 mm
- Précipitations moyennes de juillet (mm) : entre 63,5 mm et 106,4 mm

Les données de température sont toutefois probablement surestimées. Ceci serait dû à la possible présence de taxons boréaux tels qu'*Andromeda polifolia* et *Menyanthes cf. trifoliata*, lesquels ont des tolérances climatiques actuellement différentes (Thompson *et al.*, 1999). Il est également possible que la production pollinique de ces taxons à l'époque eue été plus importante, ce qui aurait comme effet de les surreprésenter dans les analyses. Il n'en reste pas moins que ces estimations sont au-delà de celles proposées par Csank (2011), suite à l'analyse de troncs provenant d'unités potentiellement encore plus tempérées que cette unité. Ces conditions climatiques ne correspondent pas non plus à

des conditions arctiques, ce qui suggère la présence de glaces locales entourée d'une végétation arbustive.

Les courbes de distribution granulométriques retrouvées au sein des coupes 2 et 3 pourraient également correspondre à un mélange entre les unités 2 et 3, ce qui aurait permis l'incorporation de particules fines au diamicton initial. Dans ce cas, il s'agirait probablement d'une ou de plusieurs petites dépressions comblées par l'eau près du front glaciaire, puis comblée par du matériel glaciaire. Ceci est appuyé par les similarités entre les variables physico-chimiques de ces deux unités (voir tableau XIX).

### Unité 3

Ce dépôt glaciaire (unité 2) aurait par la suite été recouvert par un sédiment d'origine glacio-lacustre. En effet, la grande proportion de particules de diamètre inférieur à 100  $\mu\text{m}$  ainsi que la stratification diffuse de cette unité tend à démontrer que l'unité 3 est associée à un milieu à dépôt régulier et à un niveau de perturbation très faible (courants estimés entre 0,2 et 50 cm/s selon la méthode des courbes de Hjulström (voir figure 16), à l'exception des échantillons CP1\_120 et CP1\_160 (jusqu'à 130 cm/s)). En outre, ces caractéristiques s'apparentent à des dépôts lacustres plutôt que marins, hypothèse également supportée par l'altitude relativement élevée de cette unité (environ 515 m au-dessus du niveau de la mer). De plus, la présence de galets (> 10 cm) et d'une portion non négligeable de sables (deuxième type de distribution granulométrique), lesquels ne correspondent pas aux courants associés à la sédimentation des particules fines dominant cette unité, suggère un apport sédimentaire extérieur sporadique. Toutefois, compte tenu du fait que la distribution granulométrique de la plupart des échantillons ne montre pas de triage évident des particules reflétant un apport alluvial de cet ordre, l'hypothèse retenue est celle d'une érosion glaciaire à proximité, suivi d'un dépôt associé à la fonte d'icebergs au-dessus d'un lac pro-glaciaire et/ou à la glace de fonte annuelle. La présence d'*Ice Rafted Detritus* (IRD) est donc à considérer dans le cas présent. Les résultats des analyses de diatomées présentés dans le rapport de Piraux (2005) laissent supposer la

présence d'un plan d'eau de faible profondeur, ce qui s'accorde bien avec les résultats de notre étude. Le relativement grand pourcentage de sables observé et les résultats des analyses *IDW* tendent également à confirmer la présence d'un lac de faible profondeur et de faible étendue.

Dans le cas précis des échantillons provenant de la coupe 4, ce dépôt glacio-lacustre aurait pu également avoir incorporé des sédiments provenant d'un affluent externe. Cet échantillon serait donc situé en bordure de cet ancien lac, si l'on se fie sur la présence en grande quantité de grains de pollen de bouleau corrodés, indicateurs d'un milieu-source turbulent et érosif. Le relativement haut pourcentage de sables et de graviers au sommet de la coupe 1 (CP1\_65 et CP1\_85) ainsi que la présence d'horizons organiques près de ces niveaux pourraient également correspondre à une ancienne bordure du lac pro-glaciaire et à une influence alluviale, tout comme la forte teneur en grains de bouleau corrodés observée au bas de la coupe 5 (CP5\_220). Des analyses supplémentaires sont cependant nécessaires pour confirmer cette possibilité. Les relativement faibles valeurs de pendage (entre 6 et 9 degrés) ainsi que l'orientation des strates vers le centre de la dépression schisteuse (unité 1) reflètent quant à elles une faible perturbation et un dépôt au fond de la dépression initiale schisteuse mise en évidence à la figure 67.

La présence de troncs orientés à la base de la coupe 5 soulève toutefois certains questionnements. Ces troncs pourraient ainsi avoir été transportés par un léger courant en bordure du lac pro-glaciaire peu profond, tel que suggéré par Piraux (2005). Malgré le faible nombre de troncs retrouvés dans cette unité, il est également jugé peu probable que l'orientation semblable des troncs soit due à des chablis ou à de l'érosion glacielle en bordure du lac. Il est également possible que ces pièces de bois appartiennent à des unités stratigraphiques plus anciennes érodées, compte tenu de leur bon état de conservation, de la présence de graviers incrustés dans les pièces de bois et de leur position dans la colonne sédimentaire. Les lacs pro-glaciaires étant sujets à des brassages mineurs de leurs eaux, ces derniers sont souvent pauvres en oxygène, favorisant la conservation de la matière organique.

Pour ce qui est du troisième type de distribution granulométrique observé pour cette unité (échantillons CP1\_120 et CP1\_160), la possibilité jugée la plus plausible est le soulèvement et la dégradation de la roche en place (schiste) suite à un remaniement (par l'eau?) de ce matériel. La proximité altitudinale entre les unités 1 et 3 à cet endroit, révélée sur le terrain et par les analyses *Différence* (ArcGIS), appuie cette éventualité. Le triage des particules observé pour ces échantillons pourrait toutefois avoir deux origines, soit la nature même de la roche mais également un brassage entre cette roche friable et les dépôts de l'unité 3. La proximité d'horizons stratifiés et associés aux échantillons glac1 et glac2 va également dans ce sens. Les relativement grands contenus en carbonates observés pour ces niveaux (jusqu'à 6,4%) viennent également à l'appui du postulat de la dégradation de la roche en place, à forte teneur en calcaire.

Le couvert végétal associé à ce lac pro-glaciaire, ne montre pas de changements significatifs avec l'unité stratigraphique précédente, hormis les plus faibles pourcentages de grains de *Corylus cf. cornuta*. En effet, les spectres polliniques suggèrent la présence locale du mélèze (*Larix*) et du saule (*Salix*), tandis que l'aulne crispé (*Alnus type crispa*), le bouleau et les cypéracées étaient aussi probablement présents, mais en moins grande quantité. Les espèces de bouleaux présentes sur le site à cette époque était essentiellement *Betula nana* et *Betula glandulosa*, compte tenu de la taille des grains observés pour cette unité (principalement entre 19 et 24 µm). On remarque aussi la présence de taxons associés à des milieux riverains et lacustres (*Menyanthes cf. trifoliata*, *Potamogeton*, *Nuphar* et *Polygonum*). Les faibles quantités de grains de pollen de caryer (*Carya cf. ovata*), de cèdre (*Thuja cf. occidentalis*), d'ostryer (*Ostrya/Carpinus*), de pin (*Pinus type banksiana*) et d'épinette (*Picea type mariana*) seraient quant à eux associés des apports lointains en provenance du sud ou à une unité plus vieille contenant des espèces de milieux plus tempérés (unité 1).

Les similitudes entre la végétation des unités 2 et 3 se traduisent par des conditions climatiques estimées très similaires, soit :

- Température moyenne annuelle (°C) : entre -4,8°C et 3,7°C
- Température moyenne de janvier (°C) : entre -26,6°C et -11,5°C
- Température moyenne de juillet (°C) : entre 15,1°C et 16,4°C
- Précipitations moyennes annuelles (mm) : entre 390 mm et 1469 mm
- Précipitations moyennes de janvier (mm) : entre 27,0 mm et 95,4 mm
- Précipitations moyennes de juillet (mm) : entre 45,03 mm et 106,4 mm

Encore une fois, ces valeurs sont probablement surestimées, principalement en conséquence à la présence du *Menyanthes cf. trifoliata* et de l'*Alnus* type *crispa*, lesquelles sont des espèces principalement de milieux boréaux. La faible biodiversité déduite des spectres polliniques ne permet pas non plus de bien préciser les conditions de températures qui en résultent. En considérant les valeurs moyennes obtenues pour la température moyenne annuelle et la température moyenne de juillet et en excluant le *Menyanthes cf. trifoliata* des estimations de température, les valeurs reflétant la végétation de l'unité 3 s'approcheraient ainsi des valeurs estimées par Csank en 2011 ( $-2,9 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$  et  $13,5 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$  respectivement).

Quant à la végétation associée aux échantillons analysés au sein de la coupe 1, on observe quelques différences significatives. Ainsi, leur contenu plus important en grains de cypéracées et de poacées (lesquels ne voyagent pas sur de longues distances) indique que cette coupe était située en bordure du dit lac pro-glaciaire, là où poussaient localement ces taxons. Le contenu plus important en sables ainsi que la proportion relativement importante de grains de bouleaux corrodés permettent également d'appuyer cette hypothèse. Toutefois, la taille plus importante des grains de bouleaux (principalement entre 24 et 26  $\mu\text{m}$  de diamètre), pourrait indiquer un âge différent pour ces sédiments. La possible présence de *Betula papyrifera* qui en résulte a également un impact sur les estimations de température, principalement pour ce qui est des températures de juillet (entre 15,7°C et 22,5°C par rapport à entre 15,1°C et 16,4°C).

Somme toute, les faibles valeurs de concentrations polliniques et palynodiversité observées au sein de cette unité traduisent une végétation clairsemée légèrement plus

diversifiée que pour l'unité 2 ainsi qu'un taux de sédimentation très rapide. Le faible pourcentage de grains de pollen arborescent (entre 10 et 25%) et la présence de grains de pollen provenant de milieux plus tempérés tend également dans ce sens.

#### Unité 4

Ce lac pro-glaciaire peu profond aurait par la suite été progressivement comblé par la végétation associée aux dépôts de l'unité 4. La découverte d'un pic de spores de sphaignes à la base de cette unité pour les coupes 3 et 5, combinée à des valeurs de pH acides (4,2 dans le cas de la coupe 3), à l'absence de matière inorganique au sein de l'horizon de sphaignes dans la coupe 3 et à la présence de lambeaux de tourbe à la base de cette unité dans la coupe 5 impliqueraient une colonisation initiale par une tourbe formée d'un mélange de sphaignes et de mousses brunes, au sein de laquelle le *Larix*, l'*Alnus* type *crispa* et le *Pinus* cf. *banksiana* pouvaient croître. Le *Picea* type *glauca*, espèce intolérante aux milieux acides, devait quant à lui être restreint aux milieux les mieux drainés. Le bouleau était également présent localement, principalement sous la forme de *Betula nana* et de *Betula glandulosa*. Enfin, la présence de taxons caractéristiques de milieux ouverts et humides (*Lycopodium annotinum*, *Polygonum*, Onagraceae, *Artemisia* type *ambrosia*, *Potamogeton*) suppose la présence initiale d'un milieu ouvert et conforte l'idée du comblement d'un ou de plusieurs petits lacs (unité 3) par la tourbe.

Dans le cas présent, un feu, possiblement combiné à un changement local d'hydrologie (possiblement un assèchement dû à la baisse de la nappe phréatique), pourrait ensuite expliquer le passage de cette tourbe de type ombrotrophe (plus acide et à dominance de sphaignes) à une tourbe de type minérotrophe (plus basique et généralement plus riche en espèces végétales). Ce passage est notamment marqué par une colonisation importante et rapide de l'aulne crispé (*Alnus* type *crispa*), de l'épinette noire (*Picea* cf. *mariana*) et du bouleau (espèces arbustives et arborescentes), également indicateurs d'un milieu légèrement plus sec, en dépit de la baisse de la proportion du mélèze (*Larix* cf. *laricina*)

dans le paysage. Il est aussi marqué par une hausse rapide des valeurs de pH pour atteindre des valeurs autour de 6,0.

On note également au sein de cette unité la présence de grains d'espèces de milieux tempérés en faible quantité (*Quercus*, *Fraxinus*, *Ostrya*), probablement issus d'un transport de longue distance venu du sud, mais aussi des pourcentages relativement élevés de grains de pollen de caryer et d'ostryer (*Carya* cf. *ovata* et *Ostrya/Carpinus*), laissant croire que ces espèces croissaient près du site à cette époque. Il est toutefois peu possible que ces taxons eut été dominants à l'époque compte tenu des conditions climatiques estimées, malgré la sous-représentation importante de ces taxons au sein des spectres polliniques actuels.

Par la suite, on observe au niveau de la coupe 3 une recolonisation progressive du mélèze, du pin blanc et des éricacées, tout en conservant des taxons de milieux tourbeux de type minérotrophe riche, telles que les mousses brunes, les cypéracées, l'aulne crispé, l'épinette noire, le saule et le myrique. Aucun changement majeur des taxons n'a cependant pu être observé au sein de la coupe 5, compte tenu de la faible épaisseur de cette unité (environ 10 cm) et de l'intervalle d'échantillonnage.

L'implantation progressive du *Pinus* cf. *strobus* pourrait être expliquée par une incidence plus élevée des feux. Une quantité importante de troncs avec traces de charbon a également été découverte dans cette unité, appuyant l'hypothèse de feux fréquents. Cette végétation formait probablement un couvert de densité et de biodiversité moyenne de type toundra forestière, si on se fie aux valeurs de concentrations polliniques (autour de 50 000 grains/cm<sup>3</sup>) et aux valeurs de palynodiversité (entre 17 et 21 taxons recensés). Les relativement faibles pourcentages observés pour le pin et l'épinette laissent cependant croire que ces taxons étaient présents seulement en faible quantité, bien que leur représentation pollinique était visiblement davantage représentative de la réalité terrain à l'époque (Matthews, données non-publiées). La découverte faite par Piraux (2005) de macro-restes de *Picea* type *mariana* et *glauca* ainsi que de deux espèces de pin

(*P. albicaulis* et *Pinus sp.*) au sein de cette unité viennent également confirmer la présence locale de ces taxons.

Les conditions climatiques déduites par la méthode de coexistence pour cette unité sont significativement plus chaudes et humides que pour les unités présentées précédemment, soit :

- Température moyenne annuelle (°C) : entre -0,5°C et 3,6°C
- Température moyenne de janvier (°C) : entre -20,6°C et -11,5°C
- Température moyenne de juillet (°C) : entre 15,7°C et 16,4°C
- Précipitations moyennes annuelles (mm) : entre 550 mm et 1435 mm
- Précipitations moyennes de janvier (mm) : entre 27,0 mm et 95,4 mm
- Précipitations moyennes de juillet (mm) : entre 60 mm et 106,4 mm

Contrairement aux précédentes unités, le grand nombre d'espèces jugées présentes au sein de cette unité permet de considérer les estimations faites quant aux valeurs de températures et de précipitations comme relativement fiables. Toutefois, les valeurs de température pourraient être aussi légèrement surestimées, considérant les tolérances climatiques particulières du *Corylus*, du *Pinus* type *strobus*, de l'*Andromeda polifolia* et du *Menyanthes cf. trifoliata* par rapport aux autres espèces analysées, particulièrement pour ce qui est de la température moyenne de juillet. En conséquence, les valeurs réelles reflétant la végétation de l'unité 4 s'approcheraient alors probablement des valeurs estimées par Csank en 2011 ( $-2,9 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$  et  $13,5 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ , respectivement). Les relativement hautes valeurs de pendage pour cette unité (principalement entre  $10^{\circ}$  et  $15^{\circ}$ ) impliquent quant à elles la croissance initiale de la tourbe le long d'une pente. Les valeurs d'orientation supposent de leur côté la croissance de cette tourbe directement au sein de la dépression formée par les dépôts provenant de l'unité 2 et 3 (voir interpolations ArcGIS, figures 67 et 68). Il est ainsi possible qu'un mélange se soit opéré entre l'unité 4 et ces deux unités sous-jacentes, compte tenu de certaines valeurs de pourcentages de

matière organique (minimum de 65% dans le cas de l'échantillon CP3\_97,5 cm). Un apport hydrologique sporadique pourrait également expliquer ces valeurs.

La qualité de préservation du matériel organique, la faible portion de matériel inorganique, l'épaisseur de cette unité et l'absence de signes d'érosion du matériel permet de soulever l'hypothèse d'un dépôt sur quelques centaines d'années, si l'on se fie au taux de dépôt de la tourbe en milieux subarctique à l'heure actuelle (de l'ordre de 0,1 à 1 mm/an (Payette, 1988; Ovensen, 1990)). La compression de la tourbe et la présence de troncs brûlés, suggérant des feux fréquents, nous indique cependant que la durée de formation de cette unité est probablement sous-estimée et que certaines sections de la stratigraphie sont manquantes. Il est cependant à noter que le bilan hydrique y était probablement positif, car un assèchement prolongé du site aurait favorisé une décomposition rapide et n'aurait pas permis la conservation exceptionnelle des troncs retrouvés dans cette unité.

### Unité 5

La végétation tourbicole formant l'unité 4 se serait par la suite progressivement transformée en une végétation quelque peu différente, formant l'unité 5. Toutefois, tel que mentionné dans la section *Résultats*, la végétation associée à l'unité 5 se sépare en deux classes, les spectres polliniques provenant de la coupe 2 étant significativement différents de ceux des coupes 3 et 4.

En effet, selon l'analyse des spectres polliniques, le couvert végétal associé aux coupes 3 et 4 était probablement dominée par le bouleau (principalement sous la forme de *Betula glandulosa* et *Betula nana*, compte tenu de la taille des grains observés pour cette unité (principalement entre 21 et 26  $\mu\text{m}$ ), l'aulne crispé (*Alnus* type *crispa*), le saule (*Salix*) et les éricacées. Les cypéracées, le mélèze (*Larix*) et le noisetier (*Corylus* cf. *cornuta*) étaient eux aussi probablement présents sur place en faible quantité. Les grains de pollen de pin (type *strobis* et type *banksiana*), d'épinette (cf. *mariana*), d'ostryer (*Ostrya/Carpinus*) et de caryer (*Carya* cf. *ovata*) dénombrés seraient quant à eux

d'origine régionale. La présence de *Menyanthes* cf. *trifoliata*, *Lycopodium* et *Potamogeton*, ainsi qu'une quantité considérable de spores monolètes, trilètes et de *Sphagnum*, laisse penser à une cohabitation de milieux humides et mésiques aux abords du site durant cette période. La présence d'une toundra forestière ponctuée de milieux humides et de petits lacs est donc à privilégier pour représenter cette unité stratigraphique.

Suite à l'application de la méthode de la coexistence, les conditions climatiques observées en lien avec cette végétation seraient les suivantes, légèrement plus froides en termes de température moyenne annuelle par rapport à l'unité 4 :

- Température moyenne annuelle (°C) : entre -2,4°C et 3,6°C
- Température moyenne de janvier (°C) : entre -25,4°C et -11,5°C
- Température moyenne de juillet (°C) : entre 15,7°C et 16,4°C
- Précipitations moyennes annuelles (mm) : entre 390 mm et 1469 mm
- Précipitations moyennes de janvier (mm) : entre 27,0 mm et 95,4 mm
- Précipitations moyennes de juillet (mm) : entre 53,5 mm et 106,4 mm

Tout comme pour l'unité 2, la possible présence locale de *Corylus* cf. *cornuta*, de l'*Andromeda polifolia* et du *Menyanthes* cf. *trifoliata* reflètent des conditions non-arctiques. Elles le sont probablement encore davantage dans le cas des sédiments associés à la coupe 2, dont les espèces de milieux plus tempérées, notamment l'*Alnus* cf. *crispa*, sont jugées présentes en plus faible quantité. En effet, le spectre pollinique provenant de l'analyse de cette coupe traduit la présence locale des mêmes taxons que pour les coupes 3 et 4, mais dans des proportions différentes. Ainsi, seulement le saule (*Salix*), les éricacées et les cypéracées y étaient probablement présents en grande quantité, alors que le bouleau sous sa forme arbustive (*Betula nana* et *Betula glandulosa*), le mélèze (*Larix*), le noisetier (*Corylus* cf. *cornuta*) et l'aulne crispé (*Alnus* cf. *crispa*) y étaient présents mais de façon marginale. Le *Pinus* cf. *banksiana*, quant à lui, était probablement présent seulement régionalement. Tout comme pour les coupes 3

et 4, la présence de *Menyanthes* cf. *trifoliata*, *Lycopodium* type *clavatum*, *Pediastrum* spp. et *Potamogeton*, ainsi qu'une quantité considérable de spores monolètes et d'*Ambrosia* laisse penser à un complexe de milieux humides et mésiques aux abords du site durant cette période. Somme toute, l'assemblage végétal associé à la coupe 2 laisse croire à un assemblage végétal semblable à ceux de la toundra arbustive actuelle. On remarque également que les taxons en présence sont très semblables à ceux observés au sein de l'unité 2, à l'exception de *Myrica* cf. *gale*.

Dans la coupe 3, les horizons de sables stratifiés observés directement au-dessus et en dessous de l'unité 5 pourraient correspondre à un apport alluvial en bordure de la tourbière de l'époque, empêchant l'enracinement d'une végétation. La relativement grande proportion de grains de bouleaux corrodés autour de ces niveaux d'analyse, ainsi que par les fortes variations des valeurs de concentrations polliniques pour ces mêmes niveaux corroborent en ce sens. Cet apport sédimentaire pourrait également être dû à l'implantation d'un barrage de castor. En effet, la présence de troncs grugés implique la présence locale de cet animal. Somme toute, la présence de ces sables et les estimations de précipitations similaires entre les unités 4 et 5 appuient la possibilité qu'un niveau local de la nappe phréatique près de la surface à cette époque ait été le principal facteur expliquant le changement local de végétation aux abords du site.

Enfin, les valeurs de pendage, d'orientation et de palynodiversité similaires à celles de l'unité 4 appuient l'hypothèse du dépôt de l'unité 5 directement par-dessus cette dernière. Les relativement grandes différences d'altitude locale mises en lumière par les analyses *Différence* (ArcGIS) tendent à confirmer l'absence générale de brassage entre ces deux unités. Des valeurs potentiellement négatives (classe de -5 à 0 mètres) sont toutefois observées autour des coupes 2 et 3, mais les analyses stratigraphiques faites sur ces coupes montrent que la valeur réelle sur le terrain est en fait positive, mais plus petite qu'un mètre. Le faible pourcentage de matière organique (28,2%) observé dans la coupe 2 implique également un brassage local entre cette unité et l'unité 3, ce qui pourrait expliquer en partie la présence de taxons appartenant à des milieux plus froids.

## Unité 6

L'unité organique reposant au-dessus de la tourbe associée à l'unité 5 traduit bien l'évolution de la végétation sur le site. En effet, la plupart des espèces retrouvées sous forme pollinique au niveau de cette unité correspondent à des taxons de milieux tourbeux de type minérotrophe, telles que les cypéracées, le mélèze, l'aulne, le saule et le myrique et ce, peu importe la coupe étudiée. Ceci implique toutefois un changement important en termes d'hydrologie locale (assèchement important). Toutefois, comme nous le verrons plus loin, les spectres polliniques provenant de la coupe 2, significativement différents de ceux des coupes 3 et 4, reflètent une végétation quelque peu différente.

Le couvert végétal associé à la coupe 2 correspond à une relativement faible biodiversité locale, mais dominé par des taxons sensiblement différents, dont le mélèze (*Larix cf. laricina*), le saule (*Salix*), l'aulne crispé (*Alnus type crispa*), le noisetier (*Corylus cf. cornuta*), les éricacées (*Chamaedaphne calyculata* ou *Andromeda polifolia*, selon les résultats d'analyse macro-fossiles de Piraux 2005) et les cypéracées (*Carex?*). Le bouleau y était aussi présent en grande quantité localement, surtout au sommet de l'unité où ce taxon atteint jusqu'à 93% de la somme pollinique. Compte tenu du diamètre des grains de pollen observés, le bouleau était présent sous sa forme arborescente *Betula papyrifera*, mais également sous ses formes arbustives (*Betula nana* et *glandulosa*), lesquels devaient croître sur les sites les mieux drainés. La présence des Chenopodiacées, des Caryophyllacées, de *l'Artemisia type ambrosia*, des Poacées et des Rosacées au sein de toute cette unité reflète la présence de milieux ouverts de type subarctiques ou arctiques à proximité du site, malgré la présence de *Menyanthes cf. trifoliata* (espèce plutôt boréale à l'heure actuelle).

Suite à l'application de la méthode de la coexistence, les conditions climatiques observées en lien avec cette végétation seraient :

- Température moyenne annuelle (°C) : entre -2,4°C et 3,6°C
- Température moyenne de janvier (°C) : entre -25,2°C et -11,5°C

- Température moyenne de juillet (°C) : entre 15,7°C et 16,4°C
- Précipitations moyennes annuelles (mm) : entre 390 mm et 1469 mm
- Précipitations moyennes de janvier (mm) : entre 27,0 mm et 95,4 mm
- Précipitations moyennes de juillet (mm) : entre 53,5 mm et 106,4 mm

Ces valeurs correspondent sensiblement aux mêmes que celles obtenues pour l'unité précédente. Toutefois, la présence des Chenopodiacées, des Caryophyllacées, de l'*Artemisia* type *ambrosia*, des Poacées et des Rosacées tend toutefois vers un milieu plus froid, ce qui laisse penser à une surestimation des variables climatiques.

Somme toute, les relativement faibles concentrations polliniques (15 000 à 75 000 grains/cm<sup>3</sup>) supposent une végétation clairsemée, mais tout de même plus dense et tempérée que celles représentées aux unités 2 et 3. En effet, les pourcentages de grains de pollen arborescents varient entre 15 et 95% si on y inclut les grains de bouleaux, ce qui est similaire aux spectres polliniques analysés à la limite des toundras arbustives actuelles.

Les grandes valeurs de pendage calculées pour cette unité impliqueraient enfin la croissance d'une tourbe le long d'une pente. Ceci pourrait expliquer la présence d'un horizon de blocs cristallins décimétriques imbriqués dans la coupe 2, déposé à cet endroit suite à un mouvement de versant localisé. L'absence de versant à l'heure actuelle et la lithologie des blocs, uniforme et différente des blocs avoisinants, soulèvent toutefois encore bien des questionnements.

Les spectres polliniques très semblables à ce niveau et les plus faibles pourcentages de matière organique supportent également l'hypothèse d'un brassage important des horizons tourbeux en surface à cette époque. Ce brassage aurait permis un certain assèchement du matériel, ce qui pourrait expliquer en partie l'augmentation de la proportion des grains de bouleau et d'aulne crispé par la suite, combinée à une baisse de la proportion des grains de saule.

Enfin, le couvert végétal associé aux coupes 3 et 5 correspond à une biodiversité locale relativement élevée. Ainsi, les spectres polliniques analysés pour ces coupes tendent à confirmer la présence locale du mélèze (*Larix* cf. *laricina*), de l'aulne crispé (*Alnus* type *crispa*), du noisetier (*Corylus* cf. *cornuta*), du caryer (*Carya* cf. *ovata*), des éricacées (*Chamaedaphne calyculata* ou *Andromeda polifolia*, selon les résultats d'analyse macro-fossile de Piraux 2005), du myrique (*Myrica* cf. *gale*) et des cypéracées (*Carex*?). Le bouleau (majoritairement *Betula papyrifera* ou *Betula alleghaniensis* selon le diamètre moyen des grains) était quant à lui probablement rare dans le paysage de l'époque, mais devait tout de même croître localement, tout comme le *Picea* type *mariana*. Ces derniers, ainsi que le noisetier et le caryer, devaient coloniser les sites les milieux drainés en bordure de la tourbière associée aux dépôts étudiés. Dans le cas du noisetier et du caryer, il est toutefois peu possible que ces taxons eurent été dominants à l'époque, tout comme au sein de l'unité 4. En effet, les conditions climatiques estimées y sont jugées très restreignantes pour ces taxons, si l'on se fie à leurs aires de distribution actuelles respectives.

Les pourcentages importants de spores monolètes et de spores de sphaignes supposent également une présence significative de milieux humides ou mal drainés à cette époque, malgré la faible représentation pollinique de taxons exclusivement aquatiques (*i.e.* *Potamogeton* et *Menyanthes* cf. *trifoliata*). On parle donc d'un certain assèchement par rapport à la végétation type retrouvée au sein de l'unité 5.

Enfin, la découverte faite par Piraux (2005) de macro-restes de *Picea* type *mariana* vient établir la présence locale de ce taxon malgré les relativement faibles pourcentages polliniques qui y sont associés. Les coupes 3 et 5 semblent également contenir des indices d'une végétation régionale (quelques centaines de kilomètres) composée en partie d'espèces de milieux plus tempérés comme l'ostryer (*Ostrya/Carpinus*), les pins (*Pinus* type *strobus* et *banksiana*) et le cèdre (*Thuja* cf. *occidentalis*), le sapin (*Abies* cf. *balsamea*) et l'érable (*Acer* cf. *rubrum*).

Suite à l'application de la méthode de la coexistence, les conditions climatiques observées en lien avec cette végétation seraient donc de :

- Température moyenne annuelle (°C) : entre 3,5°C et 9,8°C
- Température moyenne de janvier (°C) : entre -12,8°C et -2,0°C
- Température moyenne de juillet (°C) : entre 16,7°C et 17,1°C
- Précipitations moyennes annuelles (mm) : entre 630 mm et 1560 mm
- Précipitations moyennes de janvier (mm) : entre 19,3 mm et 150 mm
- Précipitations moyennes de juillet (mm) : entre 61 mm et 138,2 mm

Ces valeurs, significativement plus élevées que pour les unités présentées précédemment, s'expliquent par la présence d'espèces exclusivement boréales, telles que *Corylus cf. cornuta*, *Carya cf. ovata*, *Myrica cf. gale* et *Betula alleghaniensis*. Par contre, même en considérant les valeurs minimales obtenues pour la température moyenne annuelle et la température moyenne de juillet, ce qui peut être considéré comme un jugement conservateur, ces valeurs sont tout de même plus élevées que celles estimées par Csank en 2011 ( $-2,9 \pm 3,9^\circ\text{C}$  et  $13,5 \pm 1,1^\circ\text{C}$  respectivement).

Somme toute, les concentrations polliniques relativement élevées retrouvées à ces niveaux (entre 55 000 et 110 000 grains/cm<sup>3</sup>), ainsi que la présence de *Betula alleghaniensis* et de *Carya cf. ovata* et le pourcentage relativement élevé de grains de pollen de type arborescent (entre 40 et 55% si on inclut les grains de bouleaux) impliquent une végétation plus dense que pour les unités précédentes, probablement de type boréal à la limite de la toundra forestière, au niveau des deux coupes. Les valeurs de pH, assez stables autour de 6,70, ainsi que les grandes variations des pourcentages de matière organique (entre 39% et 79%) reflètent le brassage constant entre la tourbe présente et la matière inorganique au sommet de l'unité pour la coupe 3 ainsi qu'un apport constant de matière inorganique vers la tourbière de l'époque (apport alluvial?). L'augmentation graduelle et sans hiatus du pH au sein de cette unité pour la coupe 3

suppose quant à elle un remplacement progressif des sphaignes dominant la base de l'unité 4.

Toutefois, on observe certaines différences entre les spectres polliniques de la coupe 3 et ceux de la coupe 5. En effet, les résultats obtenus reflètent une présence possiblement locale de l'*Alnus* type *incana* au sein de la coupe 5, ce qui n'est pas le cas pour la coupe 3 en raison d'une trop faible représentation pollinique. Cette différence pourrait être expliquée par un âge légèrement différent entre les deux unités.

Tout comme pour l'unité 5, la qualité de préservation du matériel organique, la faible portion de matériel inorganique, l'épaisseur de cette unité et l'absence de signes d'érosion du matériel permettent de poser l'hypothèse d'un dépôt sur quelques centaines d'années tout au plus, si l'on se fie au taux d'accumulation de la tourbe en milieu subarctique à l'heure actuelle (de l'ordre de 0,1 à 1 mm/an (Payette, 1988; Ovenden, 1990)). La faible épaisseur de cette unité ne nous permet toutefois pas de déterminer une séquence de végétation durant cette période. Les faibles différences d'altitude entre les unités 5 et 6 pour les coupes 3 et 5 laissent quant à elles penser que le matériel de l'unité 5 ait servi de substrat à l'unité 6.

### Unité 7

L'unité 6 a été recouverte par la suite par un sédiment d'origine alluviale, si on en juge par la présence en grande quantité de particules autour de la granulométrie 250  $\mu\text{m}$  pour tous les échantillons analysés, qu'ils soient associés à des dépôts à forte teneur en fragments ligneux ou à de minces horizons stratifiés entre deux unités tourbeuses. La présence de troncs orientés dans la coupe 5, l'absence d'écorce et l'aspect émoussé des plus gros fragments de bois et les relativement grands pourcentages de grains de *Betula* corrodés retrouvés militent également en faveur de cette hypothèse alluviale. Considérant la courbe de Hjulström et les courbes granulométriques cumulatives selon la méthode définie par Visher (1969), les courants associés, de l'ordre de 0,7 à 100 cm/s, impliquent d'importantes variations et un courant de moyenne intensité. Les variations importantes

des mesures de pendages et d'orientations supposent un dépôt sur un relief inégal, mais une orientation préférentielle des strates vers l'est permet d'établir l'hypothèse d'un courant général ouest-est.

Les résultats des interpolations *Différence* (ArcGIS) entre les unités 6 et 7 indiquent aussi un surcreusement par le matériel associé à l'unité 7, à l'exception des sites associés aux coupes 2, 3 et 4 qui auraient été des monticules à l'époque. Certaines zones du site d'étude auraient été recouvertes ou non à cette époque en fonction de la topographie locale.

L'absence de particules d'entre 100 et 150  $\mu\text{m}$  au niveau de certains échantillons est quant à elle probablement due à l'érosion éolienne. Considérant l'hypothèse d'un dépôt alluvial, les dépôts associés à ces niveaux ont donc dû être momentanément situés hors de l'eau. Ceci indique un faible niveau d'eau ou un cours d'eau très dynamique spatialement, car ce type de distribution granulométrique se retrouve sporadiquement dans les coupes 4 et 5.

