

Université du Québec

Mémoire présenté à
L'Université du Québec à Chicoutimi
Comme exigence partielle
de la Maîtrise en Sciences de la Terre

par
RACHID MEKHNACHE

ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE DES DÉPÔTS GRAVELEUX DU
CORRIDOR MÉTABETCHOUAN - LAROUCHE

2005



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

Résumé

Lors du retrait du glacier à la fin de la dernière ère glaciaire qu'a connue la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, divers faciès se sont mis en place. Dans l'étude que nous avons menée dans le corridor Métabetchouan – Larouche, nous nous sommes particulièrement penché sur les divers processus sédimentaires qui sont intervenus dans la mise en place de ces dépôts.

La cartographie effectuée dans la gravière de Métabetchouan nous a permis de reconnaître 11 faciès sédimentaires que nous avons regroupés en 5 assemblages de faciès. Les assemblages SS, GSD et GB sont localisés au niveau du premier palier de la gravière qui se trouve être à une élévation approximative de 130 m. L'assemblage SS est constitué essentiellement de faciès sablonneux qui semble correspondre à des dépôts prodeltaïques. L'assemblage GB se trouve être en contact discordant avec SS et montre des faciès caractéristiques du milieu fluvial, cela suppose donc une remontée liée au retrait du glacier. L'assemblage GSS est localisé au second palier de la gravière à une élévation approximative de 145 m. Il est constitué d'une alternance de faciès sableux et graveleux. Le troisième palier est quant à lui formé par un empilement de feuillets GS. Ce dernier associe des faciès essentiellement graveleux qui montrent le long de la pente des variations importantes de faciès. L'enchaînement de ces faciès le long de la pente ainsi que leur nature sédimentologique nous ont permis d'identifier les différents mécanismes ayant opéré dans ce segment et donc permit de constater l'évolution et/ou la transformation de la coulée le long d'une pente très inclinée en milieu aqueux. L'architecture et la position de cette partie du delta du camp musical de Métabetchouan semblent indiquer une mise en place en marge du glacier resté immobile sur la rive sud du lac Saint-Jean (Étape 5 du retrait glaciaire).

Les dépôts reconnus à Larouche et Hébertville, se sont essentiellement mis en place durant la phase 4 du retrait glaciaire. La morphologie et l'étendue de la gravière d'Hébertville associés à des évidences de présence de glace à proximité, nous fait penser à des dépôts de terrasses de *kame*. Les divers faciès reconnus dans ces deux gravières ont été également inventoriés et regroupés en assemblage de faciès.

Remerciements

Il m'est très agréable de remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire. Je remercie en premier lieu M. Pierre Cousineau directeur de ce projet qui m'accueillit au sein du département et qui n'a pas ménagé ses efforts pour me faciliter la tâche et cela même durant sa sabbatique où il a patiemment corrigé ce que je lui ai fait parvenir. Un grand merci à M. Wulf Mueller co-directeur de ce projet pour ses conseils avisés, la large bibliographie qu'il a mis à ma disposition et pour le soutien financier qu'il m'a apporté. Je tiens à remercier également très vivement M. Alain Rouleau, membre de mon comité pour sa sympathie et le soutien financier qu'il m'a apporté. Un grand merci à M. Denis Roy pour ces avis éclairés et pour avoir bien voulu accepter de faire partie de mon comité.

Je ne saurais clore cette liste sans citer M. Denis Coté et M. Paul Bédard pour l'aide qu'ils m'ont apportée à chaque fois que je les ai sollicités.

« At last but not least », je tiens à remercier tous mes ami (es) pour leur soutien. Je ne citerai aucun nom car je m'en voudrais d'oublier l'un d'eux par inadvertance, toutefois je suis sûre que toutes ces personnes se reconnaîtront.

A vous tous Merci

Table des matières

Chapitre 1

Introduction

1.1. Problématique	p 1
1.2. État des connaissances des dépôts étudiés	p 5
1.3. Objectifs	p 6
1.4. Méthodologie	p 7

Chapitre 2

Géologie régionale

2.1. Contexte tectonique	p 14
2.2. Stratigraphie des dépôts meubles de la région	p 16

Chapitre 3

Analyse sédimentologique des dépôts de la gravière de Métabetchouan

3.1. Localisation	p 20
3.2. Description et interprétation des faciès	p 20
3.3. Description et interprétation des associations de faciès	p 39
3.4. Architecture du delta	p 53
3.5. Modèle de mise en place	p 57