Cette unité contient les spectres polliniques reflétant la végétation la plus diversifiée. Ainsi, le couvert végétal associé à cette unité était vraisemblablement dominée par le mélèze (*Larix cf. laricina*), l'aulne crispé (*Alnus type crispa*), le bouleau (essentiellement *Betula papyrifera*, selon le diamètre des grains analysés, mais possiblement aussi *Betula alleghaniensis*), le pin (*Pinus type banksiana*) et les éricacées. Le *Corylus cf. cornuta*, le *Salix*, l'*Ostrya/Carpinus*, le *Picea cf. mariana*, le *Myrica cf. gale*, le *Pinus type strobus* et les cypéracées y étaient également possiblement présents sur place, mais en faible quantité, tout en colonisant surtout les sites les mieux drainés. Tout comme pour les unités 5 et 6, les relativement faibles pourcentages observés pour le pin et l'épinette laissent tout de même croire que ces taxons étaient présents aux abords du site. La découverte faite par Piraux (2005) de macro-restes de *Picea* type *mariana* et *glauca* ainsi que de deux espèces de pin (*P. albicaulis* et *Pinus* sp.) confirme également la présence locale de ces taxons.

On observe également la présence de grains de pollen d'érable (*Acer* cf. *rubrum*), d'aulne gris (*Alnus* type *incana*), de caryer (*Carya* cf. *ovata*), de sapin (*Abies* cf. *balsamea*), de chêne (*Quercus*), de frêne (*Fraxinus*), de cèdre (*Thuja* cf. *occidentalis*) et de l'épinette (*Picea* type *glauca*), lesquels sont probablement issus d'un transport de longue distance. Dans le cas d'*Alnus* type *incana*, il poussait probablement localement au moment du dépôt associé à la coupe 5, tout comme pour le *Carya* cf. *ovata* pour la coupe 3. Encore une fois, la présence de ces essences dans les sédiments laisse penser à la présence d'un couvert végétal peu dense favorisant le transport de longue distance. Il est également à noter que les relativement grands pourcentages de spores monolètes et de *Sphagnum* supposent l'incorporation de dépôt tourbeux associés à cette unité au niveau de la coupe 5, ainsi qu'au sommet de cette unité au niveau de la coupe 4. La présence de taxons de milieux humides ou aquatiques (*Menyanthes* cf. *trifoliata*, *Nuphar*, *Potamogeton* et *Sphagnum*) ainsi que de milieux perturbés ou méziques (*Polygonum*, *Lycopodium* spp. et *Artemisia*) correspondrait également à un complexe de ce type à proximité. Dans le cas présent, la forte proportion de spores monolètes observée pourrait être associée à la présence de tourbe de mousses brunes.

Suite à l'application de la méthode de la coexistence, les conditions climatiques observées en lien avec cette végétation seraient :

- Température moyenne annuelle (°C) : entre 2,5°C et 3,6°C
- Température moyenne de janvier (°C) : entre -16,5°C et -11,5°C
- Température moyenne de juillet (°C) : entre 15,7°C et 22,5°C
- Précipitations moyennes annuelles (mm) : entre 600 mm et 1435 mm
- Précipitations moyennes de janvier (mm) : entre 27,0 mm et 95,4 mm
- Précipitations moyennes de juillet (mm) : entre 61 mm et 106,4 mm

Ces valeurs sont toutefois probablement surestimées, principalement en raison de la possible présence locale de *Ostrya* cf. *virginiana* et de *Carpinus* cf. *caroliniana*, lesquels ne sont pas retrouvés à l'heure actuelle dans les zones boréales et subarctiques (Thompson et al., 1999). Toutefois, même en considérant les valeurs minimales de

températures estimées par cette méthode (2,5°C, -16,5°C et 15,7°C respectivement), lesquelles sont jugées plus probables, ces dernières sont plus élevées que les estimations faites par Csank (2011).

Somme toute, les relativement grandes concentrations polliniques calculées pour cette unité (majoritairement entre 50 000 et 175 000 grains/cm<sup>3</sup>) ainsi que la relativement grande proportion de grains de pollen arborescents (entre 45 et 70% si on inclut les grains de bouleau) laissent croire à une végétation plus dense que celle présente au sein des autres unités et s'apparentant aux sites de toundra forestière ou de forêts boréales ouvertes actuels. L'uniformité relative des spectres polliniques, des valeurs de conductivité électrique et des pourcentages de matière organique à travers les différentes coupes exploitées et en fonction de la profondeur impliqueraient quant à elles un taux de sédimentation élevé et de courte durée, lesquels n'ont pas enregistré des changements majeurs de végétation.

### Unité 8

Par la suite, ce sédiment alluvial fut vraisemblablement recouvert par un dépôt glaciaire, associé à l'unité 8. En effet, les variations importantes du diamètre moyen et médian des particules, l'absence de triage important, la structure sub-arrondie des blocs présents et la présence de stries sur certains blocs viennent appuyer cette hypothèse. Selon la méthode de Visser (1969), cela se traduit par des courants plus importants mais également plus variables, soit entre 0,5 et 130 cm/s, pour les échantillons admissibles à cette méthode. En effet, les distributions granulométriques étudiées permettent également de mettre en évidence des similarités tant avec l'unité 2 qu'avec l'unité 9 présentée plus loin. Le premier type de distribution granulométrique associé à cette unité pourrait ainsi être associé à un till, le deuxième type, à un *ice contact drift* et le troisième, à un dépôt fluvio-glaciaire.

Certains échantillons feraient également partie d'un dépôt de type deltaïque à l'est du site d'étude. Les mesures de pendage et d'orientation prises aux alentours de la coupe 6 supportent en effet l'hypothèse d'un delta fluvio-glaciaire à l'est du site d'étude, lequel s'écoulait vers le sud-est. Tout comme pour l'unité 3, l'altitude du site permet d'exclure l'hypothèse d'un milieu marin.

Un courant préférentiel peut également être déduit grâce aux résultats des analyses granulométriques. En effet, le triage des particules principalement entre 300 et 550 micromètres observé dans les échantillons *fgg8*, *fgm2*, *fgg10*, *fgg2* et *fgg1* ainsi que l'orientation des strates au sein de ces unités supposent un courant principal pouvant aller jusqu'à 130 cm/s suivant ce parcours ouest-est.

Selon les résultats des analyses *IDW* et *Différence* (ArcGIS), il semblerait que les sédiments associés à l'unité 8 se soient déposés dans une dépression recouvrant seulement la partie est du site d'étude, le reste ayant probablement été comblé par les sédiments de l'unité 7. Enfin, aucune analyse pollinique n'ayant été faite au sein de cette unité, il est difficile d'évaluer le couvert végétal présent à l'époque. Toutefois, l'hypothèse d'un dépôt glaciaire combiné à l'absence de matière organique dans les sédiments laisse croire à un couvert végétal extra-local de faible importance.

### Unité 9

Le sédiment fluvio-glaciaire associé à l'unité 8 a par la suite été visiblement recouvert par un autre sédiment fluvio-glaciaire, possiblement du même âge, à granulométrie plus fine et mieux trié. L'unité 9 montre en effet un triage des particules autour de 200  $\mu\text{m}$ , ce qui traduit un transport associé à l'eau. Ce transport semble également avoir été également régulé de façon plus ou moins régulière, tel que déduit de l'alternance de strates plus fines (sables fins) et de strates plus grossières (sables grossiers) au sein de la coupe 6, lesquels seraient associés à des courants légèrement différents l'un de l'autre. Considérant la courbe de Hjulström et les courbes granulométriques cumulatives selon la

méthode définie par Visher (1969), les courants associés, de l'ordre de 0,4 à 25 cm/s, traduisent d'importantes variations mais un courant relativement faible. Tout comme pour l'unité 8, les données de pendage et d'orientation recueillis sur le terrain permettent également de supposer la présence d'un delta fluvio-glaciaire s'écoulant vers le sud-est au niveau de la coupe 6. Somme toute, bien que des différences granulométriques aient préalablement conduit à une séparation entre les unités 8 et 9, il semble que ces unités soient finalement deux sous-unités associées à un même évènement glaciaire.

L'hypothèse d'une plaine d'épandage à faible pente s'écoulant généralement ouest-est semble donc l'hypothèse la plus plausible pour les dépôts associés à cette unité. Le triage du matériel relativement uniforme pour tous les échantillons provenant de cette unité laisse ainsi soupçonner un écoulement sur une grande superficie et non sur une région très localisée dans l'espace. Enfin, la plus faible granulométrie des échantillons de cette unité par rapport à ceux de l'unité 8 laisse croire à un recul progressif du front glaciaire associé à ces dépôts. De plus, aucune indication ne permet pour l'instant de réfuter l'hypothèse d'un relativement court laps de temps entre le dépôt des unités 8 et 9, lesquels seraient toutes les deux associées à une polarité négative (voir tableau XVI).

La présence de failles dans le sédiment de la coupe 6 semble être reliée à la présence d'une glace enfouie plus en profondeur. En effet, la fonte partielle de cette glace, ainsi que la dessiccation interne (*dewatering faulting*) du matériel pourrait avoir faillé le matériel.

Tout comme pour l'unité 8, la nature du dépôt des sédiments associés à cette unité est appuyée par la découverte par Piraux (2005) de fragments de coquillages à l'est du site d'étude. Ces fragments n'ont pas été retrouvés, mais une recherche plus exhaustive de ces derniers serait intéressante dans une optique de datation pour cette unité (datation relative possible grâce à des analyses de racémisation des acides aminés).

Selon les résultats des analyses *IDW* et *Différence* (ArcGIS), il semblerait que les sédiments associés à l'unité 9 se soient déposés dans une dépression résiduelle recouvrant principalement la zone située au sud-est du site d'étude. Les résultats des analyses *Différence* montrent également que la zone associée à la coupe 3 a été enfouie à cette époque, contrairement au site correspondant aux coupes 1 et à l'est de la coupe 6. Enfin, tout comme pour l'unité 8, il est difficile d'évaluer le couvert végétal présent à l'époque en raison de l'absence d'analyses polliniques. Toutefois, pour les mêmes raisons que celles cités précédemment, la nature des sédiments laisse croire à un couvert végétal extra-local de faible importance.

### Unité 10

Enfin, ce sédiment fluvio-glaciaire (unités 8 et 9) aurait été recouvert par un sédiment d'origine éolienne. En effet, l'apparence mouchetée observée au sein de cette unité ainsi que l'absence d'orientation uniforme du matériel et le bon triage des particules autour de  $90\mu\text{m}$  indiquent un transport de type éolien, de façon similaire aux échantillons étudiés par Fortier *et al.* (2006) dans la vallée glaciaire actuelle à quelques kilomètres du site d'étude. L'hypothèse d'un dépôt de type alluvial est quant à elle peu probable, compte tenu de l'absence de stratification du matériel et du fait qu'un triage autour de  $90\mu\text{m}$  implique un courant très faible (entre 0,3 et 22 cm/s selon la courbe de Hjulström et les courbes granulométriques cumulatives selon la méthode définie par Visser (1969)). L'uniformité des courbes granulométriques composant cette unité tend également à montrer un dépôt uniforme sur toute la surface, indépendamment des conditions locales, ce qui renforce l'hypothèse éolienne. L'origine de ces sédiments pourrait être les unités 8 et 9 sous-jacentes qui, exposées au vent, ont été érodées puis remaniées.

Malgré l'absence d'études palynologiques, l'hypothèse d'un dépôt éolien suppose un milieu clairsemé, où la faible présence de végétation ne permet pas de retenir le substrat inorganique au sol. Ce dépôt pourrait enfin être d'origine quaternaire, compte tenu de la polarité normale observée pour les échantillons de cette unité (voir tableau XVI).

La présence de cette unité uniquement à l'extrême est du site d'étude est cependant difficile à expliquer avec les données recueillies dans ce travail. L'explication la plus plausible est que suite à des conditions particulières d'origine inconnue, cette région du site d'étude n'a pas été affectée par l'érosion occasionnée par le diamicton de surface (unité 11).

## Synthèse

### Végétation

#### Analogues modernes selon la méthode de la coexistence des espèces

La présence de taxons tourbicoles ou de milieux humides au sein de toutes les unités analysées pour leur contenu pollinique (unités 2 à 7) tend à confirmer le postulat émit par Piraux en 2005, à savoir une présence étendue de milieux humides à grande échelle temporelle et spatiale autour du site d'étude. La présence simultanée de bouleaux arborescents et arbustifs suggère quant à elle un milieu apparenté à la limite actuelle des arbres en Amérique du Nord à l'époque du dépôt des unités organiques 4 à 7.

L'assemblage végétal de l'île Bylot associé à ces unités devait ressembler à la végétation aujourd'hui retrouvée au sein de la toundra forestière dans l'ouest de l'Amérique du Nord. En effet, ce biome est caractérisé par une dominance du *Picea glauca*, du *Salix* spp., du *Betula glandulosa*, de l'*Alnus* spp. et des éricacées dans les milieux drainés et du *Picea mariana* et du *Larix laricina* dans les milieux plus humides, ce qui correspond relativement fidèlement aux estimations faites dans cette étude pour les unités organiques du site de l'île Bylot (MacDonald et Ritchie, 1986). Les unités 2 et 3 seraient de leur côté associées à une végétation plus ouverte de type toundra arbustive, malgré des valeurs de température moyenne annuelle et mensuelles similaires à celles des autres unités. Inversement, les unités 6 (coupes 3 et 5) et 7 seraient associées aux milieux les plus tempérés, à savoir une toundra forestière arborescente ou à une forêt boréale ouverte. Le sommaire de ces changements de végétation est illustré au tableau XX.

La présence sporadique de taxons boréaux et tempérés tels que le *Carya*, le *Menyanthes* et le *Corylus* implique toutefois que la composition végétale de la toundra arbustive et forestière durant cette période était sensiblement différente de celle actuelle, laquelle est composée exclusivement de l'épinette blanche et noire, du mélèze et du peuplier baumier (Payette, 1983). Cela pourrait être dû à plusieurs facteurs, soit 1) une compétition intra-espèces différente permettant la croissance de ces taxons aux hautes latitudes; 2) un

refuge biologique pour ces espèces durant la transition vers un climat de plus en plus froid à partir du milieu du Pliocène, jusqu'à ce que leurs tolérances climatiques soient dépassées; 3) la présence d'un cycle jour-nuit différent dû à la latitude et favorisant ces espèces boréales ou 4) une surreprésentation des biomes tempérés dans les bases de données utilisées. Peu de sites nordiques ont en effet été étudiés en termes de végétation par rapport à ceux situés aux plus basses latitudes. Les intervalles de températures et de précipitations tendent donc à représenter des milieux un peu plus chauds. Par exemple, les tolérances en termes de température moyenne annuelle (TMA) pour *Betula nana* selon la base de données d'Environnement Canada sont entre 3,7°C et -13,4°C; toutefois, cette espèce croît actuellement sur l'île Bylot, où la TMA y est de -15,1°C.

Il faut également considérer le fait qu'à cette époque, le climat était vraisemblablement plus stable (Pagani *et al.*, 2010). Le refroidissement progressif de la région, combiné avec une augmentation des variations du climat, auraient ainsi contribué petit à petit à la disparition de ces espèces, tel que suggéré par Sloan *et al.* (1996) et Haywood et Valdes (2006). La présence régulière de grains de pollen de taxons de milieux tempérés dans les échantillons permet également de proposer une influence australe des principaux courants atmosphériques, ce qui n'est pas le cas pour l'île Bylot actuellement (Andrews, 1988; Fortier *et al.*, 2006; Matthiessen *et al.* 2009). La composition entomologique y était également différente et davantage boréale, selon Piraux (2005).

L'unité 6 analysée dans la coupe 2 est quant à elle associée à des milieux plus froids et moins diversifiés que pour les autres unités organiques fossiles. La végétation de l'époque est toutefois jugée plus chaude et humide qu'actuellement, notamment en raison de la présence de *Menyanthes cf. trifoliata*, lequel a une limite nordique actuellement près de la limite des arbres. Compte tenu des informations recueillies dans ce travail, l'hypothèse de milieux associés à une toundra arbustive ou herbacée d'âge quaternaire peut être avancée. Une analyse radiocarbone réalisée au sommet de l'unité 6 de la coupe 2 par Piraux en 2005 (échantillon UL-2709) suggère toutefois un âge supérieur à 49 000 ans. Il pourrait alors être daté de l'interglaciaire de Sermilik, de Pond Inlet ou de Salmon River, tous datés à plus de 43 000 ans et recensés par Klassen et Shilts (1987).

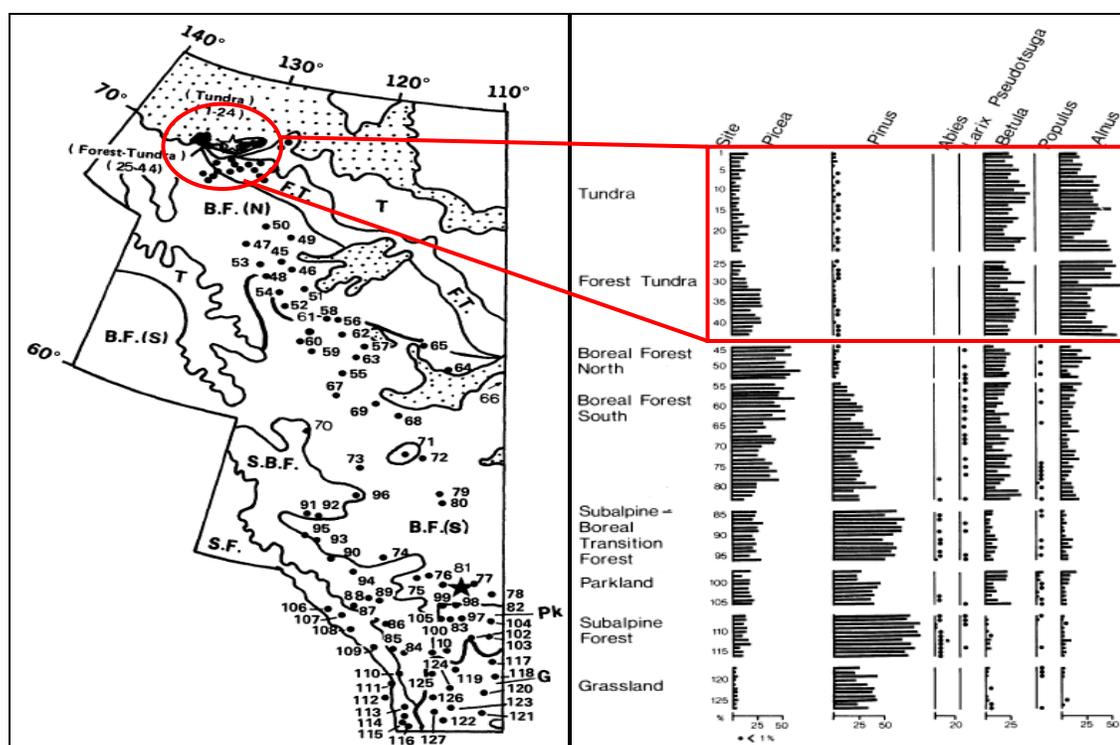
**Tableau XIX :**  
VÉGÉTATION ET MILIEUX DE DÉPÔT ASSOCIÉS AUX DIFFÉRENTES UNITÉS  
STRATIGRAPHIQUES DU SITE DE L'ÎLE BYLOT

Unité	Nature du dépôt	Principaux taxons locaux (en ordre d'importance)	Végétation analogue
2	Till	<i>Larix</i> <i>Salix</i> <i>Alnus</i> type <i>crispa</i> Éricacées <i>Betula nana</i> <i>Betula glandulosa</i>	Toundra arbustive
3	Glacio-Lacustre	<i>Larix</i> <i>Salix</i> <i>Alnus</i> type <i>crispa</i> <i>Betula nana</i> <i>Betula glandulosa</i>	Toundra arbustive
4	Tourbe ombrotrophe puis rapidement minérotrophe	<i>Larix</i> <i>Alnus</i> type <i>crispa</i> <i>Pinus</i> cf. <i>banksiana</i> <i>Picea</i> cf. <i>mariana</i> <i>Pinus</i> type <i>strobus</i> Éricacées <i>Myrica</i> cf. <i>gale</i>	Toundra forestière
5	Tourbe minérotrophe	<i>Betula glandulosa</i> <i>Betula nana</i> <i>Alnus</i> type <i>crispa</i> <i>Salix</i> Éricacées	Toundra arbustive

Unité	Nature du dépôt	Principaux taxons locaux (en ordre d'importance)	Végétation analogue
6A (Coupe 2)	Tourbe minérotrophe	<i>Betula glandulosa</i> <i>Betula nana</i> <i>Salix</i> <i>Larix</i> cf. <i>laricina</i> <i>Alnus</i> type <i>crispa</i> <i>Corylus</i> cf. <i>cornuta</i> Éricacées	Toundra arbustive
6B (Coupes 3 et 5)	Tourbe minérotrophe	<i>Larix</i> cf. <i>laricina</i> <i>Alnus</i> type <i>crispa</i> <i>Corylus</i> cf. <i>cornuta</i> <i>Carya</i> cf. <i>ovata</i> Éricacées <i>Myrica</i> cf. <i>gale</i> <i>Betula papyrifera</i> <i>Betula alleghaniensis</i> <i>Picea</i> type <i>mariana</i>	Toundra forestière
7	Alluvial	<i>Larix</i> cf. <i>laricina</i> <i>Alnus</i> type <i>crispa</i> <i>Betula papyrifera</i> <i>Pinus</i> type <i>banksiana</i> Éricacées <i>Salix</i> <i>Picea</i> cf. <i>mariana</i> <i>Myrica</i> cf. <i>gale</i>	Toundra forestière

### Analogues modernes selon la comparaison avec des spectres polliniques de surface

Les spectres polliniques associés aux horizons organiques fossiles de l'île Bylot sont semblables à ceux observés dans des échantillons modernes du nord-ouest de l'Amérique du Nord près de la limite des arbres. Toutefois, ces derniers contiennent très peu de taxons de milieux boréaux comme ceux définis dans cette étude. Les pourcentages de grains de pollen de pin et d'épinette y sont également légèrement plus élevés et le mélèze y est absent (MacDonald et Ritchie, 1986, voir figure 89). Les résultats de cette étude corroborent également les cartes de distribution polliniques présentées par Anderson *et al.* en 1989 pour la limite des arbres en Alaska et au Yukon.



**Figure 88** : Principaux taxons polliniques retrouvés à la limite des arbres dans le nord-ouest de l'Amérique du Nord (modifié de MacDonald et Ritchie, 1986).

Les spectres polliniques définis dans cette étude sont également similaires à certains spectres modernes provenant de la région près de la limite des arbres dans le nord du Québec. En effet, les spectres ressemblent à ceux dressés par Gajewski (1991) à la limite entre la toundra forestière arbustive et arborescente (sites 11 à 17, figure 90). Le pourcentage d'épinette retrouvé dans ces sites y est toutefois plus élevé (entre 15% et 30% de la somme pollinique), au détriment d'un pourcentage de grains de cypéracées plus bas (autour de 10%) et de la quasi-absence de mélèze. La représentation moins importante de l'épinette dans les spectres datant du Pliocène par rapport à aujourd'hui pourrait cependant expliquer cette différence. Les valeurs de concentrations polliniques sont similaires à celles mises en lumière dans ce travail (autour de 50 000 grains/cm<sup>3</sup>). Enfin, tout comme pour les spectres provenant du nord-ouest de l'Amérique du Nord, ces derniers contiennent très peu de taxons de milieux boréaux tout comme ceux définis dans cette étude.

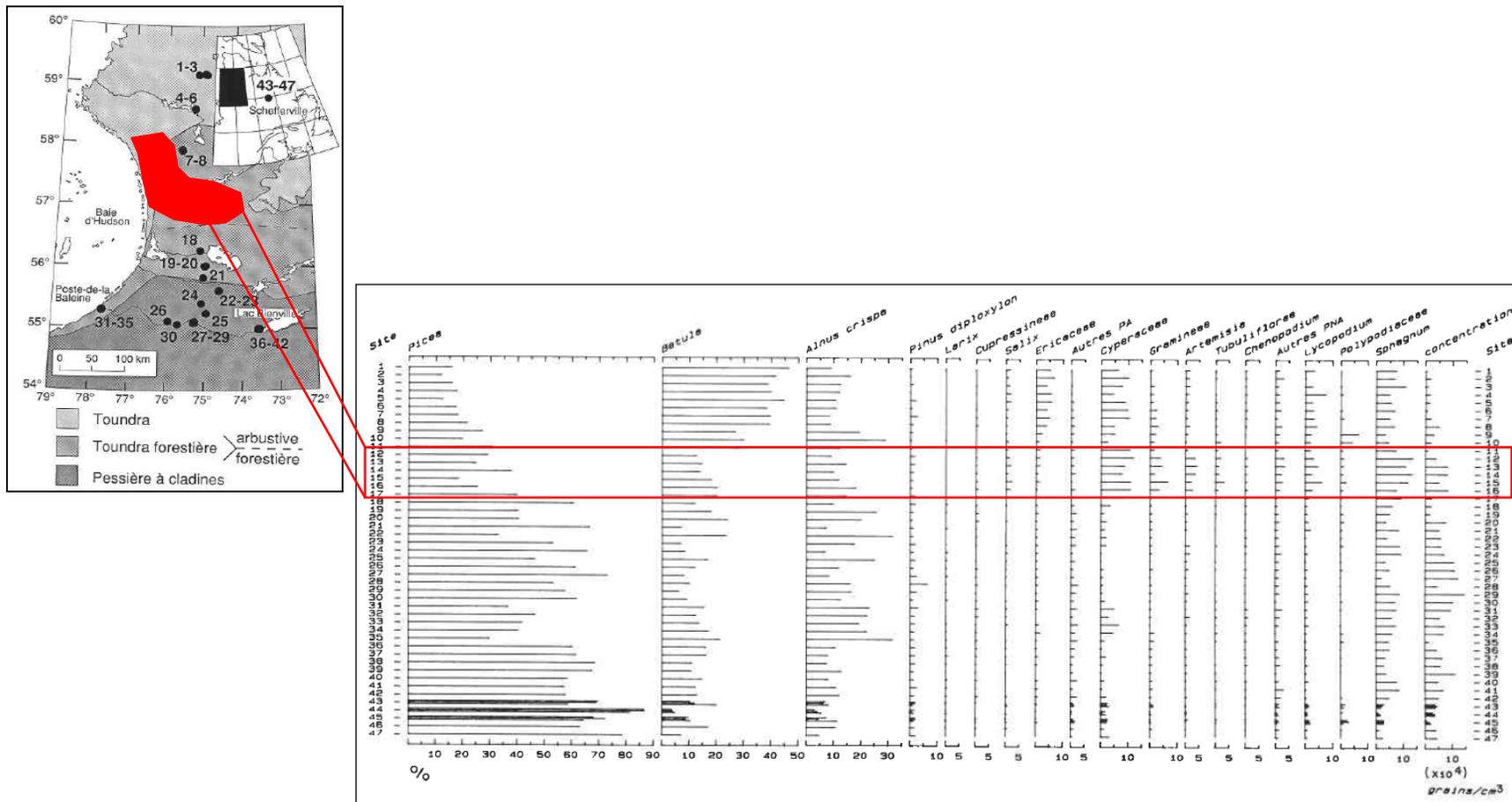


Figure 89 : Principaux taxons polliniques retrouvés à la limite des arbres dans le nord du Québec (modifié de Gajewski 1991). Les chiffres utilisés correspondent aux sites étudiés dans le cadre de cette étude, classés selon un transect nord-sud.

Plus particulièrement, les spectres polliniques analysés dans cette étude ont également des similarités avec les dépôts tourbeux et lacustres analysés par Richard (1981) près de la rivière aux Feuilles au Nouveau-Québec, à la limite nord de la toundra forestière. On y note ainsi des pourcentages similaires pour les principales espèces retrouvés dans les sédiments de l'île Bylot (*Picea*, *Pinus*, *Betula*, *Alnus type crispa* et les Cypéracées) et des concentrations polliniques similaires, particulièrement au sein de la zone 3 de la figure 91. Des grains de *Carya* et d'*Abies* ont également été retrouvés au sein de la carotte sédimentaire étudiée, et associés à un transport de longue distance.

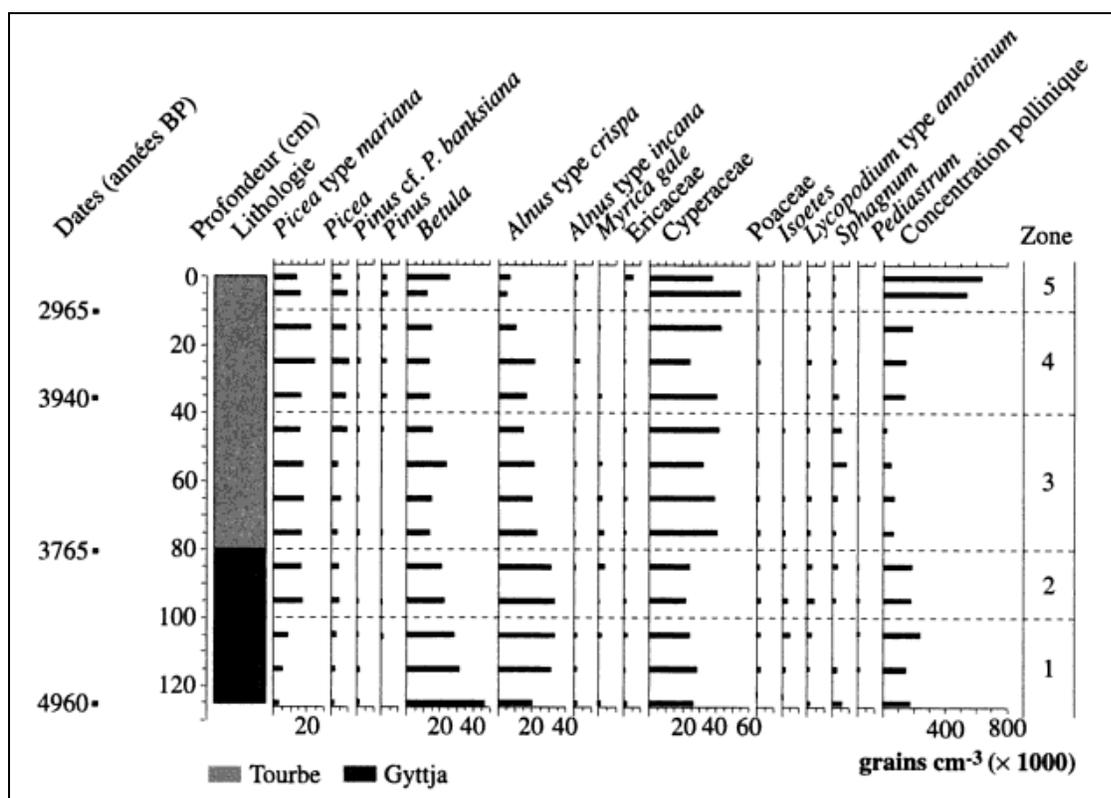


Figure 90 : Principaux taxons polliniques observés au site de la tourbière de la rivière aux Feuilles (Nouveau-Québec) et évolution de cette dernière durant les 5000 dernières années.

Les différences observées entre les spectres polliniques actuels et ceux analysés dans cette étude peuvent être dues à plusieurs facteurs. En premier lieu, est possible que les tolérances actuelles des espèces et les assemblages végétaux aient changé depuis le Pliocène, ce qui résulte en des spectres polliniques différents. Il est aussi possible que les spectres définis dans cette étude soient biaisés par une surreprésentation des grains de pollen les plus résistants ou que la production pollinique de certaines espèces ait changé depuis le Pliocène. En effet, le fait que le pin et l'épinette ne soient probablement pas aussi surreprésentés dans les spectres polliniques pliocènes que dans les spectres modernes est à prendre en considération. Les relativement hauts pourcentages de grains de pollen de caryer pour certains niveaux d'analyses (>5%) rentrent également dans cette catégorie. Il est en effet peu probable que ce taxon eut été dominant au sein des paysages de l'île Bylot durant la fin du Pliocène, les conditions climatiques lui étant très restrictives (Thompson et al., 1999).

Les faibles sommes polliniques calculées dans cette étude (entre 100 et 150 par niveau dans certains cas) vient également surreprésenter les taxons retrouvés en faible quantité lorsque représentés en pourcentages. Enfin, le fait que chaque échantillon provienne d'une couche de 5 cm d'épaisseur (donc plusieurs décennies d'accumulation dans la plupart des cas) n'est pas à négliger. Les résultats présentés dans cette étude sont en fait des moyennes d'accumulation pollinique durant ces périodes de temps relativement longues. Les échantillons modernes de surface, eux, correspondent à un laps de temps plus court (définition annuelle dans certains cas).

Une étude macro-fossile plus étendue sur les échantillons analysés pour leur contenu pollinique dans cette étude permettrait également une meilleure définition des conditions climatiques associées au site, notamment en précisant les taxons présents ne pouvant pas être identifiés avec exactitude à l'espèce par leur pollen (les cypéracées ou le mélèze, par exemple) et en confirmant la présence locale ou non de certains taxons.

## Climat

### Comparaison avec les études antérieures

En termes de climat, on remarque une augmentation de 12 à 20°C par rapport à l'actuel en termes de température moyenne annuelle en fonction des unités analysées (entre -2,4°C et 3,7°C (si on exclut les valeurs extrêmes de -4,8°C (calculée pour l'unité 7) et de 9,8°C (calculée pour l'unité 6 (Type B)), contre -15,1°C actuellement). Ce changement de température est surtout observable pour les températures de janvier (entre -11,5°C et -25,4°C selon les unités (si on exclut la valeur extrême de -2,0°C calculée pour l'unité 6 (Type 3)), contre -32,4°C à l'heure actuelle). La différence de température pour le mois le plus chaud est quant à elle d'environ 10°C (entre 15,1°C et 17,1°C (si on exclut la valeur extrême de 22,5°C calculée pour l'unité 7), contre 6°C à l'heure actuelle). Ces observations sont légèrement plus importantes que celles estimées pour tout l'arctique durant la charnière Plio-Pléistocène, (Chandler 1994; Raymo 1994; Crowley 1996; Dowsett 1996; Sloan *et al.* 1996; Thompson et Fleming 1996; Elias et Matthews 2002; Haywood et Valdes 2006; Raymo *et al.* 2006; Salzmann *et al.* 2008; Schneider et Schneider 2010). Ces variables sont toutefois possiblement surestimées, compte tenu du fait que certaines espèces retrouvées sur le site ne font plus partie des assemblages subarctiques actuels, mais qu'ils devaient faire partie de ces biomes plus froids à l'époque (*Carya* et *Corylus*, par exemple). Enfin, la découverte de nombreuses pièces de bois noircies au sein de la plupart des unités stratigraphiques laisse également croire à un cycle de feu relativement rapide, ce qui n'est pas le cas actuellement. Cette dynamique aurait entre autres permis la croissance du *Pinus* type *strobis*, taxon jugé adapté aux feux fréquents.

Malgré l'incertitude relativement importante sur les conditions pluviométriques associées au site de l'île Bylot, on peut également constater que ce dernier était à l'époque beaucoup plus humide, peu importe l'unité stratigraphique étudiée. Les résultats tendent à montrer des précipitations légèrement plus importantes en été, pour un total annuel

d'entre 390 et 1590 mm, contre 190,8 mm à l'heure actuelle. Il faut toutefois considérer le fait que certaines espèces ont été insérées dans les diagrammes de coexistence car l'identification pollinique précise n'était pas possible. Ainsi, par exemple, le *Pinus banksiana* aurait pu être confondu avec le *Pinus contorta* alors qu'en réalité une seule des deux espèces pousse peut-être réellement sur le site. Une analyse macro-fossile ciblée aurait permis dans ce cas de préciser les espèces réellement présentes et ce faisant, améliorer les estimations climatiques.

Ces dernières informations sont légèrement plus chaudes et humides que la majorité des estimations faites par Csank (2011) suite à l'analyse de troncs provenant de l'unité 6 de la coupe 3, à savoir une température moyenne annuelle de  $-2,9 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$  et une température moyenne de juillet de  $13,5 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ , ce qui correspondrait selon lui à une végétation boréale près de la limite des arbres. Ces différences sont explicables par les incertitudes sur les données de cette étude citées précédemment, mais également par le fractionnement isotopique de l'oxygène lors de son transfert de l'atmosphère aux cellules végétales, donnée utilisée par Csank pour ces estimations de températures. La découverte faite par Piraux d'insectes actuellement restreints aux zones boréales actuelles tend cependant à confirmer la présence d'espèces boréales au niveau du site d'étude.

#### Analogues modernes

Les conditions climatiques aux abords de l'île Bylot durant l'intervalle temporel étudié pourraient s'apparenter à celui des villes de Fermont, Radisson, Natashquan (Québec), Magadan (Russie) ou Nome (Alaska), dont les normales climatiques sont illustrées au tableau XXI. Le contenu végétal autour de ces villes y est toutefois quelque peu différent. Ces endroits sont situés dans les domaines végétaux de la pessière à cladines (Radisson, Fermont), de la toundra forestière (Natashquan, Magadan) ou de la toundra arbustive (Nome), selon la carte de la végétation du Québec-Labrador réalisée par Pierre J.H. Richard en 1985 (reprise dans Payette et Rochefort, 2001), la carte *Potential Natural Vegetation of Alaska* (Küchler, 1969) et le chapitre 5 du livre *Forest Vegetation of*

*Northeast Asia : Forest Vegetation of Easternmost Russia (Russian Far East)* (Kolbek et al., 2003). Ces lieux correspondent également tous à des zones de pergélisol discontinu ou sporadique, conditions qui auraient pu faciliter la préservation de la matière organique fossile (Payette et Rochefort, 2001). Ces sites sont toutefois localisés pour la plupart au nord de la limite nordique de certaines espèces jugées présentes localement sur l'île Bylot à l'époque. C'est notamment le cas du caryer (limite nordique près de la ville de Québec), du *Pinus strobus* (limite nordique près du lac St-Jean) et du *Betula alleghaniensis* (limite nordique au sud de Terre-Neuve) (Little, 1978). Par contre, on peut constater que les espèces arbustives et arborescentes dominantes à proximité de ces sites (notamment *Larix*, *Alnus crispa*, *Betula glandulosa*, *Picea mariana*, *Pinus banksiana*, *Pinus pumila* (dans le cas du site de Magadan) et les éricacées) sont similaires à ce que l'on peut déduire de la végétation pliocène de l'île Bylot. Finalement, la comparaison faite avec la ville de Natashquan doit être prise avec précaution. En effet, cet endroit est localisé plusieurs centaines de kilomètres plus au sud que les autres sites (50°N); la végétation actuelle retrouvée sur le site est en effet le résultat de conditions de substrat particulières (dépôts deltaïques importants) et d'une forte influence océanique.

**Tableau XX :**

CONDITIONS CLIMATIQUES DES SITES ACTUELS APPARENTÉS AUX UNITÉS ORGANIQUES (4 à 7) DU SITE DE L'ÎLE BYLOT

Site	Fermont (53°N, Québec)	Magadan (59°N, Russie)	Nome (64°N, Alaska)	Radisson (54°N, Québec)	Natashquan (50°N, Québec)	Île Bylot (Nunavut)
Température moyenne annuelle (°C)	-3,8	0,4	0,9	2,2	1,1	entre -2,4 et 3,7
Température moyenne de janvier (°C)	-23,2	-18,6	-18,8	-15,9	-13,5	entre -11,5 et -25,4
Température moyenne de juillet (°C)	13,2	14,7	14,8	17,9	14,5	entre 15,1 et 17,1
Précipitations moyennes annuelles (mm)	806,5	527	427,7	393,5	1129,8	entre 390 et 1590
Précipitations moyennes de janvier (mm)	51,2	16	23,4	14,1	95,7	entre 19,3 et 150
Précipitations moyennes de juillet (mm)	118,7	63	54,6	72,5	99	entre 53,5 et 138,2
Type de végétation / Domaines végétaux	Pessière à cladines	Toundra forestière	Toundra arbustive	Pessière à cladines	Toundra forestière	Toundra arbustive à toundra forestière



## Age du site

### Similarités avec d'autres sites fossilifères arctiques

Le contenu végétal des unités organiques (4 à 7) peut être comparé à celui provenant d'autres sites similaires retrouvés dans l'arctique, ce qui permet d'en estimer l'âge.

## Groenland

### **Kap København (82°N)**

La composition pollinique décrite pour le site de l'île Bylot s'apparente à celle retrouvée à Kap København (K.K.), au nord du Groenland, malgré la présence de grains de pollen le pin, une plus grande proportion d'aulne et plusieurs espèces de milieux tempérés (*Quercus*, *Fagus*, *Carya*) retrouvés seulement au site de l'île Bylot. Les espèces éteintes *Aracites globosa* et *Myrica arctogale* ont également été découvertes aux deux sites.

Somme toute, la présence d'espèces de milieux plus chauds combinée à la position géographique plus méridionale de l'île Bylot suggère à un âge similaire pour les deux sites. La différence de polarité observée dans les sédiments, la température moyenne annuelle estimée pour le site de K.K. (-4°C) et la présence du pin laissent toutefois croire que le site de l'île Bylot pourrait être un peu plus vieux que ce dernier, estimé à 2,45 Ma (Funder *et al.* 2001).

### **Store Koldewey (71°N)**

La végétation découverte au site de Store Koldewey est associée à un milieu plus froid que celui décrit dans ce travail pour le site de l'île Bylot. En effet, bien que la polarité observée dans les sédiments soit également positive, aucune espèce arborescente n'a été observée pour ce site daté d'entre 1,95 et 1,78 Ma (Bennike *et al.* 2010), laissant croire à un âge plus vieux pour le site de l'île Bylot.

### **Washington Island (81°N)**

La présence de macro-restes de pin, d'épinette, de mélèze et de cèdre (*Thuja*) au site de Washington Island (Nord du Groenland) correspond à une végétation similaire à celle observée sur l'île Bylot. Les troncs retrouvés y sont toutefois de plus petits diamètres (entre 1,3 et 11,5 cm), ce qui pourrait être une conséquence de la localisation géographique du site. Malgré le peu d'information disponible pour ce site, l'âge qui lui est associé (environ 3 Ma (Bennike 1998, 2000, 2002)) pourrait correspondre à celui du site d'île Bylot.

### **Ile de France (76°N)**

La présence de macro-restes d'épinette, de mélèze et de cèdre (*Thuja*) au niveau du site de l'Île de France (Nord du Groenland) reflète également une végétation similaire à celle observée sur l'île Bylot. Tout comme pour le site de Washington Island, les troncs retrouvés sont toutefois de plus petite taille (maximum de 6 cm de diamètre), ce qui pourrait être une conséquence de la localisation géographique du site. L'absence de macro-restes de pin, malgré la faible quantité de matériel analysé, pourrait également s'expliquer par une différence latitudinale. Somme toute, malgré le peu d'information disponible pour ce site, l'âge qui lui est associé (entre 2,60 et 3,58 Ma (Bennike 2002)) pourrait également correspondre à celui du site d'île Bylot, d'autant plus que les sédiments provenant des deux sites correspondent à une période de polarité normale.

### **Arctique canadien**

#### **Baie de Baffin (69°N)**

Bien que les grains de pollen de Pinacées soient surreprésentés dans les études polliniques de sédiments marins réalisées par de Vernal et Mudie en 1989, on y observe également la présence de grains de pollen d'*Abies*, d'*Ostrya* et de *Quercus*, taxons retrouvés également en faible quantité dans les sédiments de l'île Bylot, jusqu'à la transition Plio-Pléistocène, établie à l'époque à 1,8 Ma. Ce serait là un âge minimal pour la végétation associée au site de l'île Bylot.

### **Île de Banks (Formation de Beaufort, 73°N)**

Les spectres polliniques et les analyses macro-fossiles découlant de l'étude des sites pliocènes de l'île de Banks (formation de Beaufort) suggèrent une végétation légèrement plus tempérée que celle de l'île Bylot au milieu du Pliocène (*i.e.* forêt boréale fermée), notamment en lien avec la découverte de pièces de sapin et de pruche *in situ* (Vincent *et al.* 1983; Fyles *et al.* 1994). Les spectres polliniques, quoique semblables à ceux de l'île Bylot en termes de diversité, sont toutefois dominés par le *Pinus* et le *Picea* en plus de contenir des pourcentages plus importants de grains de pollen d'*Alnus* et de très faibles pourcentages de grains de Cypéracées. Toutefois, la toundra forestière dominée par le mélèze (*Larix laricina*) et le saule (*Salix* sp.) sur l'île de Banks à la fin du Pliocène (environ 3,0 Ma) pourrait être contemporaine à la végétation décrite dans cette étude (Matthews *et al.* 1986; Fyles *et al.* 1994).

### **Formation de Worth Point (72°N)**

Le contenu macro-fossile associé à la formation de Worth Point (Vincent, 1990) reflète la présence d'une toundra arbustive dominée par les mélèzes, tel que proposé dans cette étude pour le site de l'île Bylot. Toutefois, on y note l'absence de bouleaux de type arborescent ainsi que d'autres conifères arborescents (à l'exception d'une aiguille d'épinette), ce qui laisse penser à une végétation de milieu plus froid, donc plus récente. Ceci implique donc un âge minimum de 1,8 Ma pour les dépôts associés aux dépôts organiques fossiles de l'île Bylot.

## **Russie et Alaska**

### **Formation de Gubik (71°N)**

Les spectres polliniques découlant de l'étude réalisée par Nelson et Carter en 1985 au site de Gubik en Alaska sont très similaires à ceux observés sur le site de l'île Bylot. En effet, les auteurs y décrivent une végétation similaire à celle de la limite des arbres actuelle, formée majoritairement par l'épinette, le bouleau (arborescent et arbustif), l'aulne et les éricacées et possiblement le pin. Le mélèze est toutefois absent de la plupart des spectres

polliniques associés à ce site et datant de la transition Plio-Pléistocène (entre 2,5 et 2,7 Ma). Somme toute, la végétation associée à cette formation y est jugée légèrement plus tempérée que celle de l'île Bylot, mais pourrait tout de même correspondre sensiblement à la même période, compte tenu du fait que l'ouest de l'Amérique du Nord était probablement plus chaud que l'est durant le Pliocène (Wara *et al.* 2005).

### **Lost Chicken (69°N)**

Le contenu macro-fossile de l'unité inférieure associée au site de Lost Chicken en Alaska (âge estimé à  $2,9 \pm 0,4$  Ma à partir de tephres), quoique similaire en diversité par rapport au site de l'île Bylot, traduit la présence d'une végétation boréale fermée dominée par l'épinette, le pin (*Pinus contorta*) et le mélèze, ce qui en fait un site caractéristique d'un milieu plus chaud. Tel que mentionné par Piraux en 2005, la présence de macro-restes d'*Epipremnum cressum* (un taxon de milieu boréal aujourd'hui éteint) sur le site de Lost Chicken suggère un âge plus récent pour le site de l'île Bylot. Cependant, la partie supérieure de l'unité de Lost Chicken, associée à une végétation ouverte coniférienne dominée par le *Picea* et de polarité normale (âge estimé à entre 2,58 et 3,04 Ma selon Matthews *et al.* (2002)) pourrait être contemporaine des unités fossilifères de l'île Bylot.

### **Chukotka (66°N)**

Les spectres polliniques provenant de la partie supérieure de la formation de Chukotka (environ 2,5 Ma) laissent croire à une toundra forestière ouverte dominée par le *Larix*, le *Salix*, le *Pinus*, le *Picea*, l'*Alnus* et le *Betula*, ce qui s'apparente aux observations faites dans ce travail (Kiselyov 1981, Fradkina 1991; Blokhina et Bodarenko 2001). Cependant, l'absence de grains de pollen de milieux tempérés tels que *Quercus* et *Fagus*, lesquels ont été retrouvés sur Bylot, suppose un âge semblable ou légèrement plus vieux pour ce dernier site.

De plus, les études réalisées par Fyles *et al.* (1998) et Harris (2005) tendent vers un âge minimal pour la végétation de l'île Bylot de 2,5 Ma (estimation de la disparition des grains de pollen d'espèces arborescentes au-delà du 60°N).

### Analyse des données de paléomagnétisme

Considérant les similitudes entre le site de la forêt fossile de l'île Bylot et les sites pliocènes arctiques ainsi que les résultats des analyses paléo-magnétiques, il est possible d'estimer un âge pour les unités organiques fossilifères étudiées et unités adjacentes.

Tout d'abord, les valeurs issues de certains échantillons correspondant aux critères de sélection sont à interpréter avec précaution. En effet, les faibles valeurs positives d'inclinaison observées pour les échantillons *CP1\_151* et *CP6\_180* ( $11^\circ$  et  $-23^\circ$  respectivement), combinées à leurs relativement grandes valeurs de MAD (10,45 et 11,2 respectivement) et à leurs relativement petites valeurs de MDF (10,7 et 21,1 respectivement) laissent planer un doute sur leur validité. Les courbes de démagnétisation des échantillons *CP5\_195*, *CP5\_216* et *CP5\_245* sont quant à eux constituées de seulement 4 ou 5 points de mesure, ce qui reflète un faible signal possiblement trompeur, malgré leurs valeurs d'inclinaison, loin de la limite de  $0^\circ$  ( $-70^\circ$ ,  $68^\circ$  et  $41^\circ$  respectivement).

Considérant cela, il semble raisonnable de penser que l'unité 10, de polarité positive, soit d'âge holocène. Les courbes granulométriques correspondant à cette unité sont également semblables à celles étudiées par Fortier *et al.* en 2006, lesquelles ont été datées entre 2950 et 2750 BP. Toutefois, la polarité négative enregistrée dans les unités 8 et 9 sous-jacentes est un signal d'un dépôt ayant eu lieu il y a au moins 780 000 ans. La glace de glacier enfouie retrouvée en dessous de ces unités (environs de la coupe 6) en ferait ainsi la plus vieille glace de ce type connue en Amérique du Nord (Fortier *et al.*, 2011).

Également, compte tenu 1) des relativement faibles changements polliniques observés pour l'unité 7; 2) de la relativement faible épaisseur de la tourbe composant les unités 4, 5 et 6 des coupes 3 à 5 (la coupe 2 étant jugée d'un âge différent); 3) de l'âge jugé pliocène de ces unités, de par leur contenu pollinique et de la présence locale du pin à cinq aiguilles, du *Myrica arctogale* et d'*Aracites globosa* et, 4) de la présence d'une magnétisation positive observée dans l'unité 7 et du sédiment alluvial entre les unités 5 et

6 de la coupe 3, il est raisonnable de croire que les unités 4 à 7 soient datées du même événement paléo-magnétique. Il n'est également pas exclu que ce signal de polarité positive provienne également du même chron que celui observé à la base de la coupe 6.

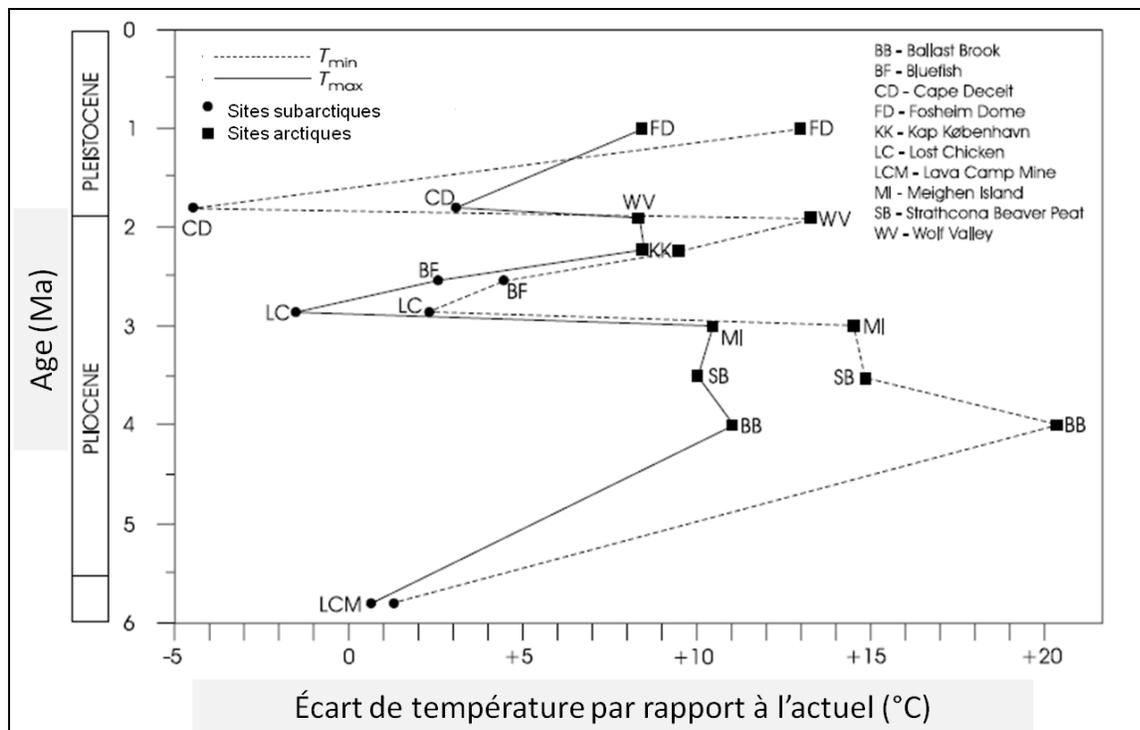
Ainsi, considérant que la polarité positive observée au sein des dépôts organiques correspond à un âge supérieur à 780 000 ans, et les résultats des analyses polliniques et macro-fossiles disponibles pour le site, l'âge des dépôts organiques trouvé au site de l'île Bylot appartiendrait probablement soit à la période du chron de polarité positive de Gauss C2An.1n (2,581 à 3,040 Ma) ou à la période du chron de Réunion C2r.1n (2,14 à 2,15 Ma) (Gee and Kent, 2007). La baisse de biodiversité locale observée au sein de l'unité 5 correspondrait ainsi possiblement à la période plus froide suggérée par Elias et Matthews (2002) entre 2,7 et 2,8 Ma, selon l'analyse d'assemblages entomologiques (voir figure 92), ainsi qu'à la fermeture de l'isthme de Panama (entre 2,9 et 2,4 Ma). Il est cependant possible qu'il s'agisse d'une glaciation localisée, laquelle n'aurait pas eu d'impact visible à grande échelle dans les sédiments. Le changement important du contenu pollinique entre les unités 4 et 6 tend quant à lui à appuyer l'hypothèse d'un âge situé entre 2,581 et 3,040 Ma, tout comme la présence de taxons polliniques boréaux retrouvés dans les sédiments et l'estimation de l'âge du site faite par Csank (2011), soit entre 2,5 et 2,7 Ma.

L'inversion magnétique observée dans l'unité 3 par Piraux (2005) est également inscrite dans les sédiments étudiés pour cette étude. Toutefois, la hausse observée du ratio NRM/ARM à ce niveau stratigraphique, laquelle est relativement faible, ainsi que le temps nécessaire pour qu'il y ait inversion des pôles (environ 6000 ans selon Butler (1992)) laissent croire que nous sommes en présence d'une excursion magnétique (déplacement temporaire des pôles puis retour à l'état initial sur environ 1000 ans). En effet, le changement d'inclinaison s'observe sur 20 cm de sédiment jugé glacio-lacustre, ce qui impliquerait un très faible taux de sédimentation, chose peu probable.

Qu'il s'agisse d'une réelle inversion des pôles ou non, l'âge estimé des dépôts organiques tend vers la possibilité d'un dépôt glacio-génique (unité 2) de type local

datant d'au moins 2,581 Ma, ce qui laisse croire à un âge similaire aux indices des premières glaces de type régionales définies pour l'hémisphère Nord (à l'exception du Groenland), soit environ 2,6 Ma (Elias et Matthews, 2002).

Il est également possible que la polarité positive observée au sommet de l'unité 3 (coupe 5) n'appartienne pas au même chron que celui des unités 4 à 7, ce qui reculerait d'autant plus l'âge du diamicton glaciaire de l'unité 2. Cette unité pourrait ainsi être contemporaine des estimations faites par Mudelsee et Raymo (2005), à savoir l'apparition de calottes locales autour de la Baie de Baffin à partir de 3,6 Ma. Cela est toutefois jugé peu probable, compte tenu de l'absence de signes d'érosion entre les unités 3 et 4 et du contenu pollinique observé. L'incorporation de l'unité 3 à l'intérieur même de l'unité 2 au niveau de la coupe 3 laisse également croire que ces deux unités proviennent de la même époque.



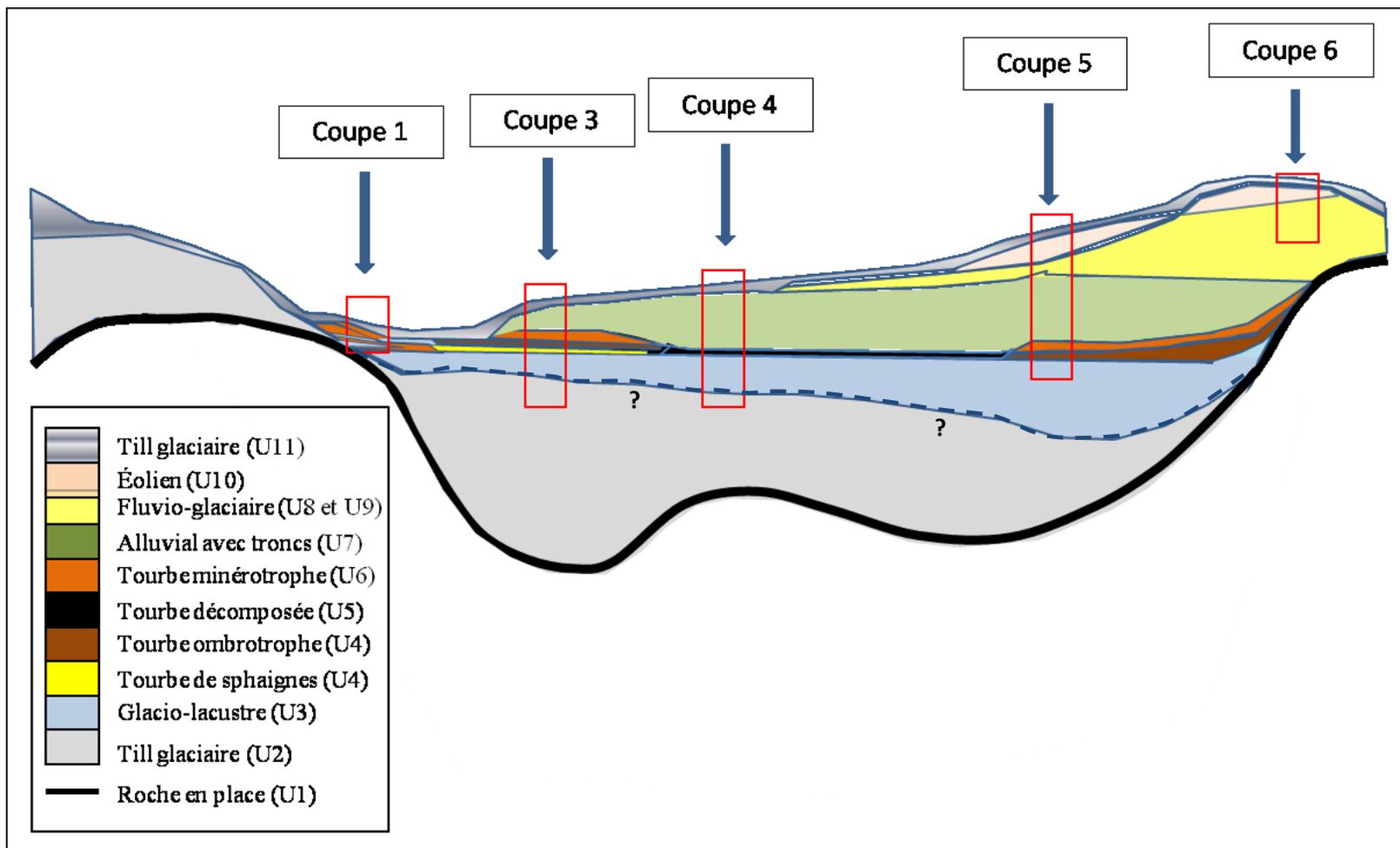
**Figure 91** : Estimations de température dans l'arctique canadien et américain durant le Pliocène, réalisées à l'aide d'assemblages entomologiques (modifié de Elias et Matthews, 2002).

## Synthèse de l'historique sédimentaire

L'étude stratigraphique, pollinique, sédimentologique et paléo-magnétique des unités associées au site permet d'ainsi d'en établir un historique sédimentaire relativement précis. En effet, les résultats obtenus mettent en lumière la succession suivante, illustrée à la figure 93 :

- 1) Un état initial correspondant à une dépression d'environ 350 mètres de long et 60 mètres de profondeur incisée dans la roche en place (shale tertiaire);
- 2) Le dépôt d'un sédiment glaciaire de contact, d'âge possiblement pliocène et contenant des clastes d'origine locale essentiellement dans la partie ouest du site d'étude, lequel a préalablement érodé la roche en place au niveau de la coupe 1 ;
- 3) Le dépôt d'un sédiment limoneux d'origine glacio-lacustre proximal contenant des IDW (*ice rafted detritus*), datant probablement de la même époque que le diamicton glaciaire, compte tenu du mélange entre ces deux unités au niveau des coupes 2 et 3. Le centre du lac correspondrait approximativement au centre du site d'étude selon les résultats des analyses IDW;
- 4) Le dépôt d'un matériel tourbeux, au départ dominé par les sphaignes, probablement issu du comblement du lac pro-glaciaire associé à l'unité stratigraphique précédente.
- 5) L'évolution de ce dépôt tourbeux vers une tourbière dominée par la mousse, probablement suite un changement de régime hydrique local, puis la colonisation rapide de l'aulne crispé, de l'épinette noire et du bouleau (espèces arbustives et arborescentes), en dépit de la baisse de la proportion du mélèze dans le paysage;
- 6) La croissance d'une tourbe à dominance de mousses colonisée par le mélèze (*Larix cf. laricina*), l'aulne crispé (*Alnus type crispa*), le noisetier (*Corylus cf. cornuta*), le caryer (*Carya cf. ovata*), les éricacées, le myrique (*Myrica cf. gale*), le *Picea type mariana* et les Cypéracées au niveau des coupes 3 et 5. L'âge des unités organiques tourbeuses (4 à 6) serait situé, selon les résultats des analyses paléomagnétiques réalisées au sein de des unités 3, 7, 8, 9 et 10, entre 2,14 à 2,15 Ma (chron de Réunion C2r.1n) ou, plus vraisemblablement, entre 2,581 à 3,040 Ma (chron de Gauss C2An.1n);

- 7) Le recouvrement des dépôts tourbeux associés aux unités précédentes, probablement de façon rapide, par un dépôt de type alluvial suivant un courant général ouest-est et associé à une végétation à dominance arborescente;
- 8) Le recouvrement de ce dépôt par un diamicton glaciaire possiblement pré-Quaternaire (unités 8 et 9) graveleuse et influencé localement par des courants de fonte suivant un axe général ouest-est, lesquels sont ultimement évacués en formant un delta fluvio-glaciaire à l'est du site d'étude;
- 9) Le dépôt d'un sédiment éolien d'âge Quaternaire, probablement issu de l'érosion des unités sous-jacentes (unités 7, 8 et 9);
- 10) La croissance d'une tourbe interglaciaire au niveau des coupes 1 et 2, d'âge inconnu mais antérieur à celui de l'unité 11;
- 11) Le dépôt d'un diamicton glaciaire d'origine allochtone d'âge Quaternaire.



**Figure 92** : Schéma conceptuel illustrant la succession des milieux sédimentaires associés au site de l'île Bylot. Les flèches bleues indiquent la position des coupes stratigraphiques étudiées du côté nord du plateau. Les encadrés rouges correspondent aux unités observées pour ces coupes. La ligne noire correspond à la limite de la roche en place (unité 1). À noter que ce schéma n'est pas à l'échelle.

## **Conclusion**

Les coupes stratigraphiques étudiées dans le cadre de cette étude ont permis d'établir à la fois un âge et un historique de dépôt pour le site, mais ont également permis de définir une séquence de végétation au cours de ce laps de temps.

Ainsi, les études stratigraphiques et paléomagnétiques réalisées ont révélé la présence d'une dépression initiale d'environ 300 mètres de long dans la roche en place (unité 1) dans laquelle les sédiments meubles se sont par la suite déposés. Ces unités sédimentaires ont pu être distinguées les unes des autres grâce à des analyses granulométriques ciblées.

Un dépôt glaciaire (unité 2), suivi d'un dépôt d'origine glacio-lacustre (unité 3) (le tout entouré d'une végétation de type toundra arbustive) ont par la suite servi d'assise à la création d'une tourbe étonnamment bien conservée. On assiste alors à une colonisation initiale par les sphaignes puis à une transition, suite à un changement hydrologique, vers une tourbière de type minérotrophe riche, contenant des espèces associées aux milieux subarctiques et sub-boréaux modernes (unités 4 à 6). Le tout fut par la suite recouvert d'un dépôt alluvial associé à une végétation locale et régionale de milieu plus tempéré (unité 7), puis par des sédiments fluvio-glaciaires (unités 8 et 9), éoliens (unité 10) et glaciaires (unité 11). L'enfouissement de la végétation a dû se faire de manière très rapide, limitant l'oxygénation des dépôts et favorisant la préservation des macro-restes. On observe enfin des dépôts tourbeux associés à des milieux plus froids dans deux coupes stratigraphiques (coupes 1 et 2), lesquels seraient interglaciaires mais sont nécessairement plus anciens que le dépôt glaciaire observé à la surface du plateau.

D'une manière générale, par rapport aux conditions modernes, on remarque une augmentation de 12 à 20°C en termes de température moyenne annuelle en fonction des unités analysées (entre -2,4°C et 3,7°C (si on exclut les valeurs extrêmes de -4,8°C (calculée pour l'unité 7) et de 9,8°C (calculée pour l'unité 6 (Type 3)), contre -15,1°C

actuellement). Ces variables sont toutefois possiblement surestimées, compte tenu du fait que certaines espèces retrouvées sur le site ne font plus partie des assemblages subarctiques actuels (*Carya* et *Corylus*, par exemple). Malgré l'incertitude relativement importante sur les conditions pluviométriques associées au site de l'île Bylot, on peut également constater que ce dernier était à l'époque beaucoup plus humide qu'à l'heure actuelle, peu importe l'unité stratigraphique étudiée (total annuel situé entre 390 et 1590 mm, contre 190,8 mm à l'heure actuelle). Une analyse macro-fossile ciblée permettrait toutefois une meilleure estimation des variables climatiques de l'époque. Ces dernières informations sont légèrement plus chaudes et humides que la majorité des estimations faites par Csank (2011) suite à l'analyse de troncs provenant de l'unité 6 de la coupe 3, à savoir une température moyenne annuelle de  $-2,9 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$  et une température moyenne de juillet de  $13,5 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ . La découverte faite par Piraux d'insectes actuellement restreints aux zones boréales actuelles tend cependant à confirmer la présence d'espèces boréales au niveau du site d'étude.

Compte tenu des résultats des analyses paléomagnétiques, de la présence d'espèces subarctiques et sub-boréales (dont certaines sont éteintes) dans des sédiments de cette latitude et de la comparaison des spectres polliniques obtenus avec ceux d'autres sites pliocènes retrouvés dans l'arctique, les dépôts tourbeux retrouvés sur le site appartiendraient soit à la période du chron de polarité positive de Réunion C2r.1n (2,14 à 2,15 Ma) ou à la période du chron de Gauss C2An.1n (2,581 à 3,040 Ma). Ceci impliquerait l'existence d'un dépôt glaciaire (unité 2) avant 3,040 Ma, ce qui est bien avant les indices connus des premières glaces régionales définies pour l'hémisphère Nord (à l'exception du Groenland), soit environ 2,6 Ma. Le site de l'île Bylot serait ainsi potentiellement contemporain au site de la formation de Gubik en Alaska et au site de la formation de Chukotka, en Sibérie.

Notre étude a permis de préciser l'âge des unités organiques et inorganiques du site d'étude, et de reconstituer l'historique et la succession de milieux de dépôt et de communautés végétales associés.

## **Bibliographie**

Abbott, R. J., et C. Brochmann (2003), History and evolution of the arctic flora: in the footsteps of Eric Hultén, *Molecular Ecology*, 12 (2), 299-313.

Abrahamsen, N., et C. Marcussen (1986), Magnetostratigraphy of the Plio-Pleistocene Kap København Formation, eastern North Greenland, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 44 (1), 53-61.

Ager, T. A., Matthews, J.V. et W. Yeend (1994), Pliocene terrace gravels of the ancestral Yukon River near Circle, Alaska: Palynology, paleobotany, paleoenvironmental reconstruction and regional correlation, *Quaternary International*, 22-23, 185-206.

Anderson, P.M., Bartlein, P. J., Brubaker, L. B., Gajewski, K. et J. C. Ritchie (1989), Modern analogues of late-Quaternary pollen spectra from the western interior of North America, *Journal of Biogeography*, 16: 573-596.

Andrews, J.T., Osmaston, H. et R. Marris (1988), Climatic Evolution of the Eastern Canadian Arctic and Baffin Bay During the Past Three Million Years [and Discussion], *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 8, 645-660.

Ballantyne, A.P., Ryczynski, N., Baker, P.A., Harington, C.R. et D. White (2006), Pliocene Arctic temperature constraints from the growth rings and isotopic composition of fossil larch, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 242 (3-4), 188-200.

Ballantyne, A., Greenwood, D.R., Sinninghe Damsté, J.S., Csank, A.Z., Eberle, J.J. et N. Ryczynski (2010), Significant warmer Arctic surface temperatures during the Pliocene indicated by multiple independent proxies, *Geology*, 38 (7): 603-606.