Chapitre 4

Analyse sédimentologique des dépôts des gravières d'Hébertville et de Larouche

4.1. Gravière d'Hébertville	p 60
-----------------------------	------

4.1.1. Localisation	p 60
4.1.2. Site 1	p 60
4.1.2.1. Description et interprétation des faciès	p 62
4.1.2.2. Assemblage de faciès	p 67
4.1.3. Site 2	p 69
4.1.3.1. Description et interprétation des faciès	p 69
4.1.3.2. Assemblage de faciès	p 73
4.1.4. Mise en place de la gravière d'Hébertville : environnement sédimentaire des assemblages	p 76
4.2. Gravière de Larouche	p 77
4.2.1. Localisation	p 77
4.2.2. Description et interprétation des faciès	p 77
4.2.3. Assemblage de faciès	p 86
4.2.4. Mise en place de la gravière de Larouche: modèle sédimentaire fluviatile	p 89

Chapitre 5

Conclusion

5.1. Discussion des modèles des trois sites étudiés	p 91
5.2. Conclusion et recommandations	p 97
BIBLIOGRAPHIE	p 100
ANNEXE	p 106

Liste des figures

Figure.1 : Localisation et géologie générale des secteurs étudiés	p15
Figure.2 : Extension maximale du glacier Laurentidien il y a 18000 ans	p17
Figure.3 : Les différentes étapes du retrait glacier dans la région du Saguenay	p19
Figure.4 : Localisation et schéma de la gravière de Métabetchouan	p21
Figure.5 : Faciès Gm, Gg et Gi	p25
Figure.6 : Faciès Gd	p28
Figure.7 : Faciès à fabrique ouverte Go	p30
Figure.8 : Faciès SGM	p32
Figure.9 : a) faciès Sm, b) caillou surdimensionné, c) caillou d'argile, d) structures en flammes	p34
Figure.10 : Faciès Sh	p37
Figure.11 : Vue d'ensemble des dépôts de pente	p43
Figure.12 : Schéma illustrant la répartition des faciès sur la pente	p44
Figure.13 : Modèle pour expliquer les variations de faciès le long de la pente	p47
Figure.14 : Assemblage SS et GSS	p49
Figure.15 : Assemblage GB	p51
Figure.16 : Discordance séparant GB de SS	p52
Figure.17 : Architecture du delta	p55
Figure.18 : Delta supra-glaciaire (Kjaer et al, 2004)	p59
Figure.19 : Localisations des sites étudiés de la gravière d'Hébertville	p61
Figure.20 : Faciès Gp	p65
Figure.21 : Faciès Gm	p65
Figure.22 : Faciès Gc	p65
Figure.23 : Assemblage GB	p68
Figure.24 : Faciès St	p77

Figure.25 : Faciès Gm entre deux faciès St	p72
Figure.26 : Localisation de la gravière de Larouche	p78
Figure.27 : Faciès Gm	p84
Figure.28 : Faciès Gp	p84
Figure.29 : Faciès Sr	p84
Figure.30 : Panorama de la gravière de Larouche	p87
Figure.31 : Corrélation des faciès à Larouche	p88

Liste des tableaux

Tableau 1 : Lithofaciès et code de faciès des dépôts fluviaux (Miall, 1978)	p9
Tableau 2 : Classification granulométrique des sédiments non consolidés (Wentworth, 1922 dans Folk, 1980)	p10
Tableau 3 : Organisation des faciès fluviaux en éléments architecturaux	p11
Tableau 4 : Classification verbale correspondant aux valeurs de σ	p13
Tableau 5 : Classification verbale correspondant aux valeurs de S_k	p13
Tableau 6 : Classification verbale correspondant aux valeurs de K_G	p13
Tableau 7 : Descriptions et interprétations des faciès reconnus à Métabetchouan	p22
Tableau 8 : Assemblages de faciès reconnus à Métabetchouan	p40
Tableau 9 : Faciès du site 1 de la gravière d'Hébertville	p64
Tableau 10 : Résultats des analyses granulométriques des sites 1 et 2 d'Hébertville	p74
Tableau 11 : Faciès répertoriés à Larouche et leurs interprétations	p79
Tableau 12 : Récapitulatif des valeurs des différents paramètres statistiques calculés pour la gravière de Larouche	p85
Tableau 13 : Comparaison entre les trois sites étudiés	p96

Liste des annexes

Annexe 1 : Courbes granulométriques de la gravière de Métabetchouan	p106
Annexe 2 : Courbes granulométriques de la gravière d'Hébertville	p110
Annexe 3 : Courbes granulométriques de la gravière de Larouche	p114