Barendregt, R., Vincent, J.-S., Irving, E. et J. Baker (1998), Magnetostratigraphy of Quaternary and Late Tertiary sediments on Banks Island, Canadian Arctic Archipelago, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 35 (2), 147-161.

Basinger, J., Greenwood, D.R. et T. Sweda (1994), Early Tertiary vegetation of Arctic Canada and its relevance to paleoclimatic interpretation, *Global Environmental Change*, 27, 175-198.

Baumann, K., Meggers, H. et R. Henrich (1996), Variations in surface water mass conditions in the Norwegian-Greenland Sea: Evidence from Pliocene/Pleistocene calcareous plankton records (Sites 644, 907, 909), Ocean Drilling Program, 32 p.

Bennike, O. (1987), News from the Plio-Pleistocene Kap København Formation, North Greenland, *Polar Research*, 5 (3), 339-340.

- Bennike, O. (1989), The Kap København Formation: stratigraphy and palaeobotany of a Plio-Pleistocene sequence in Peary Land, North Greenland, *Meddr Greenland Geoscience*, 23, 85 pp.
- Bennike, O., et J. Böcher (1990), Forest-tundra neighbouring the North Pole: Plant and insect remains from the Plio-Pleistocene Kap København Formation, North Greenland, *Arctic*, 43 (4), 331-338.
- Bennike, O. (1998), Late Cenozoic wood from Washington Land, North Greenland, *Geology of Greenland Survey Bulletin*, 180, 155–158.
- Bennike, O., Bjorck, S., Böcher J., Hansen, L., Heinemeier, J. et B.Wohlfarth (1999), Early Holocene plant and animal remains from North-east Greenland, *Journal of Biogeography*, 26 (3), 667-677.
- Bennike, O. (2000), Notes on the late Cenozoic history of the Washington Land area, western North Greenland, *Geology of Greenland Survey Bulletin*, 186, 29–34.
- Bennike, O. (2002), Late Quaternary history of Washington Land, North Greenland, *Boreas*, 31 (3), 260 - 272.
- Bennike, O. (2010), Early Pleistocene Sediments on Store Koldewey, northeast Greenland, *Boreas*, 39, 603-619.
- Blokhina, N.I. et O.V. Bondarenko (2004), Woody Plant Assemblages and Paleoenvironments in the Pliocene of Pavlovskaya Depression (Southern Primory'e), *Acta Paleontologica Romaniaae*, 4: 23-35.
- Blott, S.J. et K. Pye (2001), Gradstat : a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.
- Bostock, H.S. (1970), Physiographic subdivisions of Canada. Geological and economic mineral of Canada, R.J.W. Douglas (ed.). *Geological Survey of Canada*. Rep. No.1: 9-30.
- Bryan, M. S. (1954), Interglacial pollen spectra from Greenland, *Denmark Geological Understandings*, 2 (80), 65-72.
- Burgh, J. V. D., et al. (1993), Paleoatmospheric Signatures in Neogene Fossil Leaves, *Science*, 260 (5115), 1788-1790.
- Butler, R. F. (1992), *Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes*. Oxford: Blackwell, 1 tableau.
- Carter, M.R. et Gregorich, E.G. (2008), *Soil sampling and methods of analysis*. 2nd Edition., *CRC Press Taylor & Francis*, Boca Raton, FL, USA, 1264 p.

Chandler, M. (1994), Joint investigations of the middle Pliocene climate II: GISS GCM Northern Hemisphere results, *Global Planetary Change*, 9 (3-4), 197-219.

Clark, D. (1996), The Pliocene record in the central Arctic Ocean, *Marine Micropaleontology*, 27 (1), 157-164.

Crowley, T. (1991), Modeling Pliocene warmth, *Quaternary Science Reviews*, 10 (2-3), 275-282.

Crowley, T. J. (1996), Pliocene climates: the nature of the problem, *Marine Micropaleontology*, 27 (1-4), 3-12.

Csank, A., Patterson, W.P., Eglington, B.M., Rybczynski, N. et J.F. Basinger (2011), Estimates of Arctic land surface temperatures during the early Pliocene from two novel proxies, *Earth and Planetary Science Letters*, 304: 291-299.

Davis, M. B. (1963), On the theory of pollen analysis, *American Journal of Science*, 261 (10), 897-912.

Davis, M. B. (2000), Palynology after Y2K- Understanding the source area of pollen in sediments, *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 28, 1-18.

Dean, W.E. (1974), Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* 44 (1), 242-248.

Delcourt, P.A., Delcourt, H.R. et T. Webb (1984), Atlas of mapped distributions of dominance and modern pollen percentages for important tree taxa of eastern North America. *American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*, 131 pp.

De Vernal, A., et P. Mudie (1989), Late Pliocene to Holocene palynostratigraphy at ODP Site 645, Baffin Bay, Ocean Drilling Program, 36 p.

De Vernal, A., et P. Mudie (1989b), Pliocene and Pleistocene palynostratigraphy at ODP Sites 646 and 647, eastern and southern Labrador Sea, *Proceedings of ODP Scientific Results 105*: 401-422.

Devaney, J. (1991), Clastic Sedimentology of the Beaufort Formation, Prince Patrick Island, Canadian Arctic Islands: Late Tertiary Sandy Braided River Deposits with Woody Detritus Beds, *Arctic*, 4 (3), 206-216.

Dowsett, H. (1990), High eustatic sea level during the middle Pliocene: evidence from southeastern U.S. Atlantic coastal plain, *Geology*, 18, 435-438.

Dowsett, H. J., et R. Z. Poore (1991), Pliocene Sea-Surface Temperatures of the North-Atlantic Ocean at 3.0 Ma, *Quaternary Science Reviews*, 10 (2-3), 189-204.

Dowsett, H. J. (1992), Micropaleontological Evidence for Increased Meridional Heat Transport in the North Atlantic Ocean During the Pliocene, *Science*, 258 (5085), 1133-1135.

Dowsett, H. J., Barron, J. et Poore, R.Z. (1996), Middle Pliocene sea surface temperatures: A global reconstruction, *Marine Micropaleontology*, 27 (1), 13-25.

Draut, A., Raymo, M.E., McManus, J.F. et D.W. Oppo (2003), Climate stability during the Pliocene warm period, *Paleoceanography*, 18 (4), 1078-1090.

Dwyer, G. S., Cronin, T.M., Baker, T.A., Raymo, M.E., Buzas, J.S. et T. Corregget (1995), North Atlantic Deepwater Temperature Change During Late Pliocene and Late Quaternary Climatic Cycles, *Science*, 270 (5240), 1347-1351.

Elias, S. A. (2001), Mutual climatic range reconstructions of seasonal temperatures based on Late-Pleistocene fossil beetle assemblages in Eastern Beringia, *Quaternary Science Reviews*, 20 (1-3), 77-91.

Elias, S. A., et J. V. Matthews (2002), Arctic North American seasonal temperatures from the latest Miocene to the Early Pleistocene, based on mutual climatic range analysis of fossil beetle assemblages, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 39 (6), 911-920.

Elias, S. A., Kuzimina, S. et S. Kiselyov (2006), Late Tertiary origins of the Arctic beetle fauna, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 241 (3-4), 373-392.

Environnement Canada, Base de données des moyennes et normales climatiques et de la rusticité des plantes canadiennes. Pages consultées le 28 septembre 2011 ([www.meteo.gc.ca](http://www.meteo.gc.ca) et <http://www.planthardiness.gc.ca>).

Evans, J., et M. Kaminski (1998), Pliocene and Pleistocene chronostratigraphy and paleoenvironment of the central Arctic Ocean, using deep water agglutinated foraminifera, *Micropaleontology*, 109-130.

Fægri, K. et Iversen, J. (1989), Textbook of pollen analysis. 4th ed. by K. Fægri, P.E. Kaland et K. Krzywinski. *John Wiley & Sons*, Chichester. 328 p.

Filippelli, G. M., et J. A. Flores (2009), From the warm Pliocene to the cold Pleistocene: A tale of two oceans, *Geology*, 37 (10), 959-960.

Flint, R.F. (1957), Glacial Geology and the Pleistocene Epoch. *New York: John Wiley & Sons*, 553 p.

Folk, R.L. (1964), A review of grain-size parameters, *Sedimentology*, 6: 76-93.

Fortier, A., Allard, M. et F. Pivot (2006), A late-Holocene record of loess deposition in ice-wedge polygons reflecting wind activity and ground moisture conditions, Bylot Island, eastern Canadian Arctic, *The Holocene*, 16: 635-646.

Fortier, D. (2011). Middle Pleistocene (?) buried glacial ice on Bylot Island, Canadian Arctic Archipelago. *EOS Trans. AGU*, 90 (52), Fall Meeting.

Fradkina, F. (1991), Pliocene climate fluctuations in the far north-east of the USSR, in *Joint US / USSR Workshop on Pliocene Paleoclimates*, pp. 22-23, U.S. Geological Survey Open-File Report Moscow, USSR.

Féchet, B., Bouchard, M.A. et P.J.H. Richard (1996), Le till pollinifère de la péninsule du Nunavik, Québec septentrional, *Géographie physique et Quaternaire*, 50 (3), 331-340.

Fredskild, B., et U. Roen (1982), Macrofossils in an interglacial peat deposit at Kap København, North Greenland, *Boreas*, 11(3), 181-185.

Friedman, G.M. (1967), Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands, *Journal of Sedimentary Petrology*, 37 (2): 327-354.

Funder, S., (1985), Forested Arctic; evidence from North Greenland, *Geology*, 13(8), 542-546.

Funder, S., Bennike, O., Böcher, J., Israelson, C., Petersen, K.S. et Simonarson, L.A. (2001), Late Pliocene Greenland-The Kap København Formation in North Greenland, *Bulletin : Geological Society Denmark* 48, 117-134.

Fyles, J. (1990), Beaufort Formation (Late Tertiary) as seen from Prince Patrick Island, Arctic Canada. *Arctic*, 43 (4), 393-403.

Fyles, J. G., Hills, L.V., Matthews, J.V., Barendregt, R., Baker, J., Irving, E. et H. Jetté (1994), Ballast Brook and Beaufort Formations (Late Tertiary) on Northern Banks Island, Arctic Canada, *Quaternary International*, 22-23, 141-171.

Gajewski, K. (1991), Représentation pollinique actuelle à la limite des arbres au Nouveau-Québec, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 28 : 643-648.

Gee, J. S. et D.V. Kent (2007), Source of oceanic magnetic anomalies and the geomagnetic polarity timescale, *Geomagnetism*, 5: 455-507.

Gonzales, L.M., Grimm, E.C., Williams, J.W. et E.V Nordheim (2009a), A modern plant-climate research dataset for modelling eastern North American plant taxa, *Grana*, 48, 1-18.

Gonzales, L.M., Grimm, E.C., Williams, J.W. et E.V Nordheim (2009b), Expanded response-surfaces: a new method to reconstruct paleoclimates from fossil pollen assemblages that lack modern analogues, *Quaternary Science Reviews*, 28, 3315-3332.

Hafsten, U. (1969), A proposal for a synchronous sub-division of the Late Pleistocene period having global and universal applicability, *Nytt hlag Botanica* 16, 1-13.

Harwood, D. M. (1983), Diatoms from the Sirius Formation, Transantarctic Mountains, *Antarctic Journal of the United States*, 18, 98-100.

Haug, G. H., et R. Tiedemann (1998), Effect of the formation of the Isthmus of Panama on Atlantic Ocean thermohaline circulation, *Nature*, 393 (6686), 673-676.

Haug, G., Ganoplosky, A. et Swann G.E.A. (2005), North Pacific seasonality and the glaciation of North America 2.7 million years ago, *Nature*, 433 (7028), 821-825.

Haywood, A., et P. Valdes (2006), Vegetation cover in a warmer world simulated using a dynamic global vegetation model for the Mid-Pliocene, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 237 (2-4), 412-427.

Haywood, A. M., Chandler, M.A., Valdes, P.J., Salzmann, U., Lunt, D. J. et H.J. Dowsett (2009), Comparison of mid-Pliocene climate predictions produced by the HadAM3 and GCMAM3 General Circulation Models, *Global Planetary Change*, 66 (3-4), 208-224.

Hill, D., Haywood, A.M., et P.J. Valdes (2007), Characterizing ice sheets during the Pliocene: evidence from data and models, *Deep-Time Perspectives on Climate Change: Marrying the Signal from Computer Models and Biological Proxies*, 517-538.

Hills, L., et R. Ogilvie (1970), *Picea banksii* n. sp. Beaufort Formation (Tertiary), northwestern Banks Island, Arctic Canada, *Canadian Journal of Botany*, 48 (3), 457-464.

Hopkins, D., Matthews, J.V, Wolfe, J.A. et M.L. Sibelman (1971), A Pliocene flora and insect fauna from the Bering Strait region, *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 9, 211-231.

Jackson, G.D. et Sangster, D.F. (1987), Geology and resource potential of a proposed national park, Bylot Island and northwest Baffin Island, North west Territories. *Geological Survey of Canada*, Paper 87-17, 31 p.

Jiang, D. (2005), Modeling the middle Pliocene climate with a global atmospheric general circulation model, *Journal of Geophysical Research*, 110, D14107.

Jost, A., S. Fauquette, M. Kageyama, G. Krinner, G. Ramstein, J.-P. Suc, et S. Violette (2009), High resolution climate and vegetation simulations of the Late Pliocene, a model-data comparison over western Europe and the Mediterranean region, *Climate Past*, 5 (4), 585-606.

Kiselyov, S. (1981), Late Cenozoic Coleoptera of Northeastern Siberia, *Nauka Press*, 1-28.

Klassen, R. (1993), Quaternary geology and glacial history of Bylot Island, Northwest Territories, Geological Survey of Canada, 83 pp.

Klassen, R. et W.W. Shilts (1987), Excursion Guide Book A-1: Bylot Island – Eastern Canadian Arctic, *INQUA XII International Congress Report*, 54 p.

Knies, J., Matthiessen, S., Vogt, C. et R. Stein (2002), evidence of mid-Pliocene (3 ma) global warmth in the eastern Arctic ocean and implications for the Svalbard/Barents Sea ice sheet during the late Pliocene and early Pleistocene (3 – 1.7 Ma), *Boreas*, 31 (1), 82-93.

Koch, L. (1925), The geology of North Greenland, *American Journal of Science*, 5(9), 271-285.

Kolbek, J., Srutek, M. et Elgene, O.M. (2003). Vegetation Forest of Northeast Asia, *Geobotany*, 28 (1), 472 p.

Kuc, M., et L. Hills (1971), Fossil mosses, Beaufort Formation (Tertiary), Northwestern Banks Island, Western Canada Arctic, *Canadian Journal of Botany*, 49 (7), 1089-1094.

Küchler, A.W. (1969), Potential Natural Vegetation of Alaska, Carte produite par le U.S. Geological Survey, 32 x 32 cm.

Kukla, G., et Z.S. An (1989), Loess Stratigraphy in Central China, *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72, 203-225.

Kumagai, H. (1995), Growth-ring analysis of Early Tertiary conifer woods from the Canadian High Arctic and its paleoclimatic interpretation, *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 116 (3), 247-262.

Kurschner, W. M., Van Der Burgh, J., Visscher, H. et Dilcher, D. L. (1996), Oak leaves as biosensors of Late Neogene and Early Pleistocene paleoatmospheric CO<sub>2</sub> concentrations, *Marine Micropaleontology* 27, 299-312.

Labelle, C. et Richard, P.J.H. (1984), Histoire postglaciaire de la végétation dans la région de Mont-Saint-Pierre, Gaspésie, Québec, *Géographie physique et quaternaire*, 38 (3), 257-274.

Lambeck, K., Esat, T.M et E.K. Potter (2002), Links between climate and sea levels for the past three million years, *Nature*, 419 (6903), 199-206.

Laukhin, S., Kilmanov, V., Belaya, B. (1999), Late Pliocene and Pleistocene palaeoclimates in Northeastern Chukotka, *Sbornik Geologicheskikh Ved*, 23, 17-24.

Lawrence, K., Herbert, T.D., Brown, C.M., Raymo, M.E. et Haywood, H. (2009), High-amplitude variations in North Atlantic sea surface temperature during the Early Pliocene warm period, *Paleoceanography*, 24 (2).

LePage, B., et J. Basinger (1991), A new species of *Larix* (Pinaceae) from the Early Tertiary of Axel Heiberg Island, Arctic Canada. *Rev. Palaeobot. Palyno*, 70, 89-111.

Lisiecki, L., et M. Raymo (2007), Plio-Pleistocene climate evolution: trends and transitions in glacial cycle dynamics, *Quaternary Science Reviews*, 26 (1-2), 56-69.

Little, E.L., Jr. 1978, Atlas of United States trees, volume 1-5, Florida: U.S. Department of Agriculture Miscellaneous Publication 1361, 982 cartes.

Lunt, D. J., Haywood, A.M., Schmidt, G.A., Salzmann, U. et P.J. Valdes (2008), Late Pliocene Greenland glaciation controlled by a decline in atmospheric CO<sub>2</sub> levels, *Nature*, 454 (7208), 1102-1141.

Lunt, D. J., Haywood, A.M., Schmidt, G.A., Salzmann, U. et P.J. Valdes (2010), Earth system sensitivity inferred from Pliocene modelling and data, *Nature Geoscience*, 3 (1), 60-64.

MacDonald, M. et J.C. Ritchie (1986), Modern Pollen Spectra from the Western Interior of Canada and the Interpretation of Late Quaternary Vegetation Development. *New Phytologist*, 103 (1), 245-268.

Matthews Jr, J., Ovenden, L. et Ritchie, J.C. (1986), Preglacial and interglacial environments of Banks Island: pollen and macrofossils from Duck Hawk bluffs and related sites, *Géographie physique et Quaternaire*, 40 (3), 279-298.

Matthews Jr, J., et L. Ovenden (1990), Late Tertiary plant macrofossils from localities in arctic/subarctic North America: A review of the Data, *Arctic*, 43 (4), 364-392.

Mathews, J., et J. Fyles (2000), Late Tertiary plant and arthropod fossils from the High Terrace Sediments on the Fosheim Peninsula of Ellesmere Island (Northwest Territories, District of Franklin), *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 529, 295–317.

Matthiessen, J., Knies, J., Vogt, C. et R. Stein (2009), Pliocene palaeoceanography of the Arctic Ocean and subarctic seas, *Philosophical Transactions of the Royal Society of Physical English Sciences*, 367 (1886), 21-48.

McAndrews, J., Bretz, A.A. et G. Norris (1973), Key to the Quaternary pollen and spores of the Great Lakes region, Royal Ontario Museum, Life Sciences Miscellaneous Publications, Toronto, 103 pp.

McIver, E., et J. Basinger (1999), Early Tertiary floral evolution in the Canadian high Arctic, *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 523-545.

McKown, A.D., Stocher, R.A. et C.E. Schweger (2002), A new species of *Pinus* subgenus *Pinus* subsection *contortae* from Pliocene sediments of Ch'ijee's bluff, Yukon territory, Canada, *International Journal of Plant Science*, 163 (4): 687-697.

Miall, A.D. (1980) Cretaceous and Tertiary Sediments of Eclipse Trough, Bylot Island Area, Arctic Canada, and their Regional Setting. *Geological Survey of Canada*. Paper 79-23. 20 p.

Mogensen, G. (1984), Pliocene or Early Pleistocene Mosses from Kap København, North Greenland, *Lindbergia*, 19-26.

- Mosbrugger, V., et T. Utescher (1997), The coexistence approach -- a method for quantitative reconstructions of Tertiary terrestrial palaeoclimate data using plant fossils, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 134 (1-4), 61-86.
- Mudelsee, M., et M. Raymo (2005), Slow dynamics of the Northern Hemisphere glaciation, *Paleoceanography*, 20 (4).
- Nelson, R., et L. Carter (1985), Pollen analysis of a late Pliocene and early Pleistocene section from the Gubik Formation of arctic Alaska, *Quaternary Research*, 24 (3), 295-306.
- Opdyke, N. D. et Channell, J. E. T. (1996), Magnetic stratigraphy. San Diego, CA: Academic Press.
- Ovenden, L. (1990). Peat accumulation in Northern Wetlands, *Quaternary Research*, 33, 377-386.
- Pagani, M., Zhonghui, L., LaRiviere, J. et A.C. Ravelo (2010), High Earth-system climate sensitivity determined from Pliocene carbon dioxide concentrations, *Nature Geoscience*, 3 (1), 27-30.
- Payette, S. (1983), The forest tundra and present tree-lines of the Northern Québec-Labrador peninsula, *Proceeding of the Northern Québec tree-line*, 47, 3-23.
- Payette, S. (1988), Late Holocene development of subarctic ombrotrophic peatlands: Allogenic and autogenic succession, *Ecology*, 69 (2), 516-531.
- Payette, S. et Rochefort, L. (2001), Écologie des tourbières du Québec-Labrador, *Les presses de l'Université Laval*, 621 p.
- Penney, D. (1993), Late Pliocene to Early Pleistocene ostracod stratigraphy and palaeoclimate of the Lodin Elv and Kap København formations, East Greenland, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101 (1-2), 49-66.
- Piroux, O. (2005), Contexte paléogéographique de la forêt fossile de l'île Bylot, Arctique Canadien, Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 132 pp.
- Porter, L. (1988), Late Pleistocene Fauna of Lost Chicken Creek, Alaska, *Arctic*, 41 (4), 303-313.
- Ravelo, A., Andreasen, D.H., Lyle, M., Lyle, A.O. et M.W. Wara (2004), Regional climate shifts caused by gradual global cooling in the Pliocene epoch, *Nature*, 429 (6989), 263-267.
- Raymo, M., Ruddimann, W.F., Backman, J. Clément, D.M. et D.G. Martinson (1989), Late Pliocene variation in northern hemisphere ice sheets and north Atlantic deep water circulation, *Paleoceanography*, 4 (4), 413-446.

- Raymo, M., Ruddimann, W.F., Backman, J. Clément, D.M. et D.G. Martinson (1992), Response of deep ocean circulation to initiation of northern hemisphere glaciation (3-2 MA), *Paleoceanography*, 7 (5).
- Raymo, M., Grant, A., Horowitz, M. et G.H. Rau (1996), Mid-Pliocene warmth: stronger greenhouse and stronger conveyor, *Marine Micropaleontology*, 27 (1), 313-326.
- Raymo, M., Ganley, K., Carter, S., Oppo, D. W. et J. McManus (1998), Millennial-scale climate instability during the early Pleistocene epoch, *Nature*, 392 (6677), 699-701.
- Raymo, M., Lisiecki, L. E. et K.H. Nisancioglu (2006), Plio-Pleistocene Ice Volume, Antarctic Climate, and the Global delta <sup>18</sup>O Record, *Science*, 313 (5786), 492-495.
- Rea, D. K. et Scheidegger, K. F. (1979), Eastern Pacific spreading rate fluctuation and its relation to Pacific area volcanic episodes, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 5 (1-2): 135-148.
- Rice, P.D. et Shade, B.D. (1982), Reflection seismic interpretation and seafloor spreading history of Baffin Bay. A.F. Embry and H.R. Balkwin (eds.). *Canadian Society of Petroleum Geologist*, Memoire 8, p. 245-265.
- Richard, P.J.H. (1970), Atlas pollinique des arbres et de quelques arbustes indigenes du Québec, *Le Naturaliste canadien*, 97 : 1-34; 97-161; 241-306.
- Richard, P.J.H. (1981), Paléophytogéographie postglaciaire en Ungava par l'analyse pollinique, *Collection Paléo-Québec*, 13, 153 p.
- Richard, P.J.H., Bouchard, M.A. et Gangloff, P. (1991), The significance of pollen-rich inorganic lake sediments in the Cratère du Nouveau-Québec area, Ungava, Canada, *Boreas*, 20, 135-149.
- Ritchie, D. (1984), Past and Present Vegetation of the Far Northwest of Canada, *University of Toronto Press*, 251 p.
- Ritchie, D. (1987), Postglacial vegetation of Canada, *Cambridge University Press*, 178p.
- Ruddiman, W., et Raymo, M.E. (1988), Northern Hemisphere Climate Regimes During the Past 3 Ma: Possible Tectonic Connections [and Discussion], *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 411-430.
- Salzmann, U., Haywood, A. M., Lunt, D. J., Valdes, P. J. et D. J. Hill (2008), A new global biome reconstruction and data-model comparison for the Middle Pliocene, *Global Ecology and Biogeography*, 17 (3), 432-447.
- Schneider, B., et R. Schneider (2010), Global warmth with little extra CO<sub>2</sub>, *Nature Geoscience*, 3 (1), 6-7.

Schweger, C., Froese, D., White, J.M. et J.A. Westgate (2011), Pre-glacial and interglacial pollen records over the last 3 Ma from northwest Canada: Why do Holocene forests differ from those of previous interglaciations?, *Quaternary Science Reviews*, 30, 2124-2133.

Shackleton, N. (1967), Oxygen Isotope Analyses and Pleistocene Temperatures Re-assessed, *Nature*, 215 (5096), 15-17.

Shackleton, N. (1990), An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 81 (4), 251-261.

Simonarson, L. A., Petersen, K.S. et S. Funder (1998), Molluscan palaeontology of the Pliocene-Pleistocene Kap København Formation, North Greenland, *Geoscience* 36, 104.

Sloan, L. C., Crowley, T.J. et D. Pollard (1996), Modeling of middle pliocene climate with the NCAR GENESIS general circulation model, *Marine Micropaleontology*, 27 (1-4), 51-61.

Stoner, J.S. et St-Onge, G. (2007), Magnetic stratigraphy in paleoceanography : reversals, excursions, paleointensity and secular variation. In : C. Hillaire-Marcel et A. de Vernal (Eds.), *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography*, Elsevier, pp. 99-137.

Tedford, R. H., et C. R. Harington (2003), An Arctic mammal fauna from the Early Pliocene of North America, *Nature*, 425 (6956), 388-390.

Thompson, R. S., et R. F. Fleming (1996), Middle Pliocene vegetation: reconstructions, paleoclimatic inferences, and boundary conditions for climate modeling, *Marine Micropaleontology*, 27 (1-4), 27-49.

Thompson R.S., Anderson, P.J. et P.J. Bartlein (1999), Atlas of Relations Between Climatic Parameters and Distributions of Important Trees and Shrubs in North America, USGS, Version en ligne 1.0 ([www.pubs.usgs.gov/pp/p1650](http://www.pubs.usgs.gov/pp/p1650)).

Tozer, E.T. (1956). Geological reconnaissance. Prince Patrick, Eglington and Western Melville Islands, Arctic Archipelago, Northwest Territories, *Geological Surveys in Canadian Papers*. 55-5.

Tripathi, A. K., Roberts, C.D. et R.A. Eagle (2009), Coupling of CO<sub>2</sub> and Ice Sheet Stability Over Major Climate Transitions of the Last 20 Million Years, *Science*, 326 (5958), 1394-1397.

Vincent, J. S., et J.W. Matthews (1983), The Late Tertiary - Quaternary Stratigraphic Record of the Duck-Hawk Bluffs, Banks Island, Canadian Arctic Archipelago, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20 (11), 1694-1712.

Vincent, J. (1990), Late Tertiary and Early Pleistocene deposits and history of Banks Island, southwestern Canadian Arctic Archipelago, *Arctic*, 43 (4), 339-363.

- Visher, G.S. (1969), Grain size distributions and depositional processes, *Journal of Sedimentary Petrology*, 39 (3): 1074-1106.
- Volkova, V. (1991), Pliocene climates of west Siberia, in *Joint US / USSR Workshop on Pliocene Paleoclimates*, edited, pp. 44-45., *Geological Survey Open-File Report* Moscow, USSR.
- Wara, M. W., Ravelo, C.A et M.L. Delaney (2005), Permanent El Nino-like conditions during the Pliocene warm period, *Science*, 309 (5735), 758-761.
- Walker, J.D., et J.W. Geissman (2009), Geologic Time Scale: Geological Society of America, doi: 10.1130/2009.
- Webb, T., et P. J. Bartlein (1992), Global Changes During the Last 3 Million : Controls and Biotic Responses, *Annual Reviews of Ecological Systematics*, 23, 141-173.
- White, J., White, J., Ager, T.A., Adam, D.P., Leopold, E.B., Liu, G. et H. Jetté (1997), An 18 million year record of vegetation and climate change in northwestern Canada and Alaska: tectonic and global climatic correlates, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 130 (1), 293-306.
- Whitmore, J., Gajewski, K., Sawada, M., Williams, J.W., Shuman, B., Bartlein, P.J., Minckley, T., Viau, A.E., Webb, T., Shafer, S., Anderson, P., et L. Brubaker. (2005), Modern Pollen Data from North American and Greenland for Multi-scale Paleoenvironmental Applications. *Quaternary Science Reviews*, 24: 1828-1848.
- Willard, D. A. (1994), Palynological record from the North Atlantic region at 3 Ma: vegetational distribution during a period of global warmth, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 83 (4), 275-297.
- Willard, D.A. (1996). Pliocene–Pleistocene pollen assemblages from the Yermak Plateau, Arctic Ocean: Sites 910 and 911, *Proceedings of ODP Scientific Results*, 151: 297–307.
- Willerslev, E. (2007), Ancient Biomolecules from Deep Ice Cores Reveal a Forested Southern Greenland, *Science*, 317 (5834), 111-114.
- Williams, J. W. (2006), An Atlas of Pollen-Vegetation-Climate Relationships for the United States and Canada. *American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*, Dallas, TX, 196 pp.
- Wolfe, J. (1978), A paleobotanical interpretation of Tertiary climates in the Northern Hemisphere, *American Scientist*, 66 (6), 694-703.
- Wolfe, J. (1995), Paleoclimatic estimates from Tertiary leaf assemblages, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23 (1), 119-142.

Worsley, T., et Y. Herman (1980), Episodic ice-free Arctic Ocean in Pliocene and Pleistocene time: Calcareous nannofossil evidence, *Science*, 210 (4467), 323-325.

Zachos, J., et al. (2001), Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present, *Science*, 292 (5517), 686-693.

Zanni, M., et C. Ravazzi (2007), Description and differentiation of *Pseudolarix amabilis* pollen Palaeoecological implications and new identification key to fresh bisaccate pollen, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 145 (1-2), 35-75.