Chapitre 1

Introduction

1.1. Problématique

On assiste ces dernières années à un regain d'intérêt pour les dépôts d'origine glaciaire et cela de par les multiples intérêts économiques associés à ce type d'accumulation (Eyles et Eyles, 1992). Ils sont connus comme étant des aquifères potentiels grâce à leur bonne conductivité hydraulique et leur porosité (Klingbeil et al, 1999). A cela, s'ajoute leur potentiel mis en évidence ces dernières années comme réservoir à hydrocarbures (e.g. bassin Paléozoïque en Australie et Bolivie). Dans la région du Saguenay- Lac-Saint-Jean, la majorité des eaux exploitées (80%) est extraite des dépôts granulaires quaternaires.

Les modèles de dépôts associés aux environnements glaciaires sont très variés et complexes. La diversité des processus impliqués dans la mise en place de ce type d'accumulation en est la raison. Les apports sédimentaires, les rebonds isostasiques dus au recul de la glace, ainsi que la position du front de glace par rapport au niveau eustatique influent d'une manière conséquente sur la nature et la répartition des dépôts. De larges variations latérales de faciès y sont généralement reconnues. L'interaction de ces divers facteurs accroît la difficulté d'établir un seul modèle conceptuel pour ces dépôts d'origine glaciaire. Une bonne compréhension de l'architecture interne de ces dépôts passe donc nécessairement par une large documentation des faciès sédimentaires associés aux différents environnements glaciaires et l'établissement de modèles pour chacun d'eux; d'autant plus que leur caractère grossier ne permet pas comme dans le cas des sédiments sableux des simulations en canal vitré.

Lors du recul d'un glacier, on assiste à la mise en place de différents faciès sédimentaires. Fondamentalement, le glacier joue le rôle d'un agent de transport qui libère généralement des volumes importants de sédiments sur des plaines d'épandage glaciaire ou dans des bassins marins ou lacustres. Les matériaux initialement d'origine glaciaire sont alors remaniés par des processus sédimentaires non glaciaires. On distingue principalement deux types de dépôts : les dépôts glacio-marins et les dépôts glaciaires terrestres (Eyles et Eyles, 1992). Dans chacun de ces deux milieux, on retrouve des faciès distincts qui sont la conséquence de phénomènes sédimentologiques et glaciologiques. La présence de till est souvent un élément important dans l'identification des dépôts d'origine glaciaire.

Néanmoins, dans les milieux qui ne sont pas en contact direct avec le glacier ou qui ont subi une érosion subséquente (fluviale ou par remaniement des vagues lors de transgressions), les dépôts de till peuvent être absents. L'analyse des faciès sédimentaires dans leur contexte géologique prend alors toute son importance dans la détermination des environnements sédimentaires et des modèles de dépôts.

Dans le but de faire ressortir les particularités de ces dépôts d'origine glaciaire, trois gravières situées dans le corridor Métabetchouan - Larouche ont été étudiées. Ces dépôts sont connus comme ayant été mis en place suite au recul de la langue de glace durant la fin de la dernière glaciation il y a environ 10 500 ans (LaSalle et Tremblay, 1978). La langue de glace dans le graben du Saguenay était reliée à la glace résiduelle par le nord et l'ouest. Une plaine d'épandage fluvioglaciaire (plaine d'Hébertville) et des deltas se sont mis en place entre Saint-Jérôme et l'ouest du lac Kénogami, alors que le front du glacier se trouvait approximativement sur la rive sud actuelle du lac Saint-Jean (étape 5). Des fragments isolés de glace, restés enfouis dans les dépôts de cette plaine, ont également affecté la sédimentation dans ces secteurs. Les dépôts situés à Larouche qui font partie de la bande de sable de Kénogami en bordure sud du lac représentent la partie terminale d'une plaine d'épandage glaciaire. La mise en place de ces dépôts se serait amorcée lors de l'étape 4 (Lasalle et Tremblay, 1978) du retrait de la langue de glace.

La gravière de Métabetchouan, qui est le site sur lequel nous nous sommes le plus penché, montre des dépôts mis en place sur une forte pente en milieu deltaïque, alors que

les gravières d'Hébertville et de Larouche montrent des dépôts mis en place sur une surface plane en milieu subaérien. Ces dernières montrent cependant des faciès et une architecture différente, liés aux différentes phases de déglaciation de ces secteurs et à l'influence de gros glaçons parsemés dans la plaine. Le contexte géologique régional particulier de la gravière de Métabetchouan permet de reconnaître des faciès mis en place dans un contexte où la composante fluviale est dominante. Cette influence est probablement en relation avec l'éroitesse du golfe de Laflamme qui n'a pas permis le développement de marées ou de tourmentes importantes.