## Annexe I

RÉSULTATS DES ANALYSES POLLINIQUES PRÉLIMINAIRES FAITES PAR PIRAUX (2005) SUR LES  
ÉCHANTILLONS PLIO-PLÉISTOCÈNE DE L'ÎLE BYLOT

	CP3	CP3	CP3-100cm	CP4-220cm	CP4-130cm	CP7-200cm	CP7-150cm	CP7-115cm
	lacustre	tourbe	alluvial	lacustre	alluvial	tourbe	tourbe	tourbe
	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Arbres</b>								
<i>Betula</i>	44.5	47.7	48.0	62.8	72.5	6.4	18.8	35.4
<i>Picea</i>	9.3	10.1	2.9	0.3	1.7	0.3	1.1	0.3
<i>Pinus</i>	11.4	4.6	3.5	8.9	21.7	2.2	1.4	0.3
<i>Larix</i>	0.6	1.8		0.3				
<i>Quercus</i>						1.6		
<b>Arbustes</b>								
<i>Salix</i>	0.2	0.3	1.2	7.2		31.1	59.5	45.1
<i>Alnus</i>	6.7	3.3	10.5	0.7	1.2	0.3		
<i>Myrica gale</i>	0.2	3.0	2.3					
<i>Ilex/Nemopanthus</i>	0.2							
Ericaceae	5.9		2.7	3.3	0.6	2.2	3.6	3.8
<b>Herbacées</b>								
Cyperaceae	12.6	27.7	20.2	5.9		48.1	6.9	4.4
<i>Artemisia</i>			0.6	0.7			0.3	
type <i>Ambrosia</i>								
Tubuliflorae	0.4					0.6		0.3
Caryophyllaceae						0.6	1.7	2.4
Chenopodiaceae						0.6		
Poaceae	4.1		4.3				0.3	
<i>Potentilla palustris</i>	0.6		0.6				0.6	2.1
Ranunculaceae			0.2				0.3	
<i>Plantago</i>						0.3		
Saxifragaceae							0.3	
<i>Epilobium</i>	0.6		0.2					
<i>Polygonum</i>				3.3				0.9
<b>Inconnus</b>	0.4						1.7	
<b>Indéterminables</b>	2.4	1.5	2.9	6.6	2.3	5.4	3.6	5.0
<b>Hors-total</b>								
<i>Sphagnum</i>	18.7	1159	28.7	5.3	0.9		0.5	0.5
<i>Lycopodium</i>				0.3		3.5	0.5	
<i>Lycopodium annotinum</i>	0.4				1.2		0.3	0.3
<i>Lycopodium clavatum</i>					0.3			
Spores monolètes	2.8	83.0	5.0			0.6	1.6	1.5
<i>Menyanthes trifoliata</i>		0.8				1.0	0.5	1.2
<i>Nuphar</i>							0.3	
<b>Somme pollinique</b>	508	394	515	304	346	312	361	339

## Annexe II

### FEUILLE DE COMPTAGE DES SPOROMORPHES (EXEMPLE TYPE)

LABORATOIRE JACQUES-ROUSSEAU									
FEUILLE DE COMPTAGE DES SPOROMORPHES					Nom de l'analyste: <i>Alexandra Goetin</i>				
SIGLE: <i>CPG</i>		Profondeur: <i>160</i> cm			Date: <i>21 octobre 2009</i> (ex.: 4 octo 1996)				
QUANTITÉ TRAITÉE: <i>2.000</i> cm <sup>3</sup> ou g					Poids des sables: <i>1.2626</i> g/CH3				
Concentration pollinique / Eucalyptus: <i>(par SP=57)</i>									
c.s.e.: <i>1365</i> grains/ml					v.a.s.e.: <i>0.5</i> ml N°: <i>1365</i> grains/lame » CP = <i>67</i> grains/cm <sup>3</sup> (c.s.e. = concentration de la suspension d'Eucalyptus; v.a.s. e. = volume ajouté de la suspension d'Eucalyptus)				
A R B R E S	POINTAGE	N	%	A R B U S T E S	POINTAGE	N	%		
Abies balsamea				Salix		<i>2</i>	<i>1,9</i>		
Abies (fragments de)				<b>Alnus type crispa</b>	<i>2</i>	<i>9</i>	<i>8,6</i>		
Acer rubrum				Alnus type incana					
<b>Acer saccharum</b>				Corylus cornuta	<i>4</i>	<i>3,8</i>			
				Acer spicatum					
<b>Betula</b>	<i>13</i>	<i>13</i>	<i>12,4</i>	<b>Myrica gale</b>					
Bouleaux corrodés									
<b>Picea</b>				cf. Juniperus communis					
Picea (fragments de)	<i>3/3</i>	<i>1</i>	<i>1,0</i>	Juniperus horizontal.-virgin.					
Picea cf. glauca				Ericaceae					
<b>Picea type mariana</b>									
				H E R B A C É E S	POINTAGE	N	%		
Pinus				Cyperaceae	<i>3</i>	<i>2,9</i>			
Pinus (fragments de)	<i>1/3</i>	<i>1</i>	<i>1,0</i>	Artemisia		<i>1</i>	<i>1,0</i>		
<b>Pinus strobus</b>		<i>3</i>	<i>2,9</i>	type Ambrosia					
				Tubuliflorae					
Pinus cf. banksiana				Chenopodiaceae					
Thuja-Juniperus communis				<b>Poaceae (Gramineae)</b>	<i>66</i>	<i>62,9</i>			
cf. Thuja occidentalis				Cyperaceae					
Larix laricina									
Tsuga canadensis									
<b>Quercus</b>				Rosaceae		<i>2</i>	<i>1,9</i>		
Ulmus									
Fagus grandifolia									
Carya ovata		<i>1</i>	<i>1,0</i>						
Tilia americana									
Fraxinus type nigra									
Fraxinus type pennsylvanica									
Juglans cinerea				<b>Inconnus</b>					
<b>Ostrya-Carpinus</b>				<b>Indéterminables</b>					
Populus cf. tremuloides				<b>H O R S - T O T A L</b>	POINTAGE	N	%		
				cf. Callitriche					
Populus cf. balsamifera				Potamogeton-Triglochin					
Castanea dentata									
				Lycopodium annotinum	<i>6</i>	<i>5,7</i>			
				Lycopodium clavatum					
				Isoetes					
<b>Eucalyptus N°:</b>	<i>1365</i>	nombre à reporter en haut							
				Huperzia type selago					
				<b>Sphagnum</b>					
				Spore monilète		<i>2</i>	<i>1,9</i>		
				Spore trilète	<i>4</i>	<i>3,8</i>			
<b>POLLEN ARBORÉEN</b>	N	%	PA/T						
<b>POLLEN ARBUSTIF</b>	<i>13</i>	<i>12,1</i>							
<b>POLLEN HERBACÉ</b>	<i>15</i>	<i>14,3</i>							
<b>POLLEN INDÉTERMINÉ</b>	<i>22</i>	<i>20,6</i>		Pediastrum boryanum integrum	<i>1</i>	<i>1,0</i>			
<b>TAXONS HORS TOTAL</b>	<i>13</i>	<i>12,4</i>	<i>12,4</i>	Pediastrum boryan. longicorne					
<b>GRAND TOTAL</b>	<i>106</i>	<i>100</i>							
Nombre de lames analysées: <i>2</i>   Propreté:				Hyphes de champignon					
<b>Remarques:</b>									

### Annexe III

CONDITIONS CLIMATIQUES ASSOCIÉES AUX TAXONS POLLINIQUES OBSERVÉS DANS LES SÉDIMENTS DE L'ÎLE BYLOT  
(RITCHIE, 1987; THOMPSON ET AL., 1999; WILLIAMS ET AL., 2006; ENVIRONNEMENT CANADA (SECTION *PLANT HARDINESS*), 2011)

Taxon	T annuelle (°C)			T janvier (°C)			T juillet (°C)			P annuelles (mm)			P janvier ((mm)			P juillet (mm)		
	Max	Min	Md	Max	Min	Md	Max	Min	Md	Max	Min	Md	Max	Min	Md	Max	Min	Md
<i>Abies amabilis</i>	10,3	-1,4	5,2	3,6	-13,8	-2,6	22,1	8,9	16,4	4370	700	1805	616	91	254	138	9	46
<i>Abies balsamea</i>	11,0	-6,2	0,0	-0,7	-26,8	-19,0	22,1	8,9	16,4	1650	370	815	166	16	50	212	56	96
<i>Acer rubrum</i>	23,8	-1,1	11,1	18,9	-19,5	-1,6	28,8	13,5	22,8	1630	550	1100	166	15	81	222	61	104
<i>Acer spicatum</i>	14,1	-2,3	3,3	2,8	-24,6	-12,7	24,6	11,5	17,9	1560	415	895	166	17	62	164	56	92
<i>Alnus crispa</i>	10,6	-4,8	2,2	2,9	-29,4	-14,4	28,8	10,2	20,1	3344	319	705	421	19	63	144	17	70
<i>Alnus incana</i>	11,2	-10,2	-0,4	-0,5	-30,9	-19,7	23,5	7,1	15,9	1650	220	675	166	9	33	212	28	85
<i>Andromeda polifolia</i>	9,8	-4,9	1,6	0,2	-29,2	-22,9	29,3	15,7	23,7	1688	356	682	170	19	45	138	27	94
<i>Betula alleghaniensis</i>	14,3	-1,2	5,4	3,6	-20,0	-9,5	25,4	13,1	19,2	1560	540	970	163	17	69	164	61	95
<i>Betula glandulosa</i>	9,7	-6,0	-0,1	0,4	-30,5	-18,1	29,3	9,8	19,3	1926	307	681	230	16	47	151	8	87
<i>Betula nana</i>	3,7	-13,4	-6,0	-0,5	-34,8	-25,6	16,4	4,5	12,3	4130	115	370	332	4	19	307	18	54
<i>Betula papyrifera</i>	11,4	-12,2	-1,0	3,5	-31,0	-20,0	23,5	7,1	15,3	4370	195	630	612	4	32	223	7	80
<i>Carpinus caroliniana</i>	28,2	2,5	12,9	26,5	-16,5	0,4	29,8	14,1	23,8	3810	600	1090	167	1	78	425	54	107
<i>Carya cordiformis</i>	20,1	3,6	12,6	12,4	-16,2	-0,6	29,2	17,8	24,8	1560	630	1060	150	12	75	204	47	104
<i>Carya ovata</i>	22,4	3,6	12,0	15,6	-12,8	-1,2	29,8	16,7	24,1	1755	410	1055	150	9	74	242	61	104
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	17,9	-6,0	0,2	2,0	-30,4	-25,4	33,1	12,5	22,7	2827	344	776	325	18	43	148	53	93
<i>Corylus cornuta</i>	17,2	-2,4	3,7	9,6	-25,2	-12,0	26,7	8,0	18,0	3820	310	855	501	8	61	157	1	83
<i>Fagus grandifolia</i>	20,5	1,2	11,2	13,4	-14,7	-1,4	28,4	14,3	22,9	1630	710	1115	166	25	86	211	61	106
<i>Fraxinus americana</i>	21,7	0,1	11,6	15,1	-15,6	-1,8	29,3	14,4	23,8	1595	620	1065	166	14	77	214	51	102
<i>Fraxinus nigra</i>	12,9	-1,2	4,8	-0,4	-21,2	-11,3	25,2	13,5	18,8	1495	470	880	166	16	59	164	59	94
<i>Larix laricina</i>	11,2	-9,7	-1,2	-1,0	-31,0	-20,9	23,2	7,2	15,5	1650	250	655	166	6	31	212	29	85
<i>Larix occidentalis</i>	8,6	-1,3	4,5	-1,1	-14,4	-6,8	19,8	10,6	15,8	2520	300	755	415	36	100	64	10	29
<i>Menyanthes trifoliata</i>	12,9	-5,8	2,3	-5,7	-30,2	-17,8	32,6	15,1	22,1	1551	376	749	152	9	38	135	29	96
<i>Myrica gale</i>	13,0	-5,8	4,2	2,3	-30,2	-15,0	17,1	4,8	10,4	4180	390	1072	473	19	97	141	25	92
<i>Ostrya virginiana</i>	27,0	1,2	10,5	25,6	-20,3	-3,6	28,6	14,6	23,0	3810	355	1030	193	2	71	425	49	102

## CONDITIONS CLIMATIQUES ASSOCIÉES AUX TAXONS POLLINIQUES OBSERVÉS DANS LES SÉDIMENTS DE L'ÎLE BYLOT (SUITE)

Taxon	T annuelle (°C)			T janvier (°C)			T juillet (°C)			P annuelles (mm)			P janvier ((mm)			P juillet (mm)		
	Max	Min	Md	Max	Min	Md	Max	Min	Md	Max	Min	Md	Max	Min	Md	Max	Min	Md
<i>Picea glauca</i>	8,6	-12,2	-1,9	-2,4	-33,1	-21,2	21,7	7,1	14,9	2670	185	570	217	4	29	151	34	84
<i>Picea mariana</i>	10,7	-12,4	-2,2	-2,0	-34,2	-21,7	23,1	7,6	14,9	1845	190	565	178	4	28	212	21	80
<i>Pinus albicaulis</i>	10,4	-4,58	0,37	-1,73	-21,9	-15,2	31,5	8,74	19,2	2284	254	690	330	17	68	113	8	67
<i>Pinus banksiana</i>	9,8	-8,0	-0,9	-4,5	-30,4	-21,5	22,8	10,9	16,0	1435	250	615	159	7	27	157	32	84
<i>Pinus contorta</i>	15,3	-7,2	1,2	9,7	-29,3	-11,4	27,6	7,1	13,9	4370	230	620	612	11	64	202	1	55
<i>Pinus strobus</i>	25,5	-0,5	5,4	25,8	-20,6	-9,4	26,8	13,9	19,1	2295	550	965	166	4	68	302	60	95
<i>Populus tremuloides</i>	21,4	-12,2	-0,1	13,6	-31,0	-18,6	28,9	7,1	15,6	3270	145	625	425	4	33	221	2	78
<i>Quercus rubra</i>	19,4	-1,1	9,6	10,2	-18,4	-4,9	28,1	13,5	22,3	1560	560	1000	161	12	69	170	61	101
<i>Salix alaxensis</i>	5,9	-16,3	-5,4	-10,4	-26,6	-19,7	22,5	11,6	17,2	4685	115	375	135	27	49	115	44	74
<i>Salix arbusculoides</i>	3,6	-13,5	-4,9	-11,5	-27,7	-18,5	23,4	13,9	20,8	2670	165	385	95	19	35	122	44	84
<i>Salix reticulata</i>	9,43	-5,49	-1,74	-7,78	-29,2	-15	29,3	9,61	13,9	1469	390	851	157	17	78	106	45	90
<i>Thuja occidentalis</i>	14,2	-4,4	2,5	2,6	-24,2	-14,6	24,8	12,4	17,7	1475	445	850	138	17	57	164	59	95

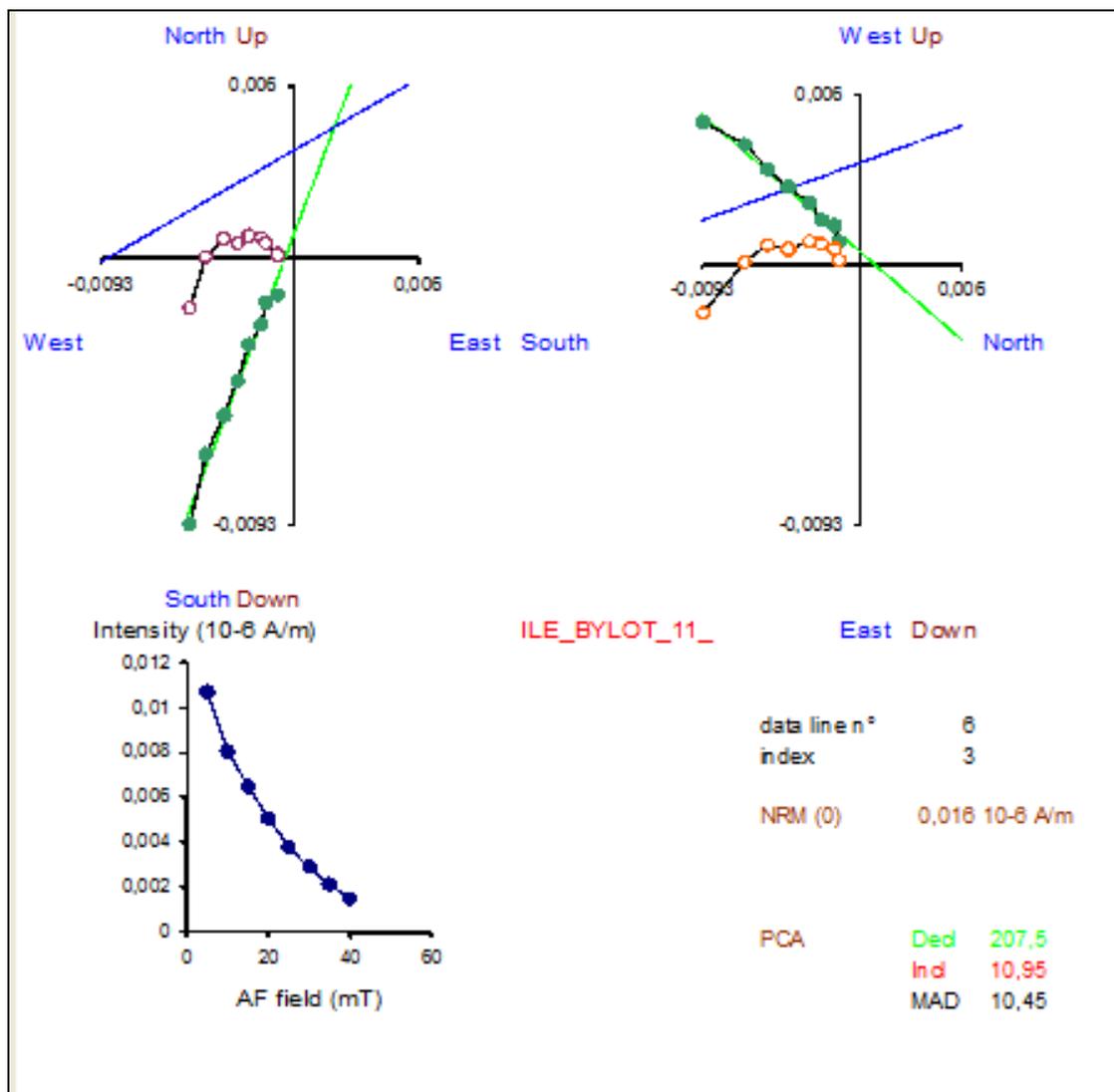
## Annexe IV

CARACTÉRISTIQUES MAGNÉTIQUES DES ÉCHANTILLONS RETENUS

DANS LE CADRE DE CE TRAVAIL

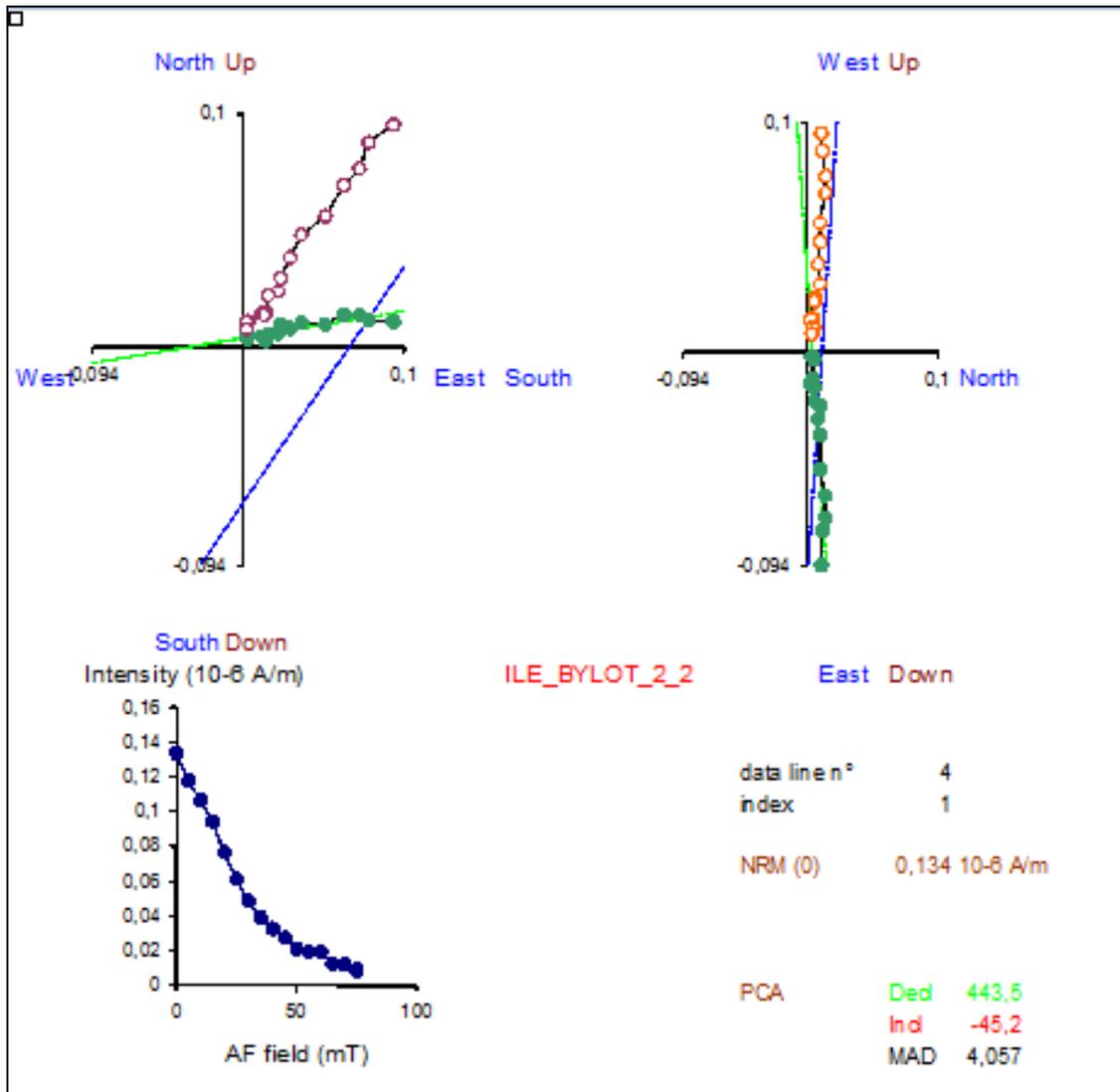
(VOIR CRITÈRES DE SÉLECTION DANS LA SECTION *OPÉRATIONS DE LABORATOIRE*)

### CP1 151



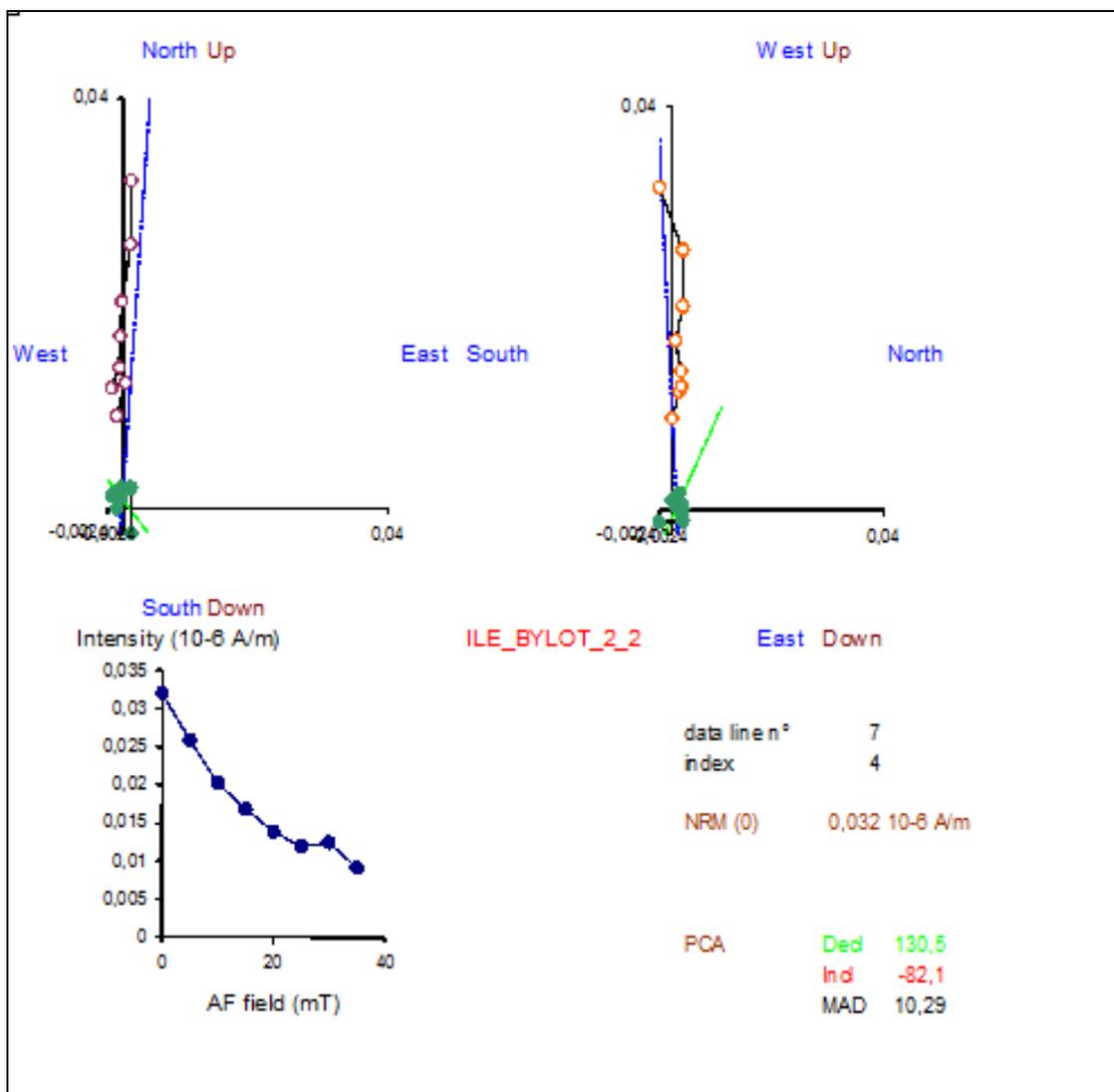
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
11	198,35	10,45	10,7	0,991	0,30E+00	5,05E-03

CP2 205

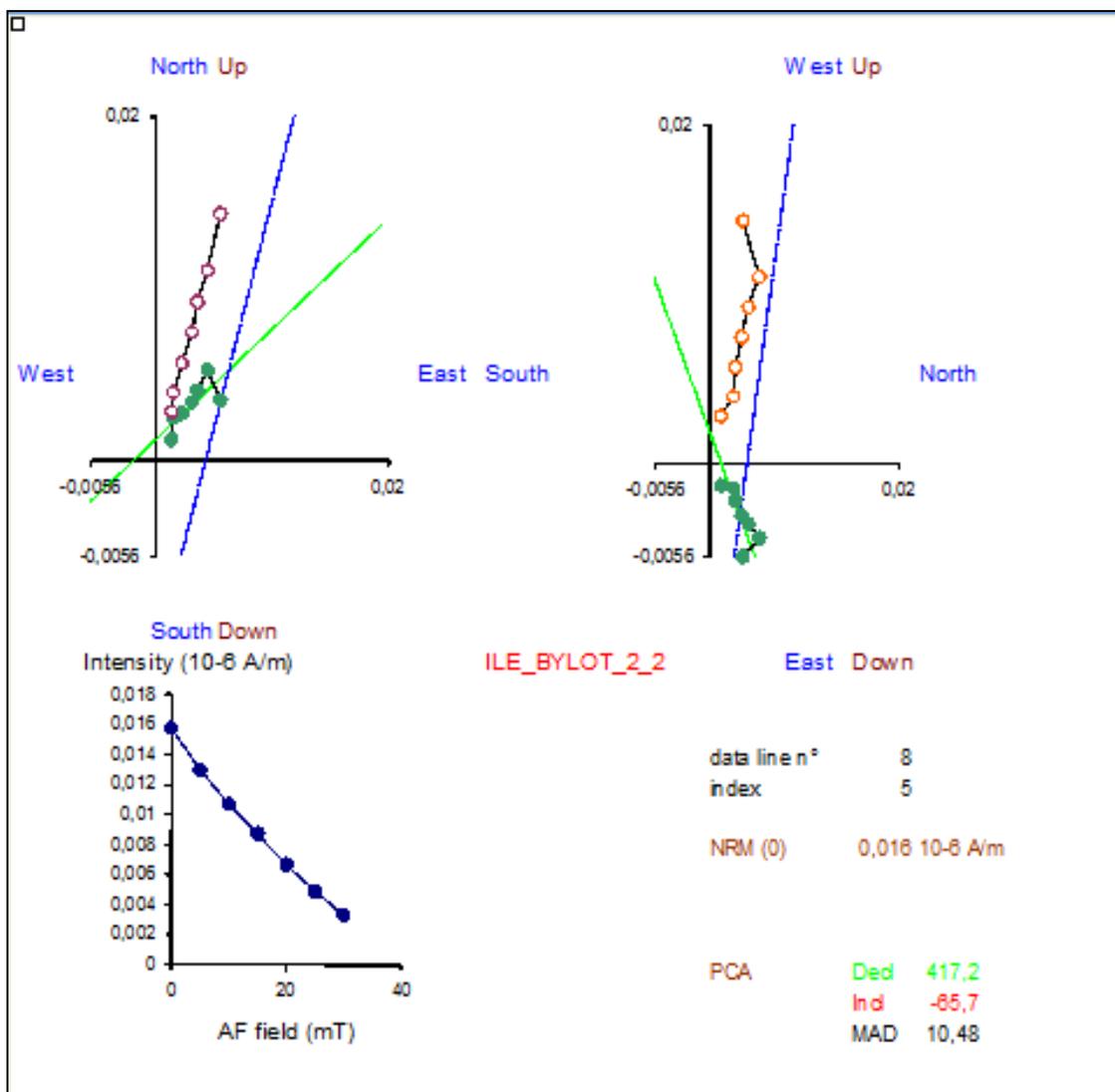


INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-45,2	443,5	4,06	23,1	0,995	1,17E+00	2,40E-02

CP2 235

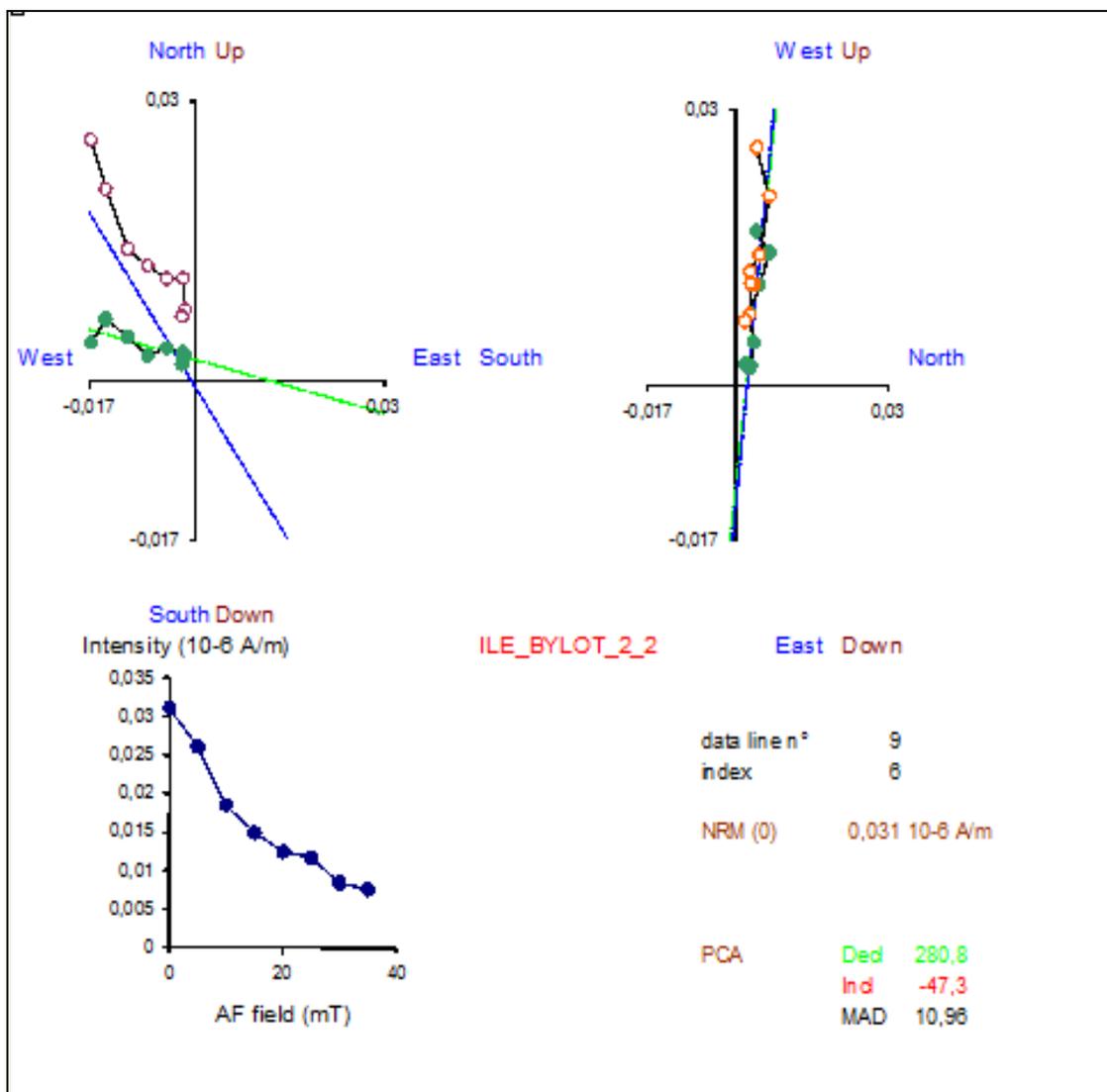


INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-82,1	130,5	10,29	16,3	0,971	8,20E-01	1,46E-02

CP2 240

INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-65,7	417,2	10,48	17,1	0,997	2,11E-01	5,06E-03

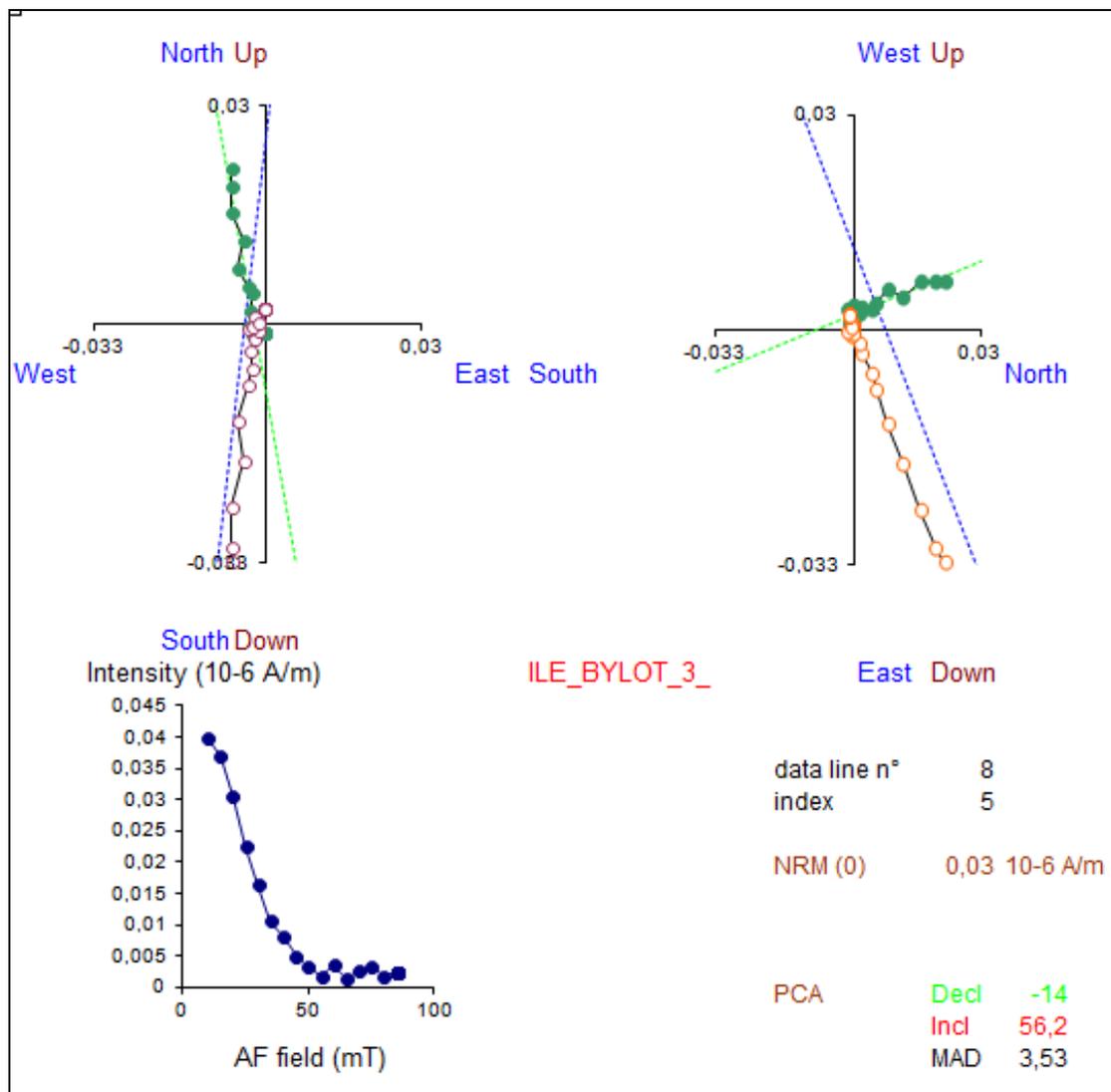
CP2 242



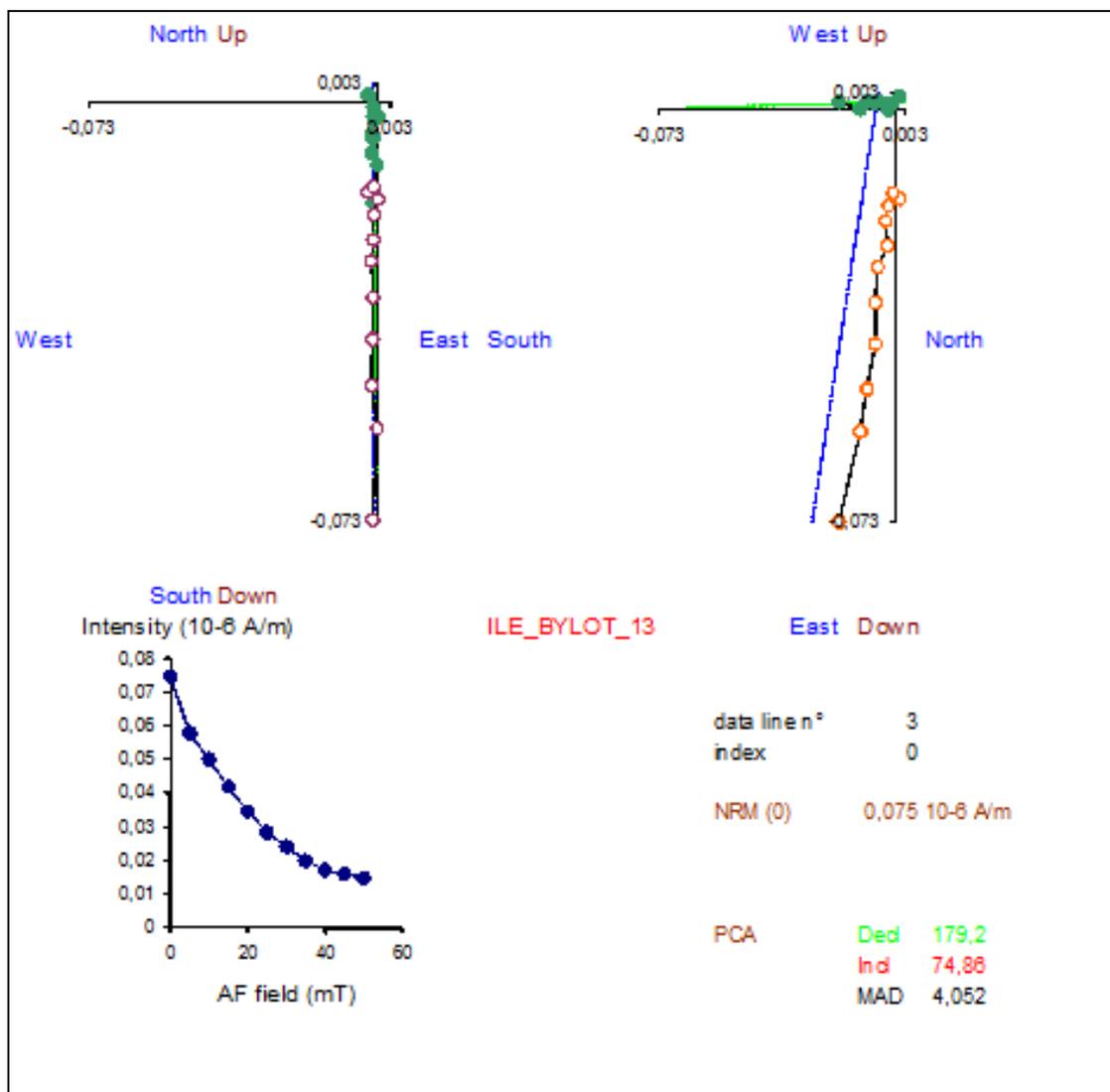
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-47,3	280,8	10,96	14,1	0,983	3,98E-01	1,06E-02



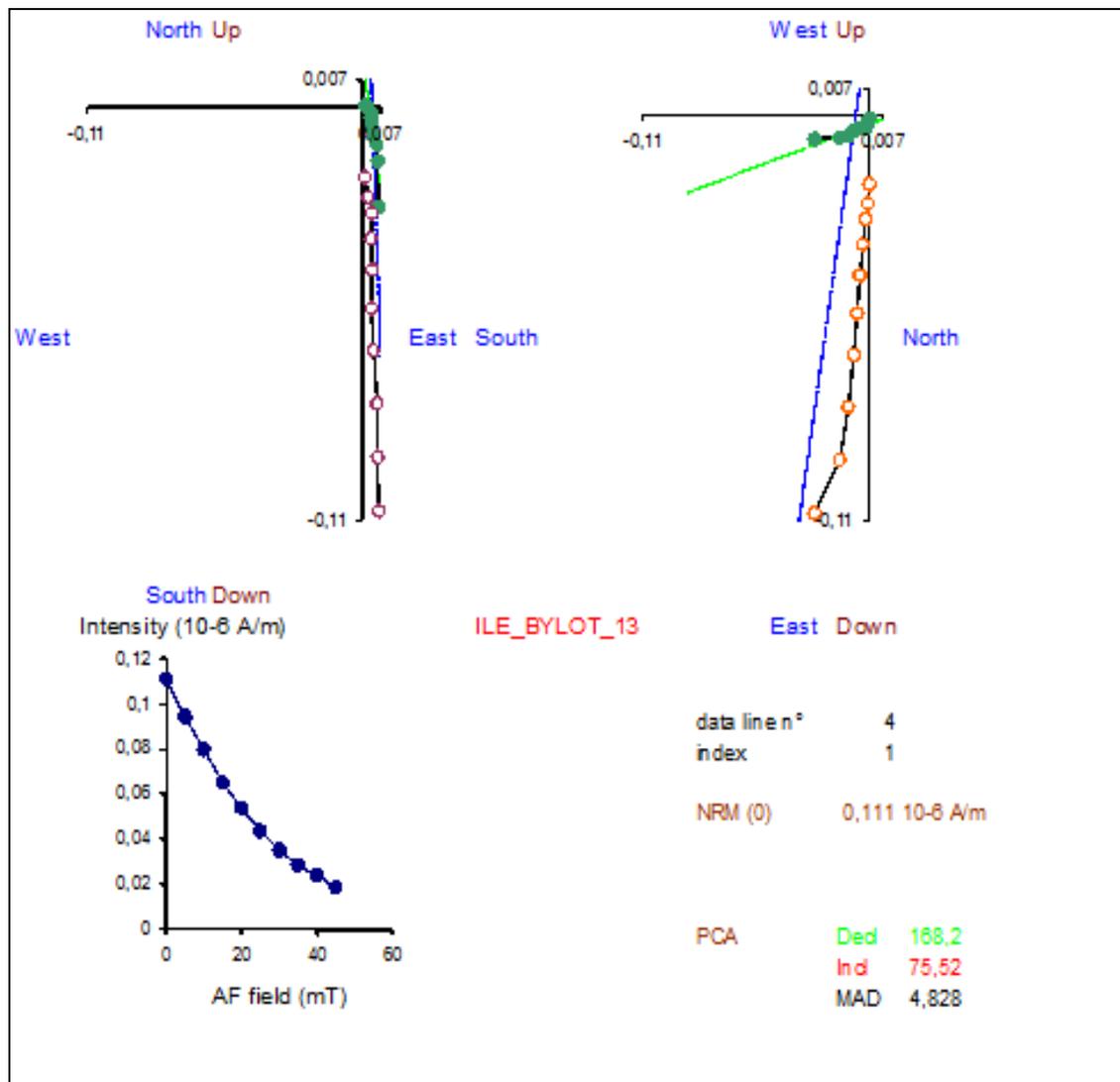
CP3 75



INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
56,2	-14	3,53	30	0,981	4,69E-01	5,91E-03

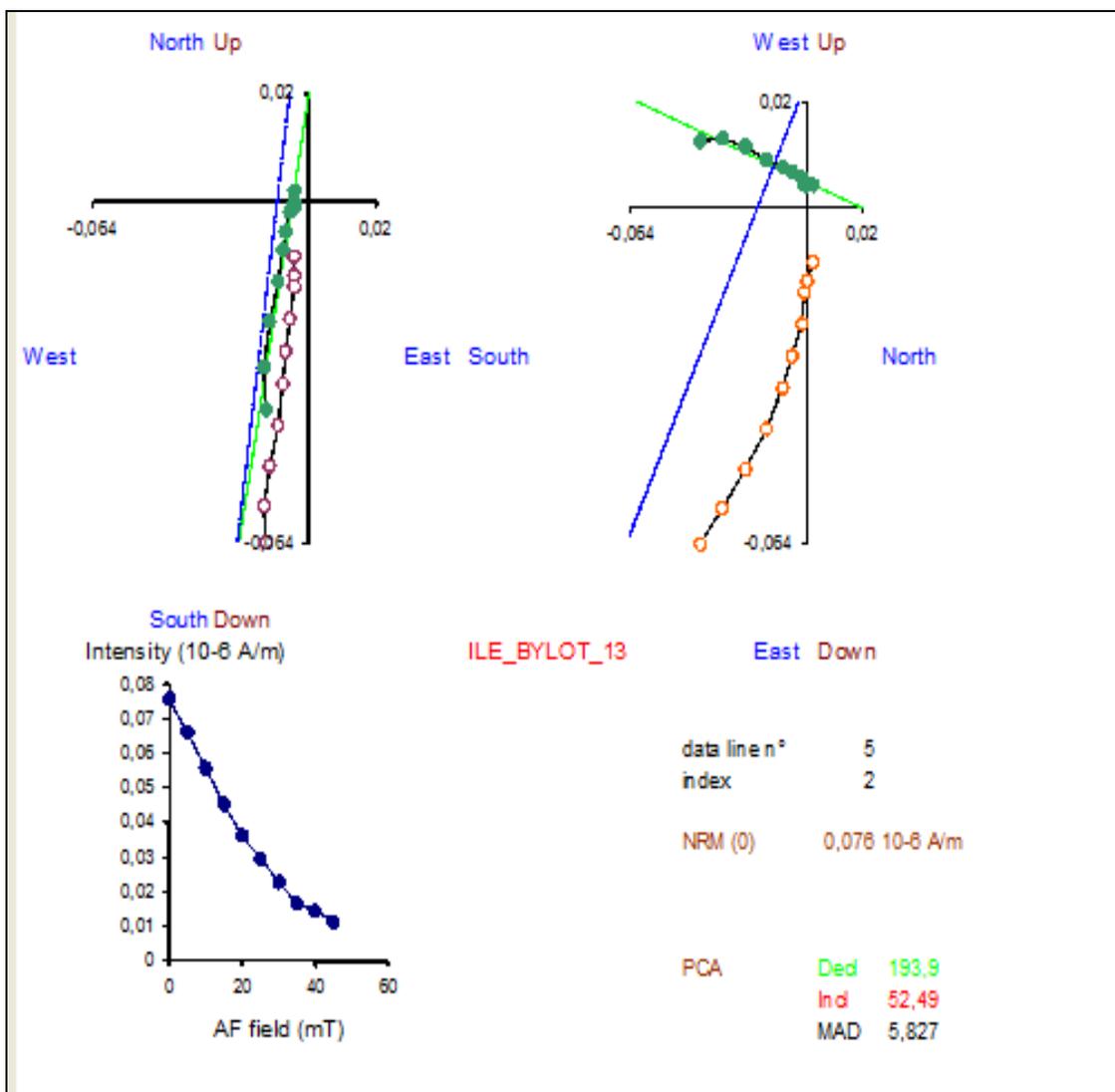
CP4 65

INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
74,9	179,2	4,05	18	1,007	7,39E-01	1,33E-02

CP4 80

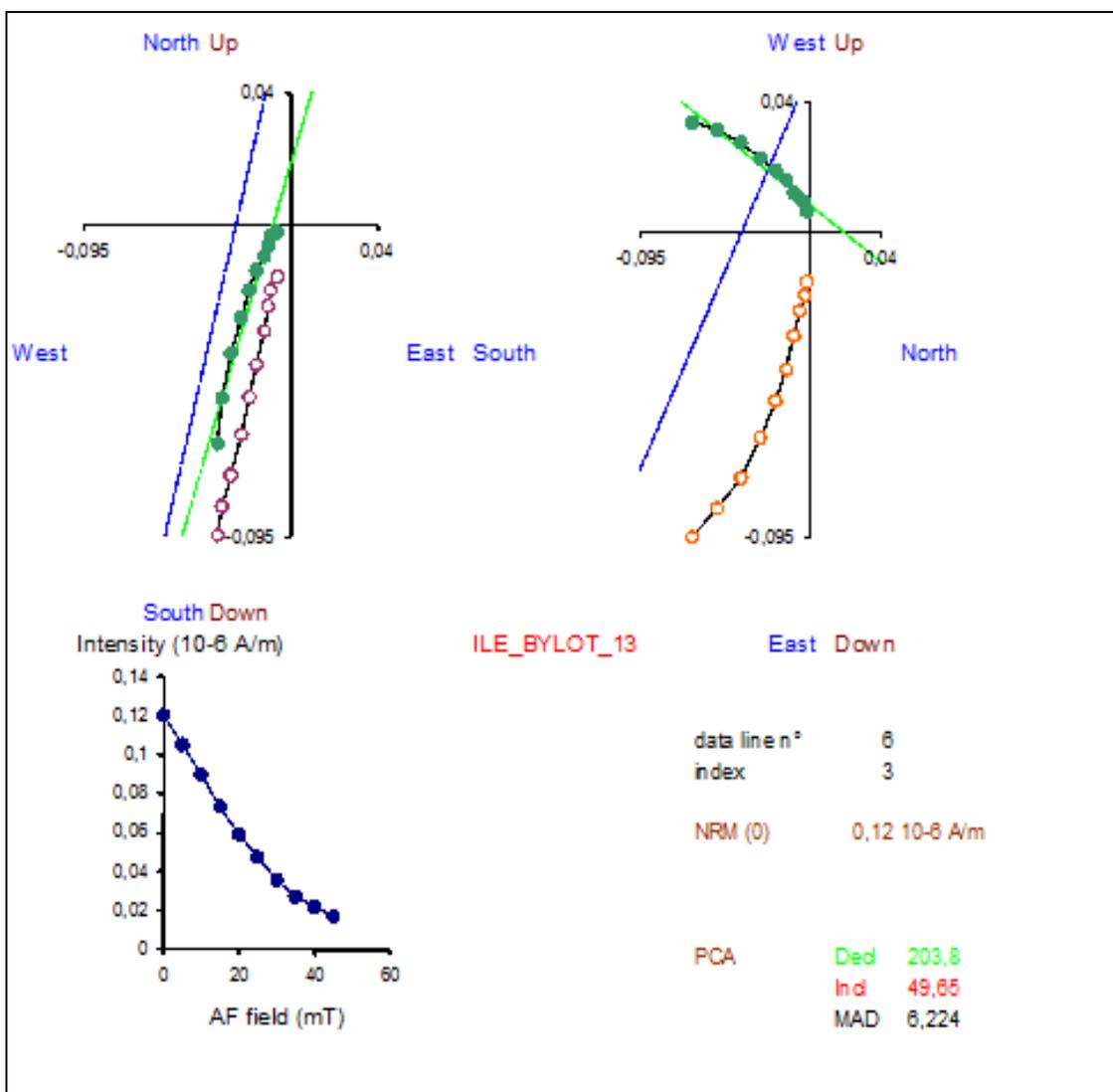
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
75,5	168,2	4,83	19,3	1,005	1,02E+00	2,10E-02

CP4 105



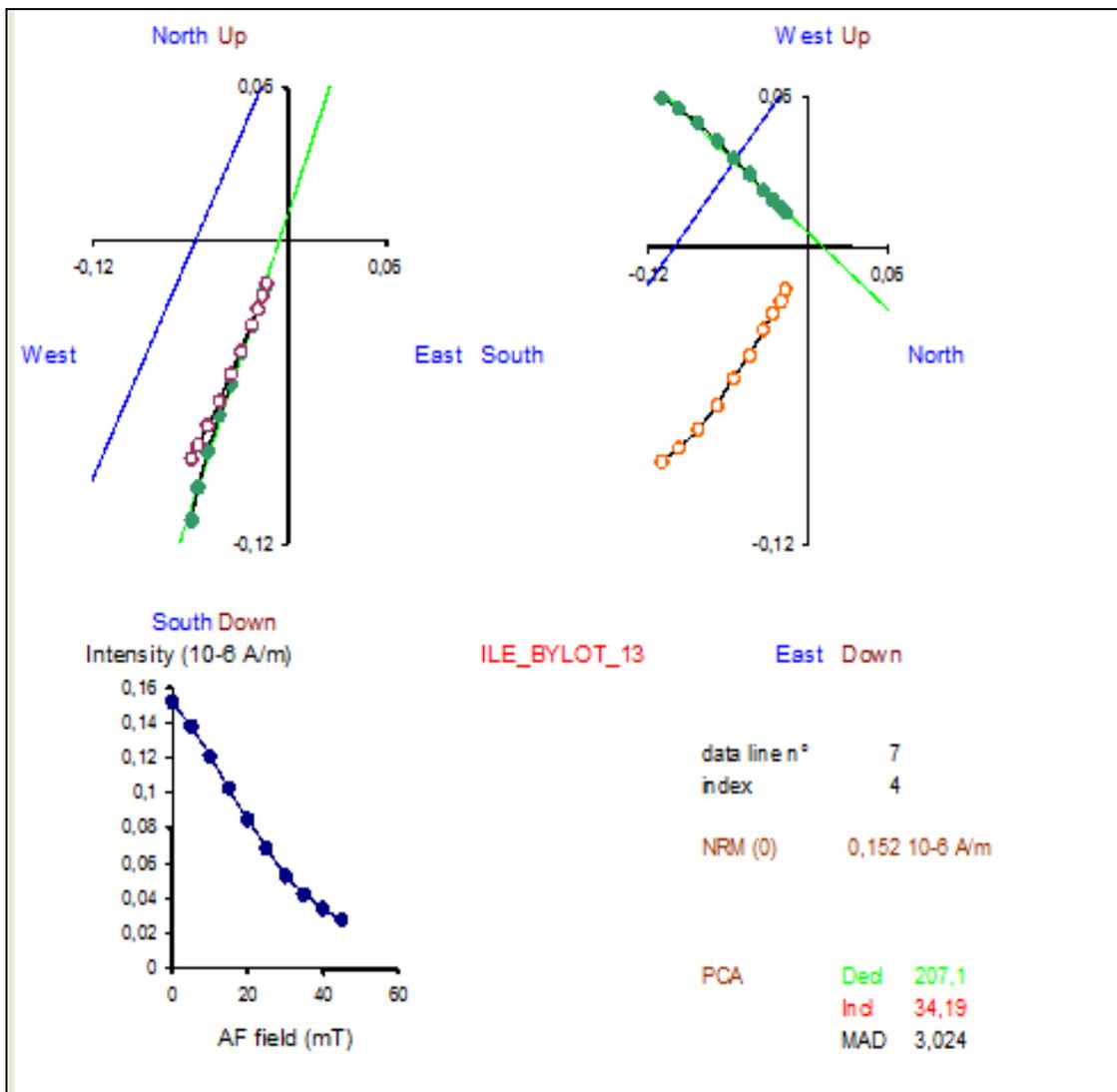
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
52,5	193,9	5,83	19,1	1,008	8,23E-01	1,90E-02

CP4 120



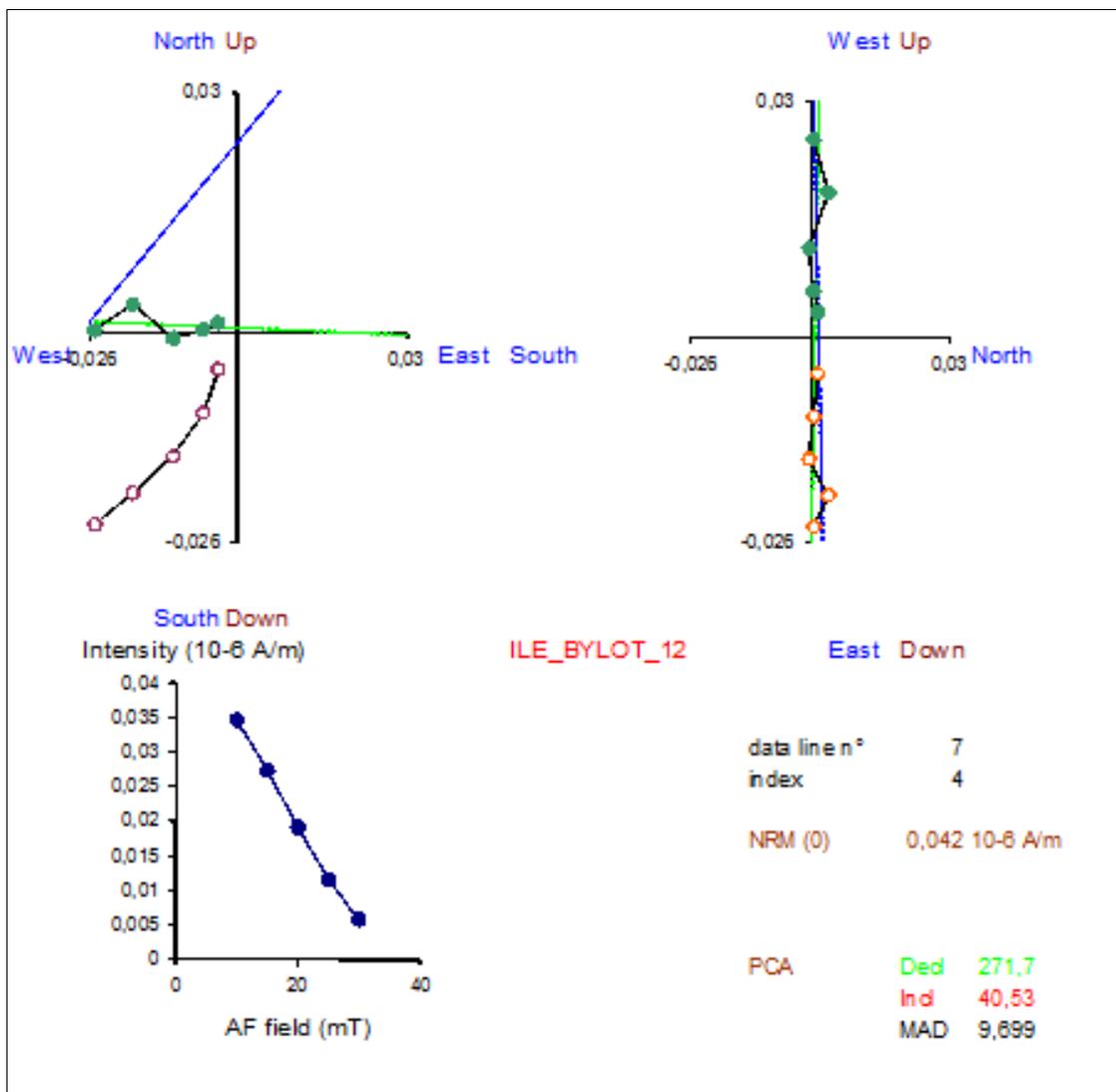
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
49,6	203,8	6,22	19,6	1,007	1,02E+00	2,23E-02

CP4 125

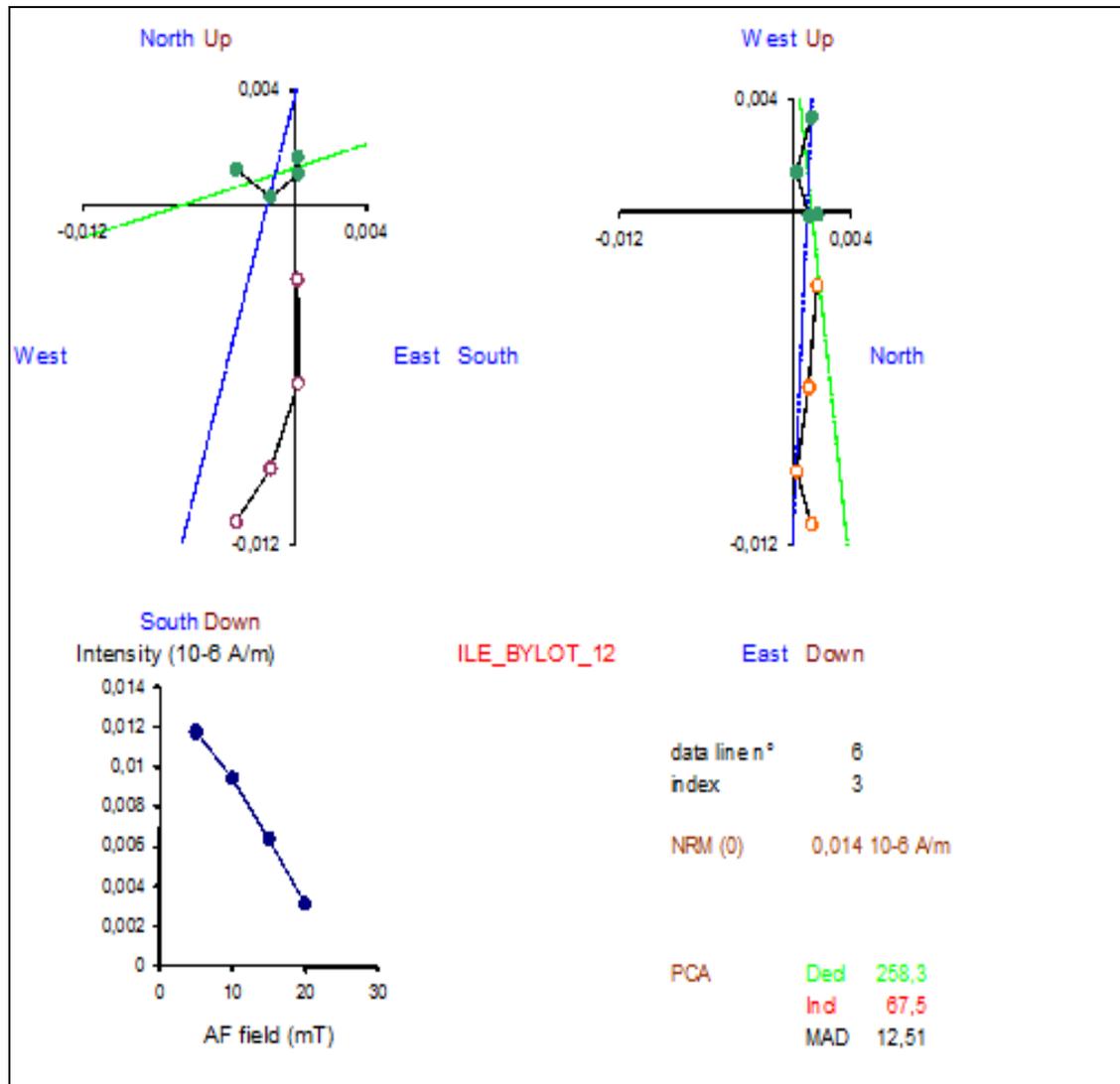


INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
34,2	207,1	3,02	22,8	1,004	1,29E+00	2,63E-02

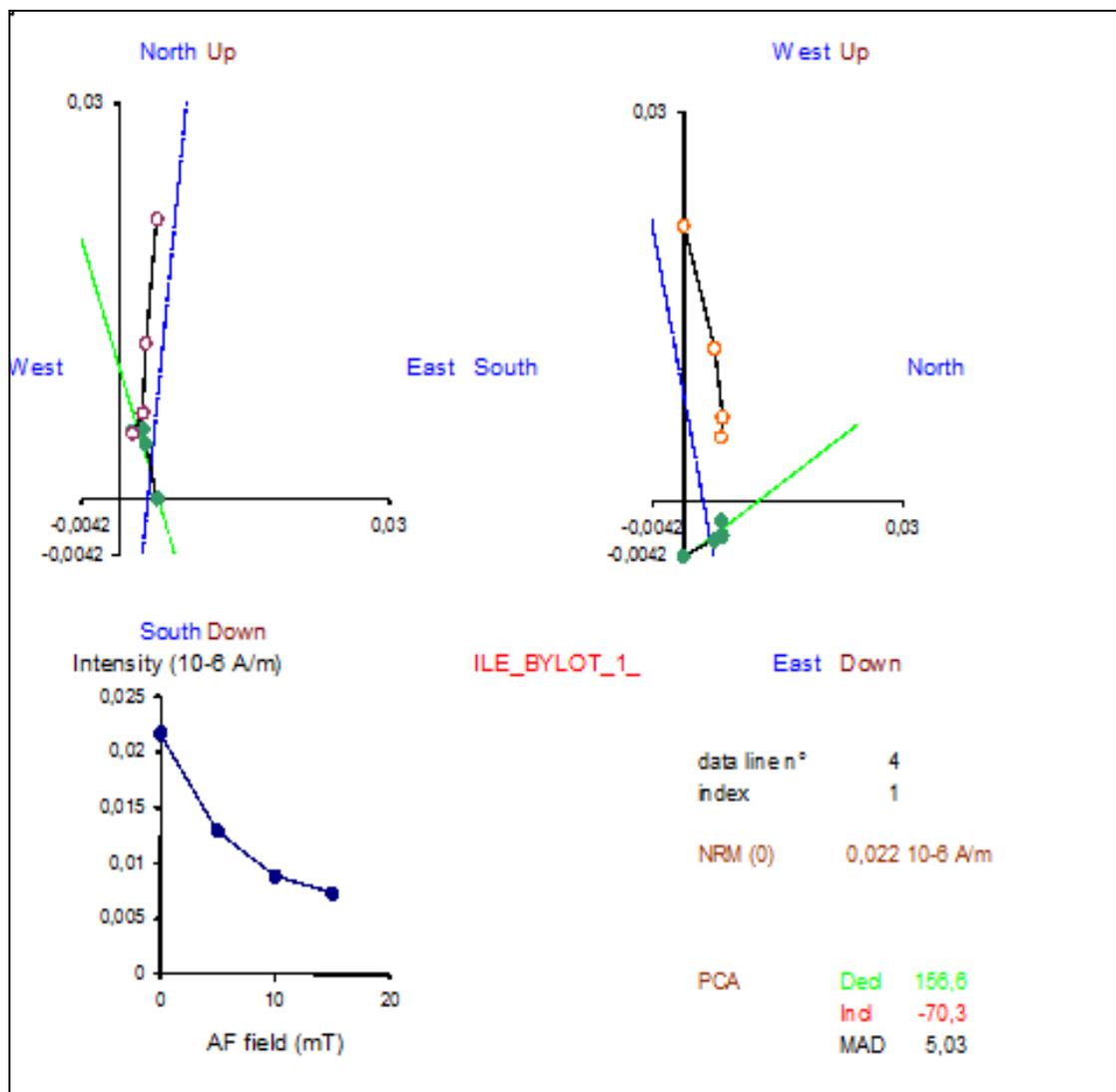
CP5 195



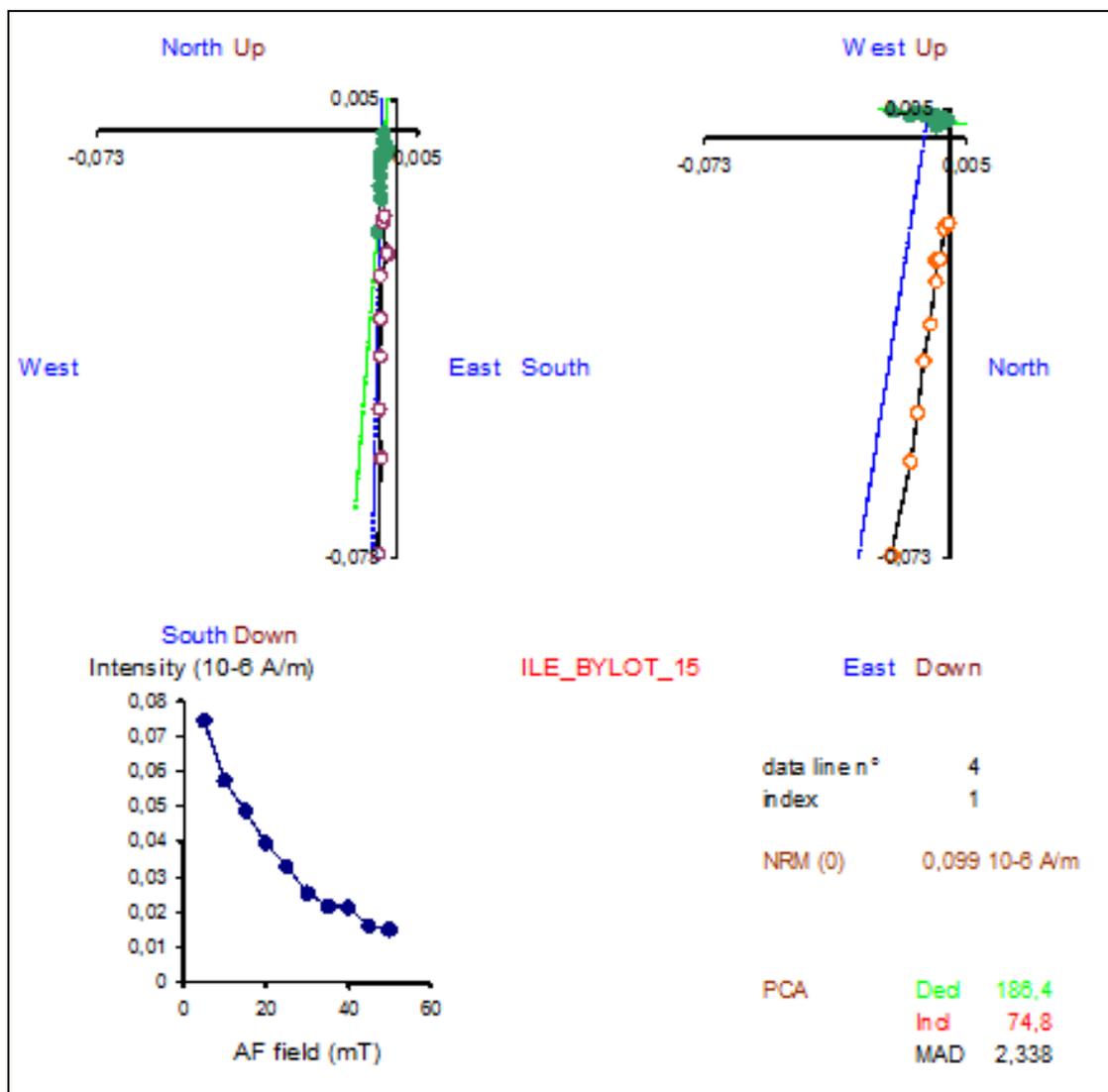
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
40,5	271,7	9,7	19	0,987	1,30E-01	3,73E-03

CP5 216

INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
67,5	258,3	12,5	14,4	0,991	1,72E-01	3,65E-03

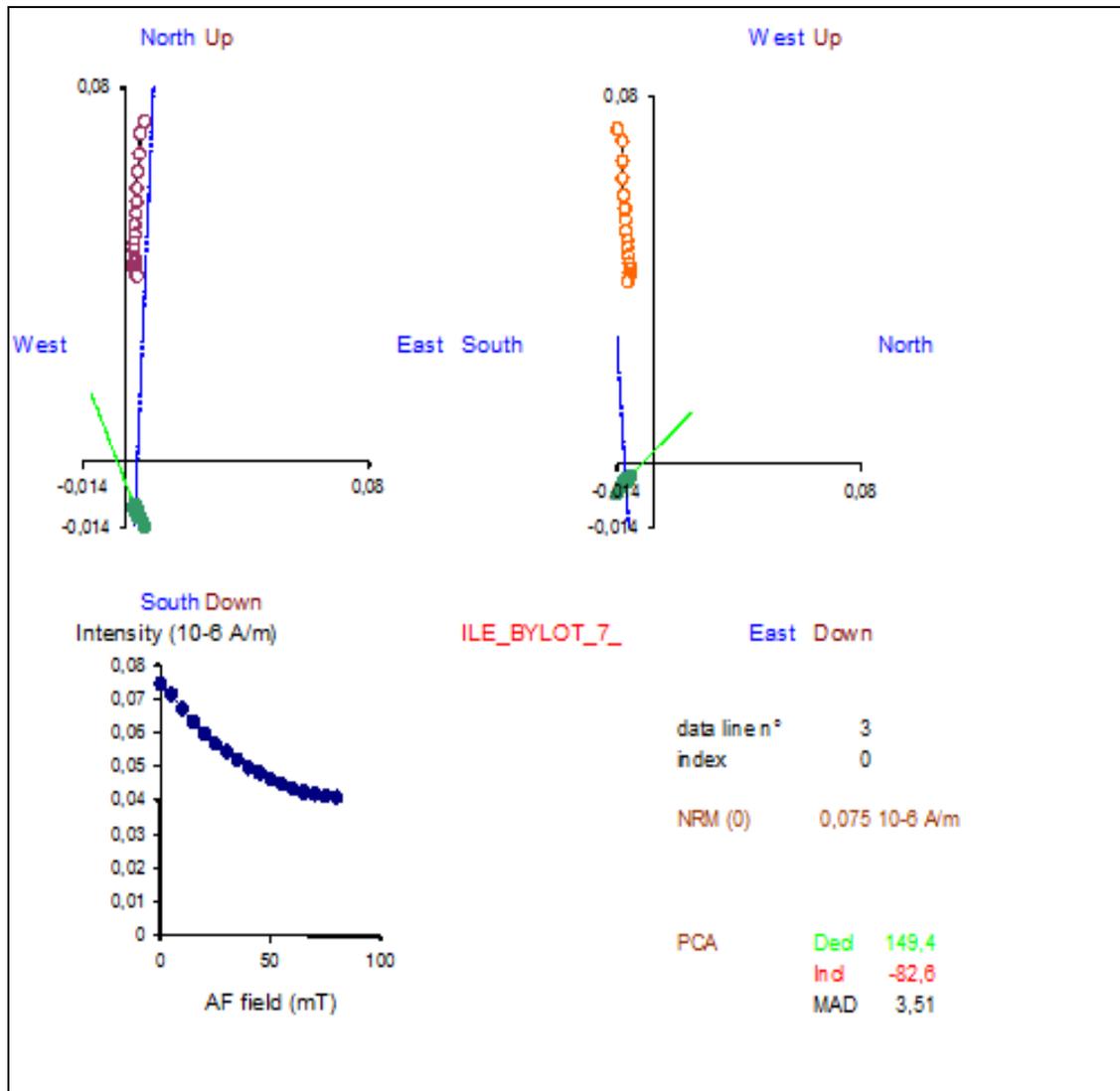
CP5 245

INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-70,3	156,6	5,03	7,5	0,999	5,21E-01	9,79E-03

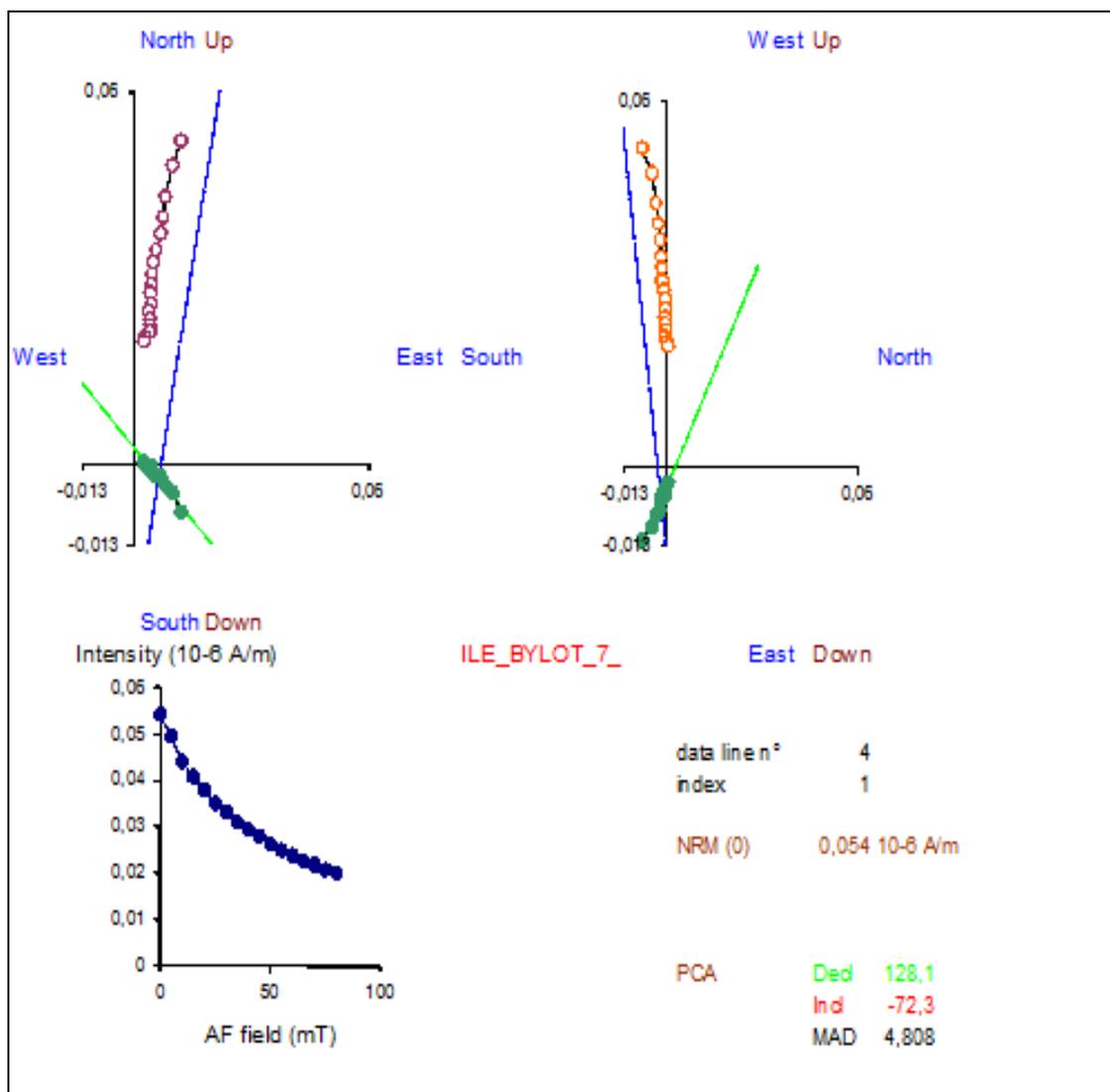
CP6 35

INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
74,8	186,4	2,34	14,6	0,966	1,41E+00	3,04E-02

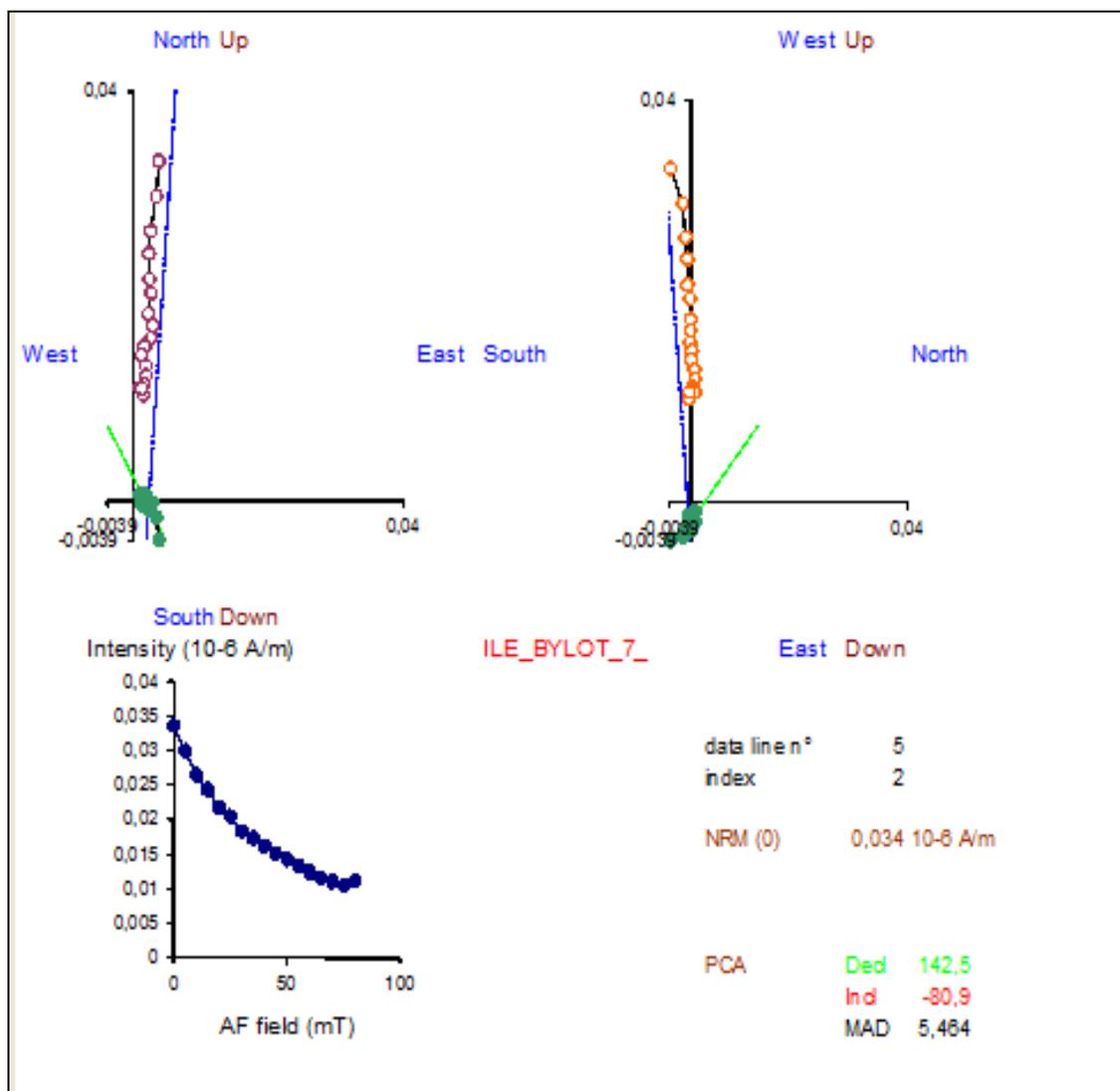
CP6 50



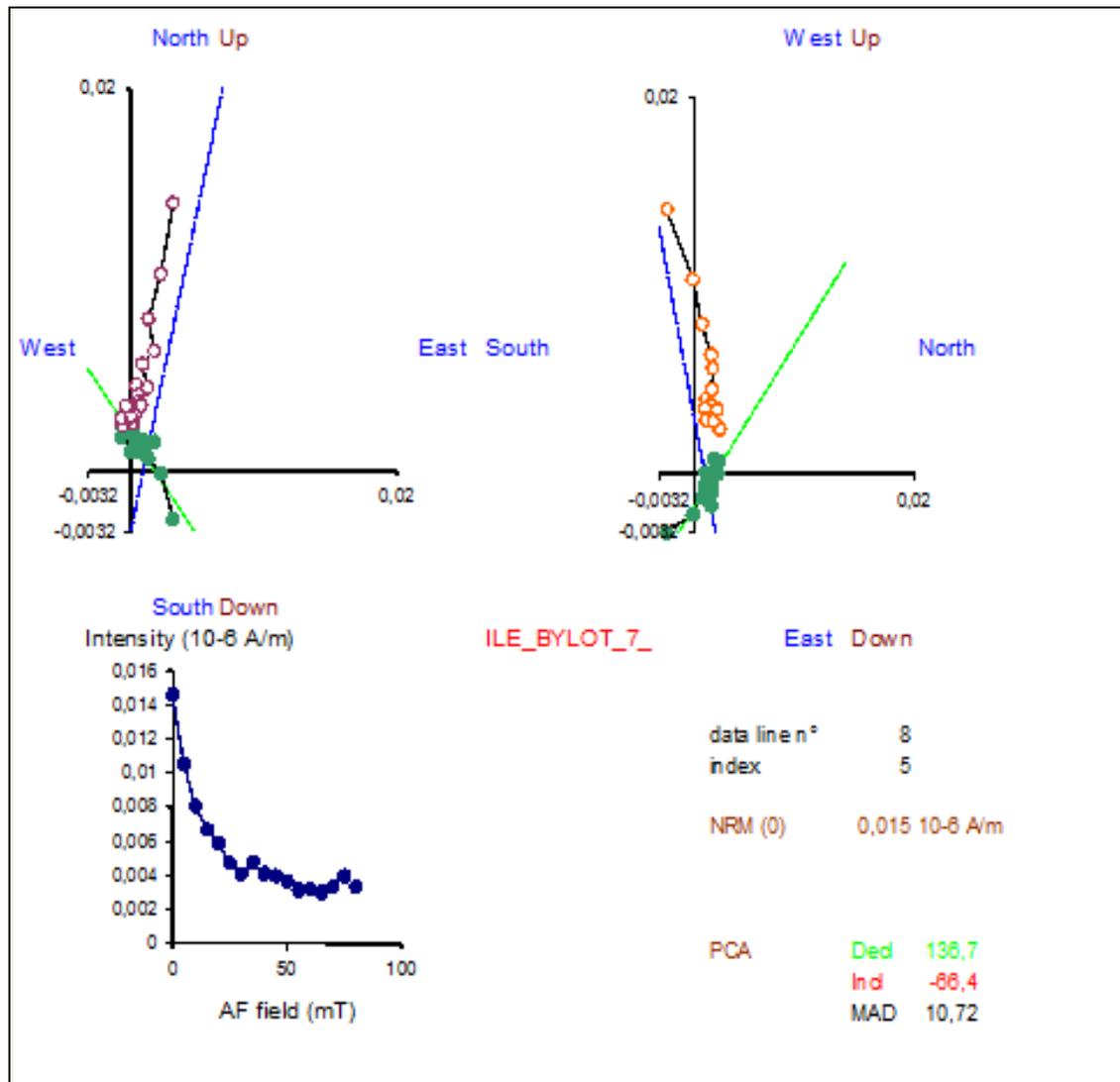
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-77	149,4	3,5	72,5	0,98	2,69E+00	1,42E-02

CP6 55

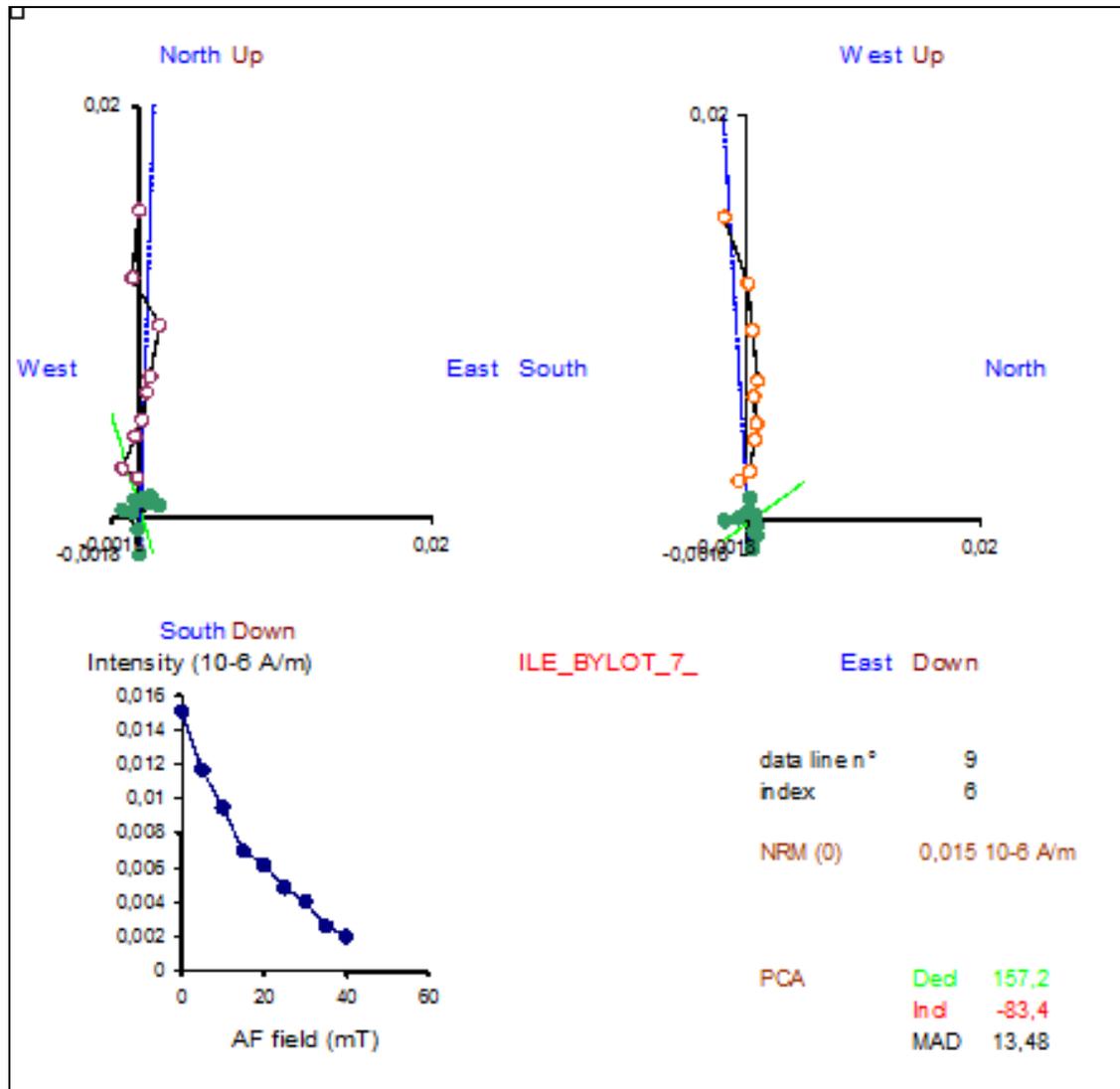
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-72,3	128,1	4,81	47,6	0,980	9,08E+00	1,15E-02

CP6 60

INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-80,9	142,5	5,5	37,3	0,984	3,12E+00	6,34E-03

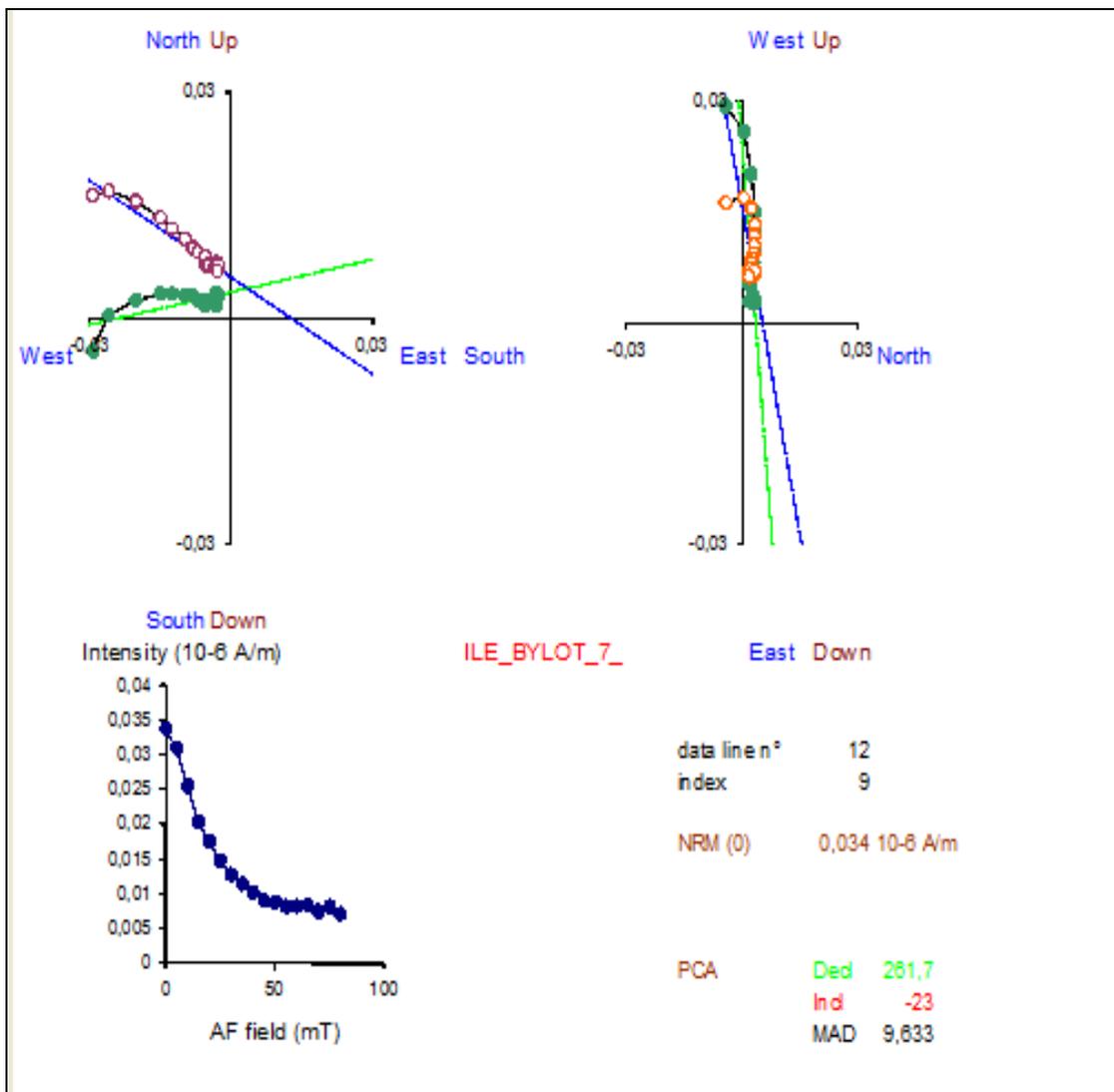
CP6 75

INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-66,4	136,7	6,8	12,8	0,973	3,39E-01	1,13E-03

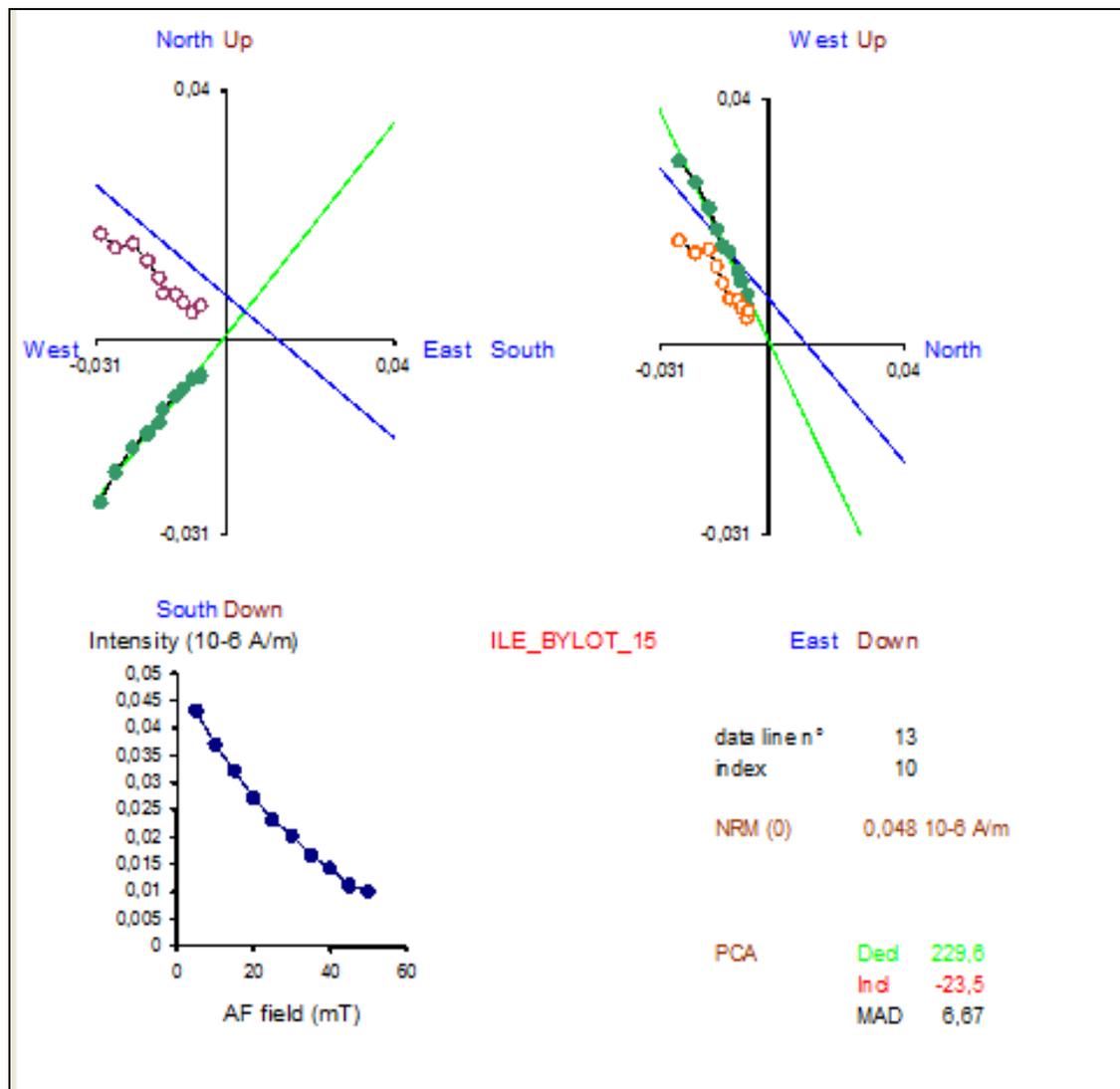
CP6 80

INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-83,4	157,2	13,4	13,9	0,983	3,47E-01	1,23E-03

CP6 180

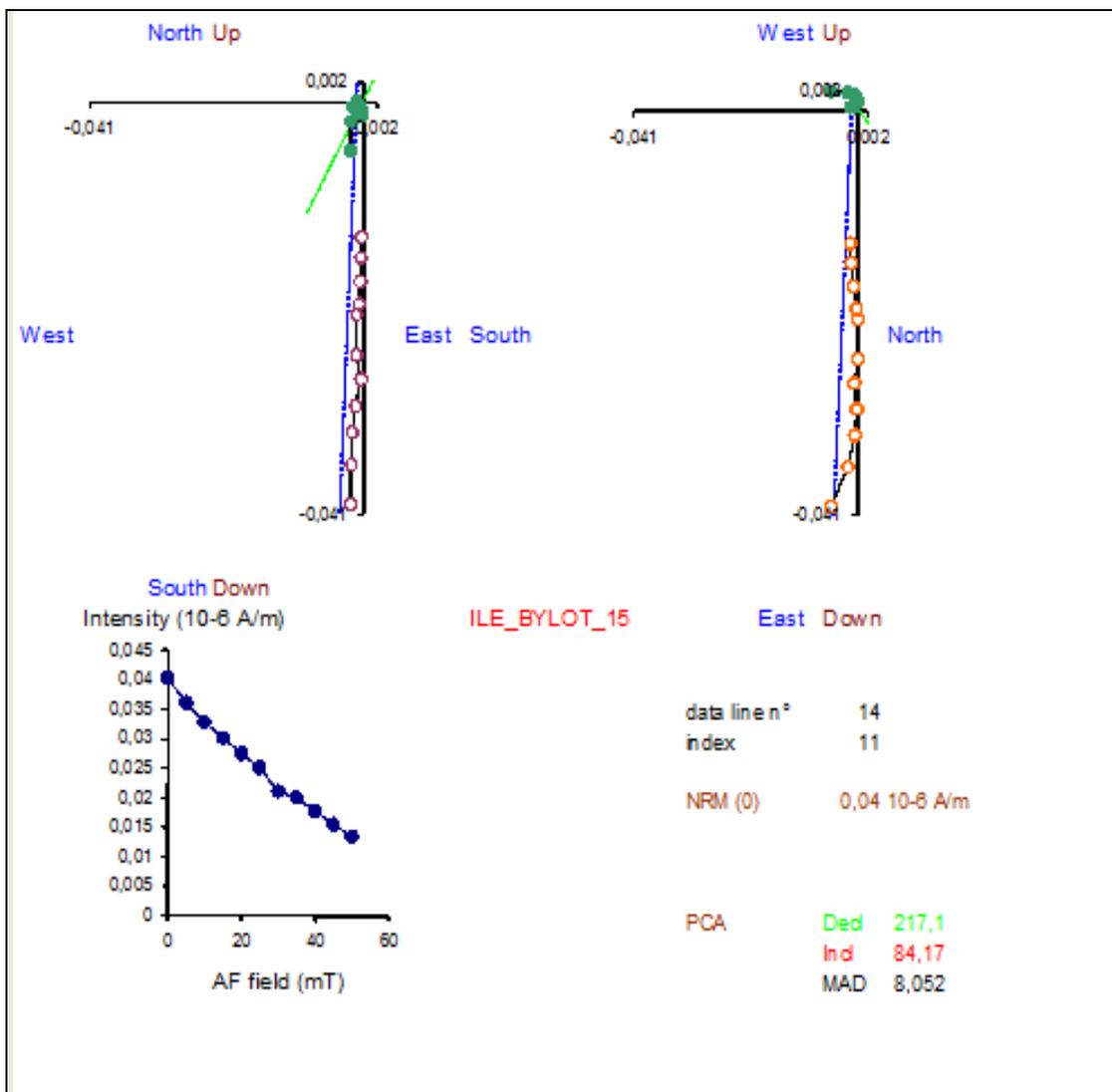


INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-23	261,7	11,2	21,1	0,938	1,97E+00	1,97E-02

CP6 205

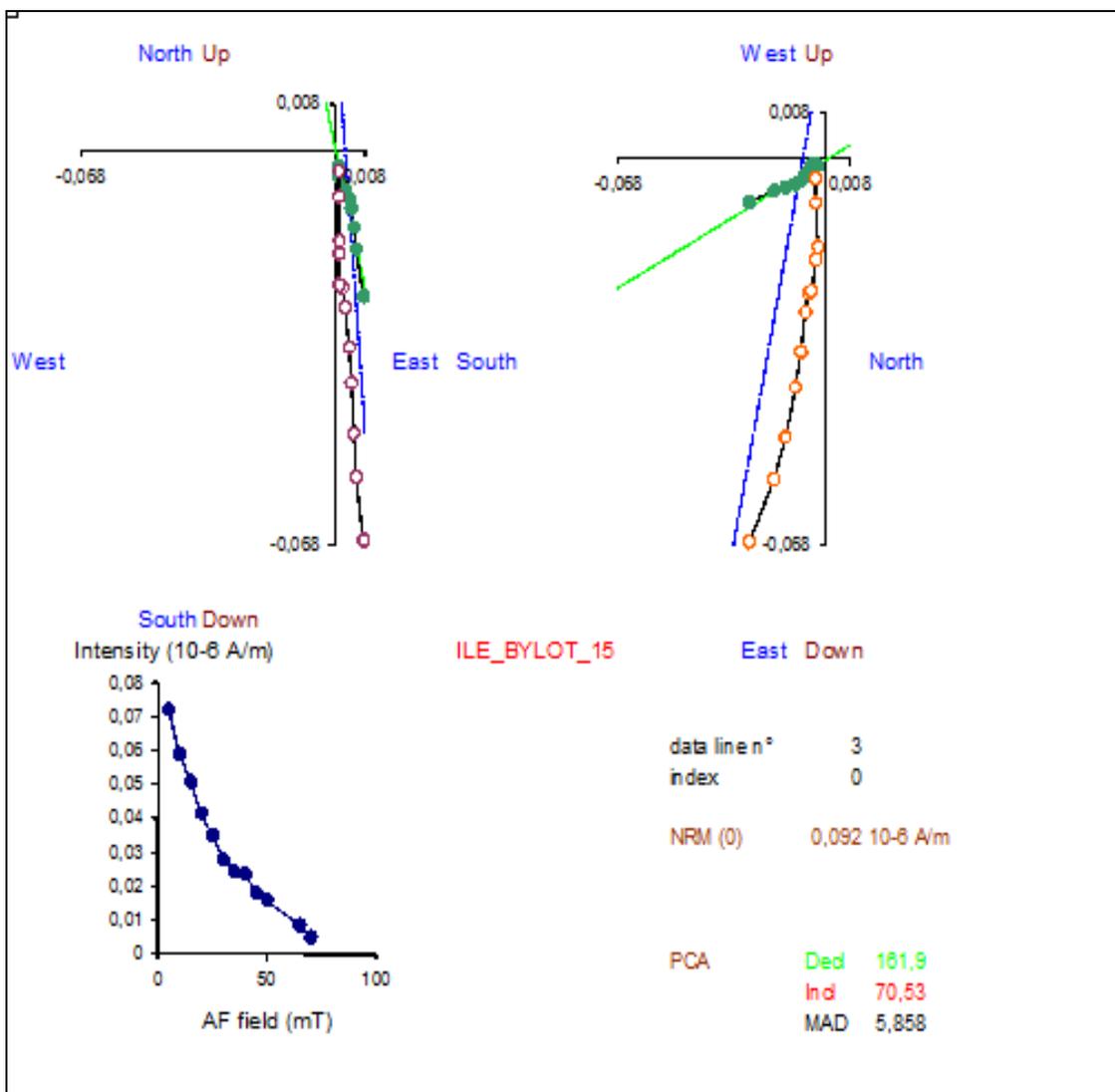
INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
-23,5	229,6	6,7	24	0,997	4,76E-01	6,91E-03

CP6 210



INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
84,2	217,1	7,4	18	1,017	1,34E+00	1,98E-02

**Fgf 1**

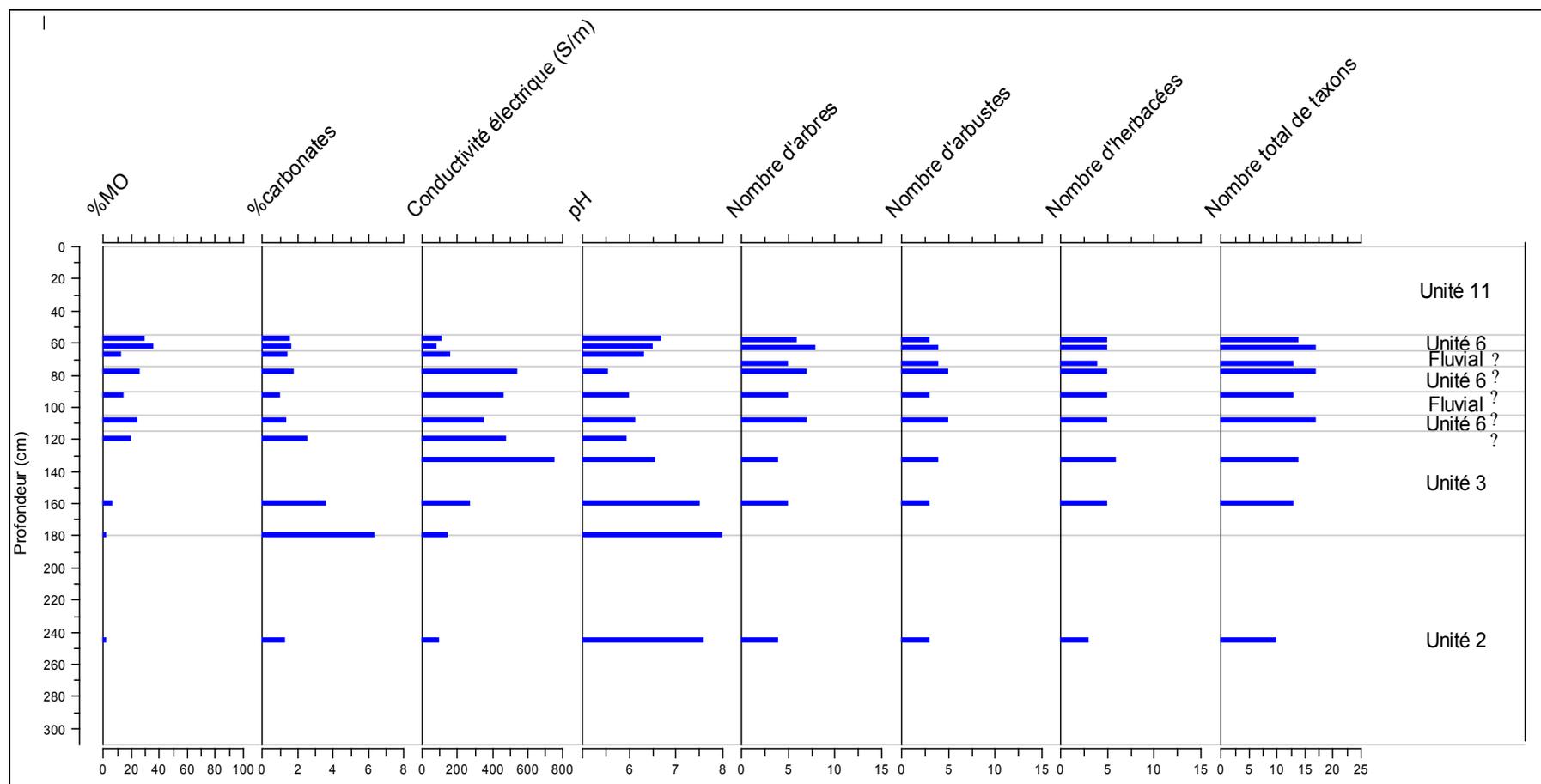


INC	DEC	MAD	MDF	IRM/SIRM	NRM (30mT) / ARM (30mT)	NRM (30mT) / IRM (30mT)
70,5	161,9	5,9	17,7	0,969	1,46E+00	3,11E-02

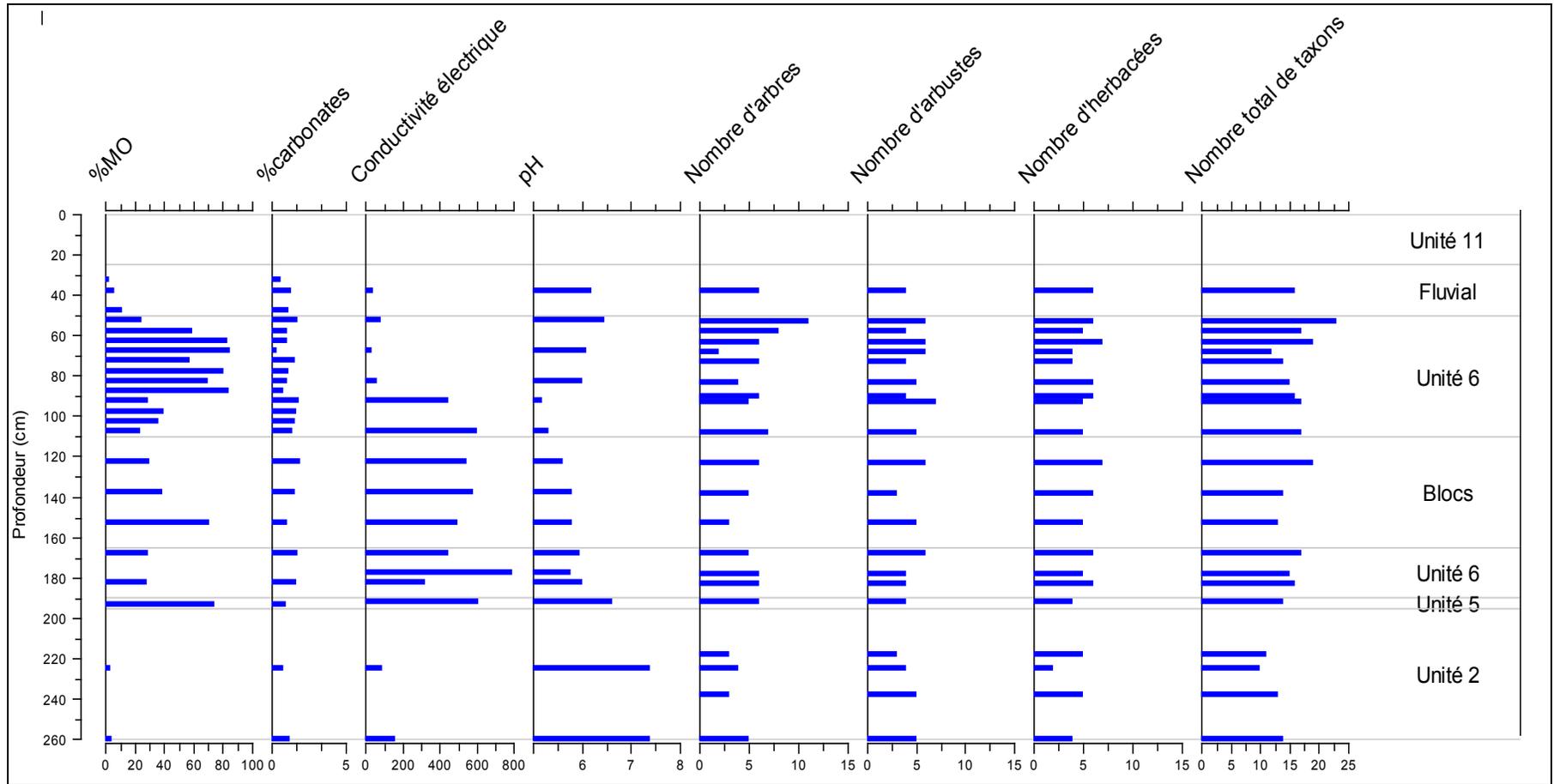
## Annexe V

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES (PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES ET PALYNODIVERSITÉ)  
DES NIVEAUX UTILISÉS POUR L'ANALYSE POLLINIQUE

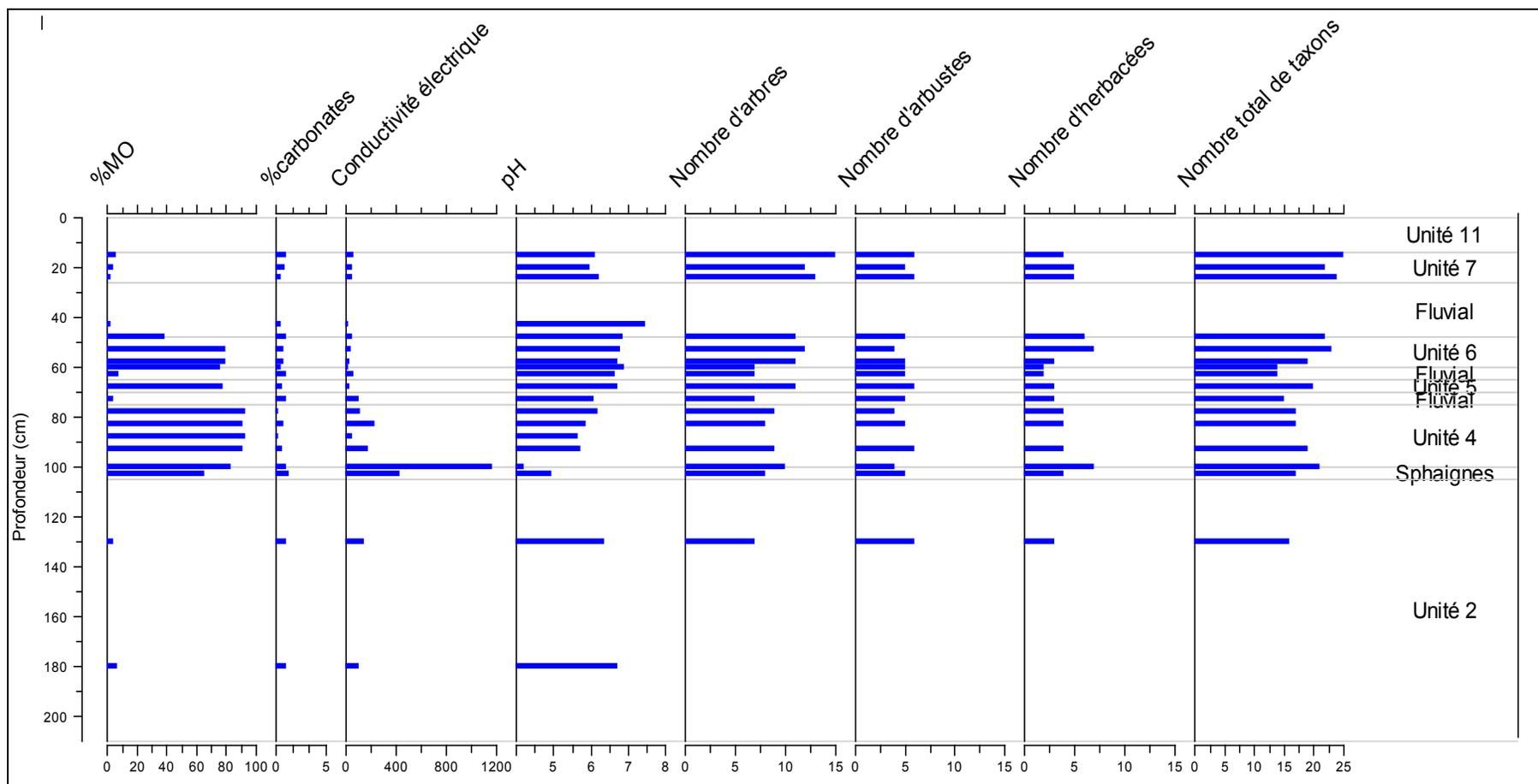
### Coupe 1



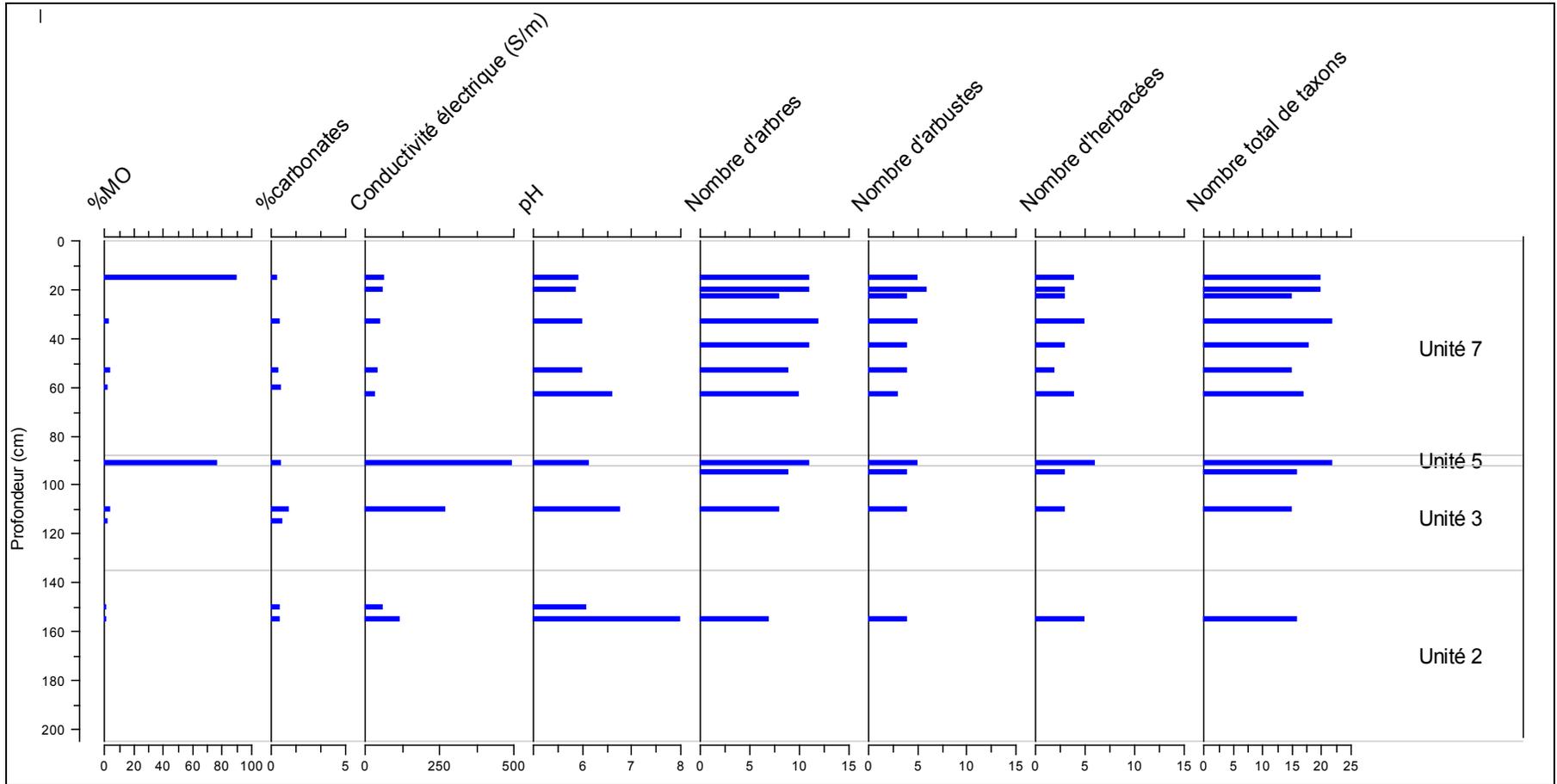
Coupe 2



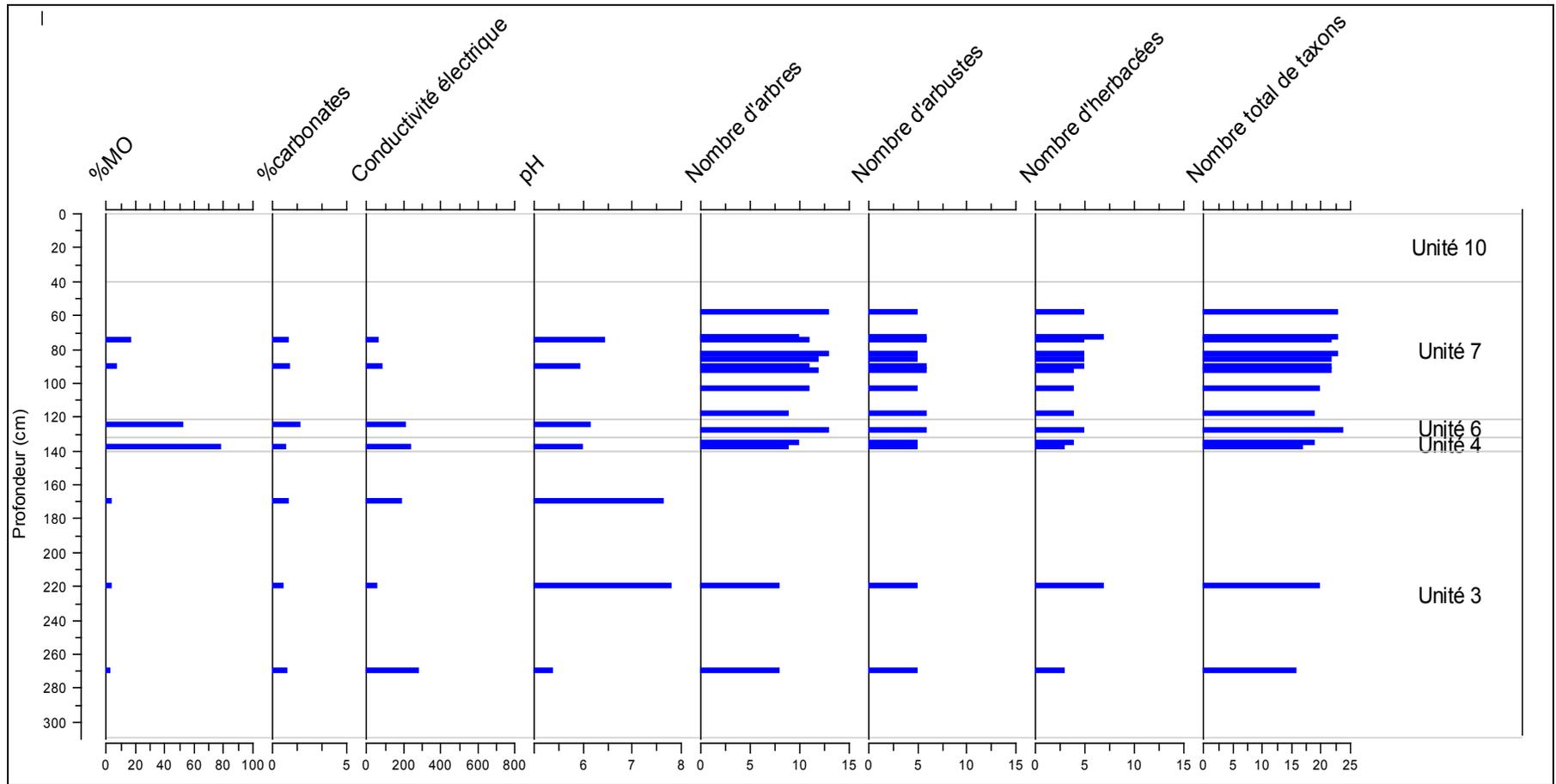
**Coupe 3**



Coupe 4

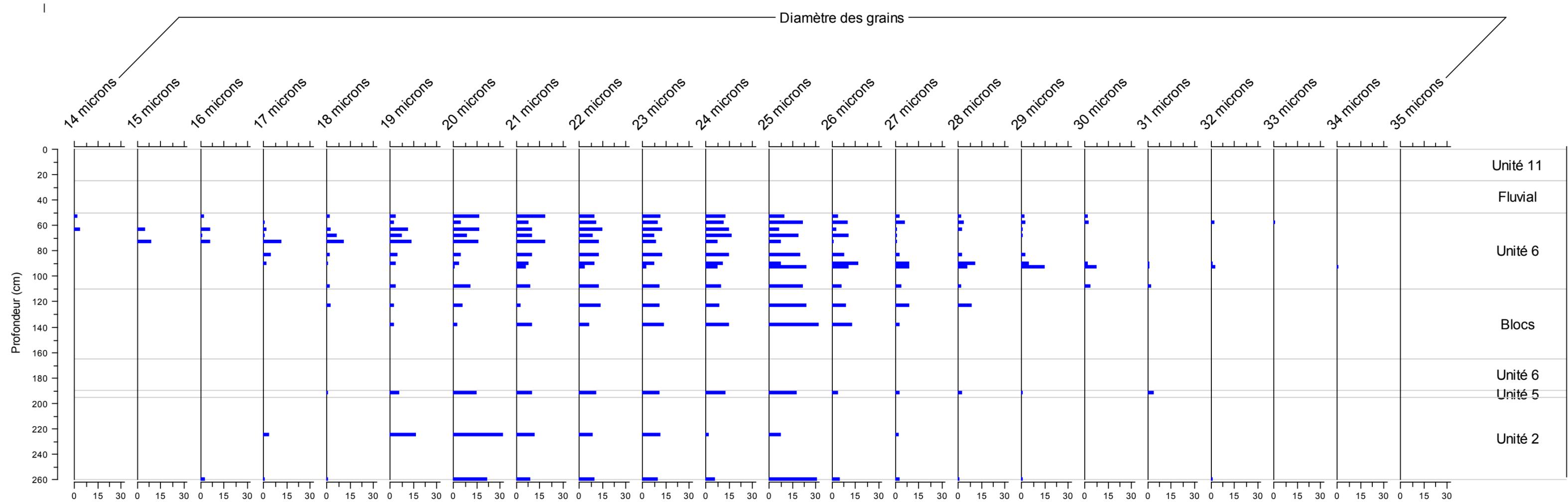


Coupe 5

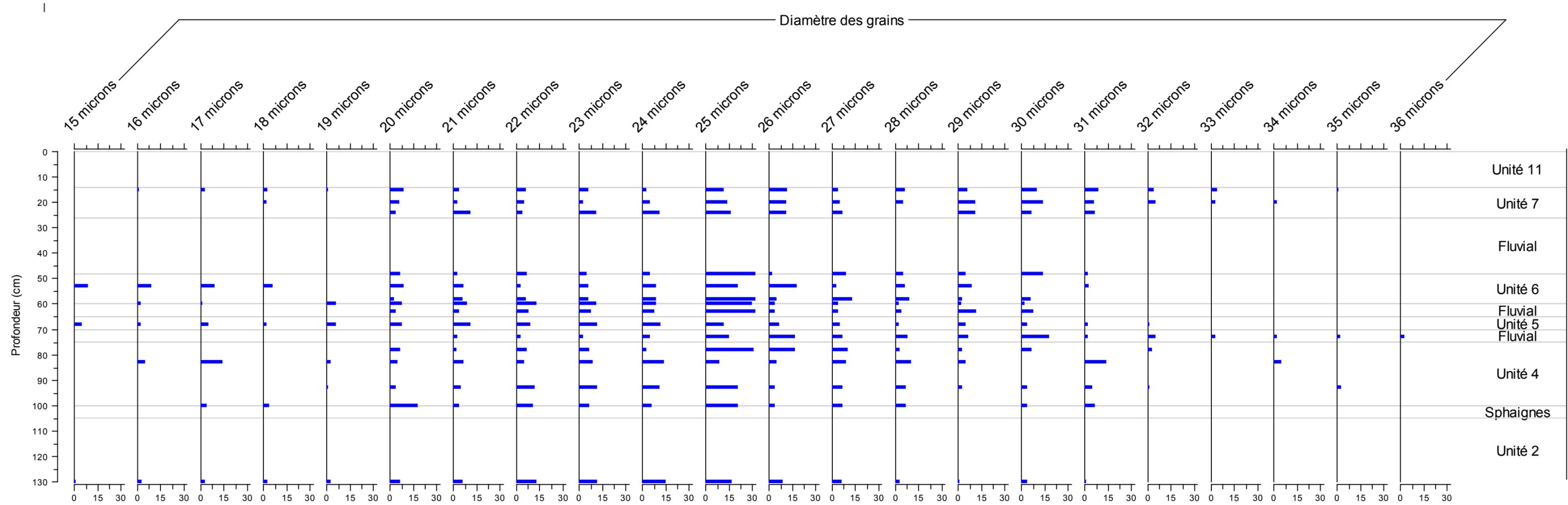


**Annexe VI : Diamètre des grains de bouleaux en fonction de la profondeur**

**Coupe 2 :**

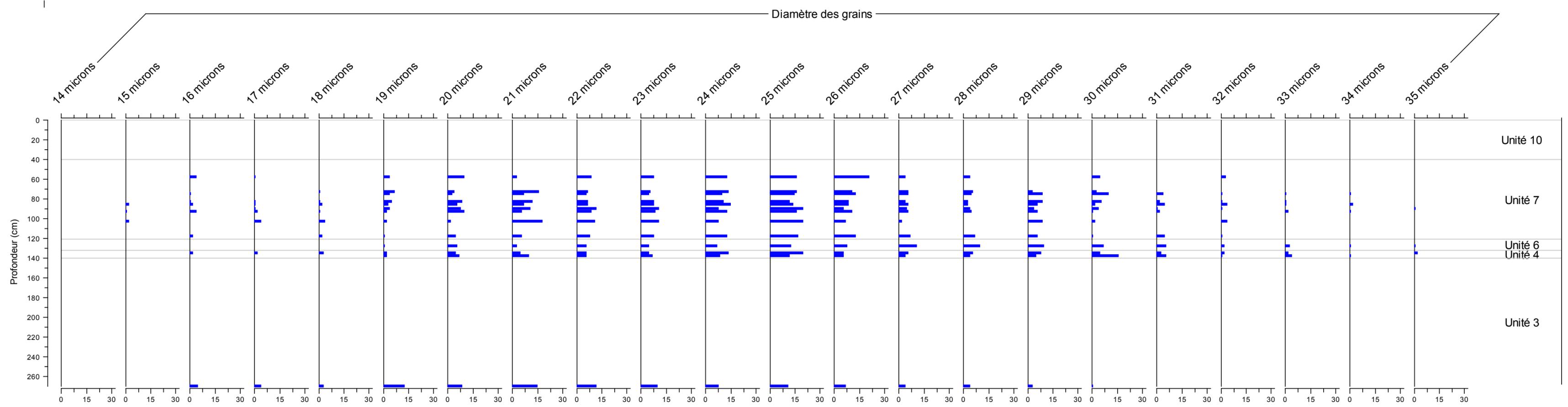


**Coupe 3 :**

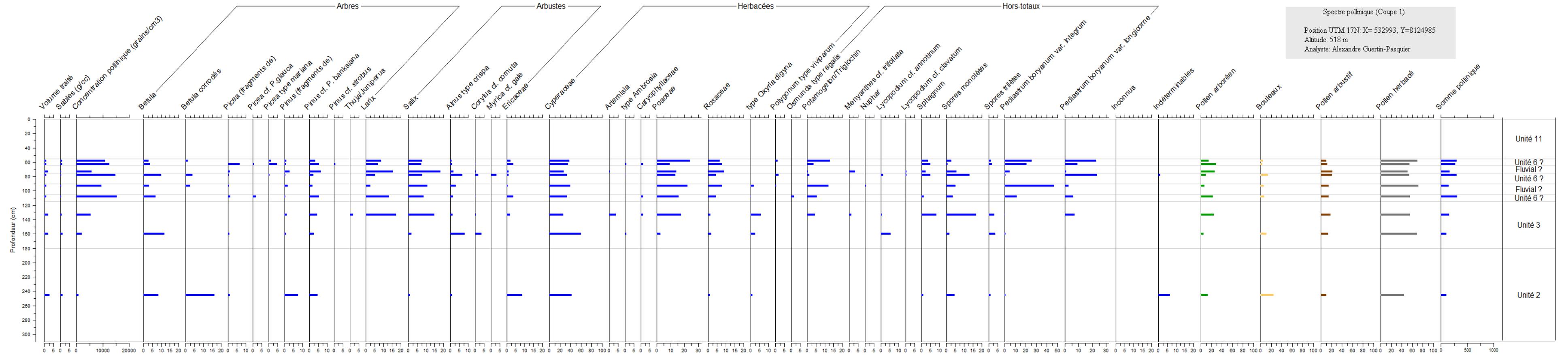


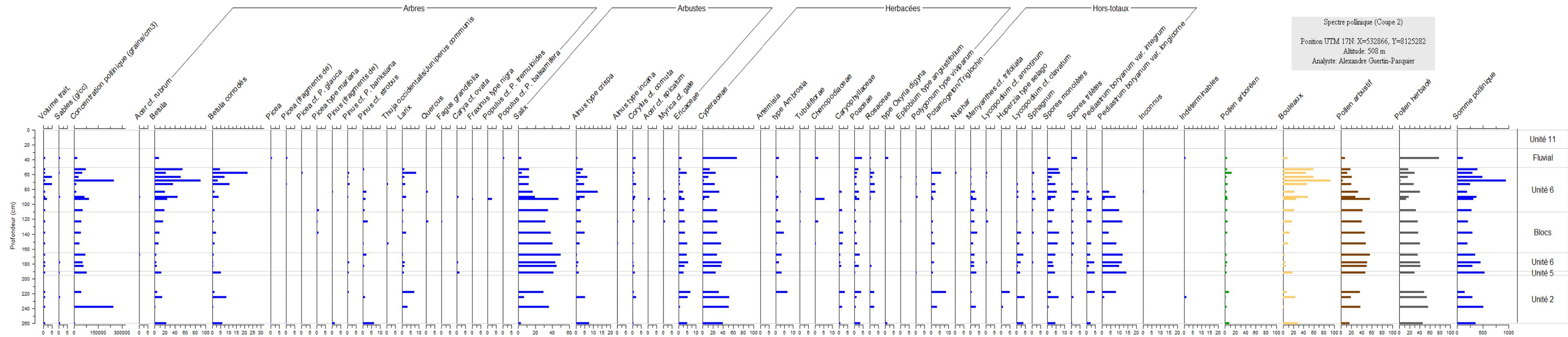


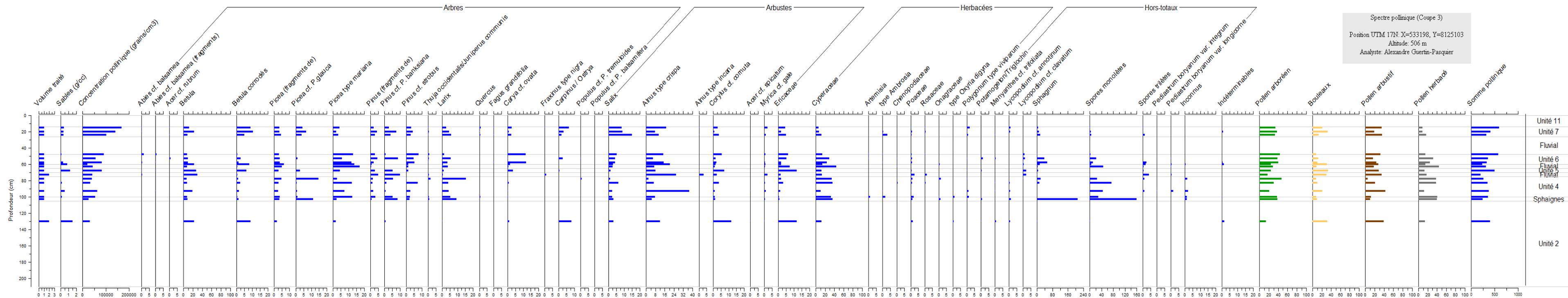
**Coupe 5 :**

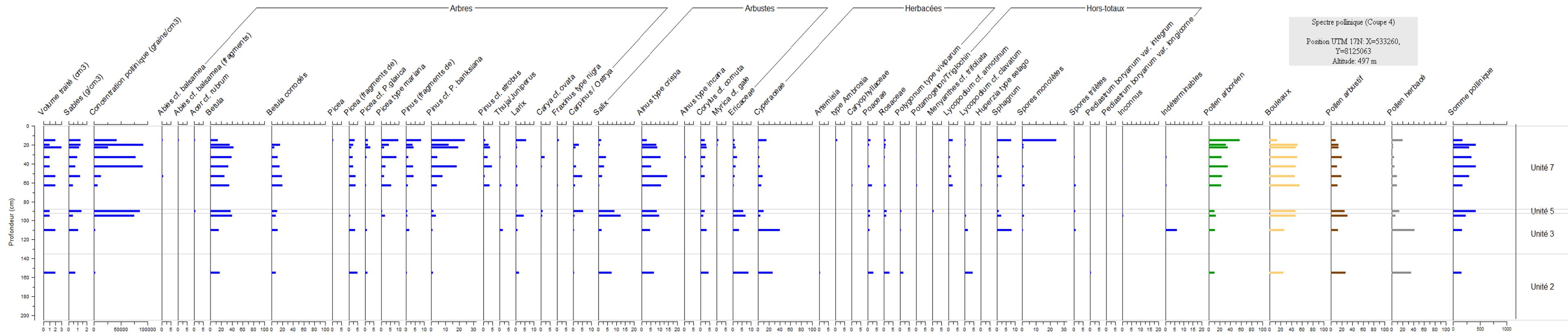


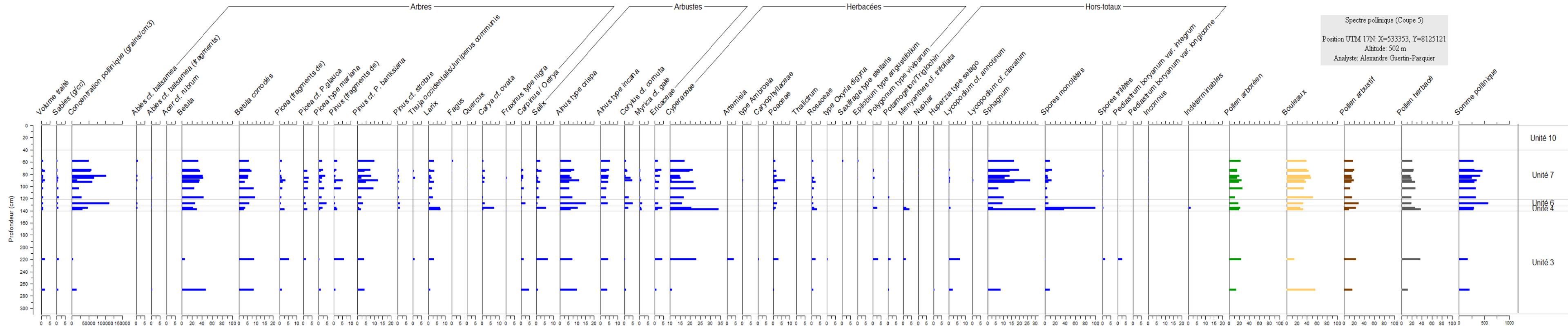
## Annexe VII : Spectres polliniques en fonction de la profondeur











Spectre pollinique (Coupe 5)  
 Position UTM 17N: X=533353, Y=8125121  
 Altitude: 502 m  
 Analyste: Alexandre Guertin-Pasquier