Les dépôts de plaine d'épandage glaciaire comme les dépôts deltaïques subaqueux montrent une grande diversité dans les faciès mis en place. Ils sont le résultat de l'interaction de trois composantes importantes à savoir : le taux des apports sédimentaires, la dynamique de l'écoulement et le régime d'écoulement (Maizels, 1993).

Dans la première partie de ce mémoire, un modèle pour la mise en place des dépôts de la gravière de Métabetchouan est proposé sur la base de l'analyse de faciès sédimentaires. Une attention particulière est portée aux variations latérales de faciès le long de la pente.

La seconde partie de ce mémoire traite des résultats de quelques travaux effectués sur les plaines d'épandage glaciaire situées à Larouche et Hébertville. La cartographie effectuée dans ces gravières n'est pas du même niveau de détail que celle réalisée à

Métabetchouan. Les raisons à cela sont de deux ordres. Le premier est relatif aux objectifs de ce mémoire qui étaient de porter une attention particulière au delta de Métabetchouan. Le second est lié à l'absence de murs frais durant les travaux de terrain. Un modèle de dépôts est également proposé pour ces deux sites.

1.2. État des connaissances des dépôts étudiés

La gravière de Métabetchouan est interprétée dans la littérature comme étant un delta proglaciaire mis en place durant l'étape 5 (10 500 ans) du retrait de la calotte glaciaire qui recouvrait la région (Lasalle et Tremblay, 1978). Ce delta à sédiments grossiers se serait installé en marge du front glaciaire occupant encore la cuvette actuelle du lac Saint-Jean et alors en contact avec une petite mer intérieure peu profonde, le Golfe de Laflamme (LaSalle et Tremblay, 1978), alors réduite à l'étendue de la plaine d'Hébertville dans le bassin du lac Saint-Jean ce qui expliquerait l'absence de structures indiquant une influence marine.

Il existe une grande variété de deltas (McPherson et al, 1987, Sohn et al, 1997). Dans le choix du site d'étude, on a l'opportunité de documenter une architecture particulière et très peu abordée dans la littérature. En effet, les deltas à sédiments grossiers et les deltas proglaciaires restent encore très peu étudiés. Divers auteurs, notamment Martini, (1990) et McCallum et Robertson, (1995) ont souligné l'impossibilité d'appliquer un seul modèle de faciès pour tous les deltas à sédiments grossiers. Ces derniers montrent dans leur partie

subaquatique une grande diversité de faciès liée à la variété des processus opérant dans ce segment (Nemec et Steel, 1984; Postma, 1984; Prior et al, 1984). Des faciès associés à des écoulements de masse, à des glissements et des courants de turbidités sont très communs dans cet environnement (Postma, 1984; Nemec, 1990; Plink-Bjorklund et Ronnert, 1999).

La détermination du type de delta est souvent basée sur le type de plaine deltaïque (McPherson et al, 1987). Or, cette partie n'est pas préservée à Métabetchouan. En effet, le contexte géologique local ne permet pas d'imaginer la persistance d'une plaine deltaïque au nord de la colline graveleuse de Métabetchouan car cette dernière se trouve à une élévation approximative de 165 m, soit au dessus de toute plate-forme environnante, sauf à placer cette plaine sur la marge glaciaire elle-même comme le supposait Lasalle et Tremblay, (1978).

Les gravières d'Hébertville et de Larouche n'ont fait également l'objet d'aucune étude sédimentologique approfondie. Seuls des résultats sommaires sont exposés dans un rapport (Lasalle et Tremblay, 1978) englobant les dépôts quaternaires de toute la région. Ces dépôts s'apparenteraient à des dépôts de plaines d'épandage glaciaire mis en place dans chacune des deux gravières à deux étapes différentes du recul de la langue de glace.

1.3. Objectifs

Pour chacun des sites étudiés (Métabetchouan, Hébertville et Larouche), il s'agira de :

- identifier les différents faciès et associations de faciès;

- déterminer les processus impliqués dans la formation des dépôts et notamment ceux de pente du delta de Métabetchouan;
- établir un modèle de dépôts pour le delta de Métabetchouan et ceux des plaines d'épandage de Larouche et Hébertville;
- comparer les assemblages et modèles de faciès deltaïques de Métabetchouan et ceux des plaines d'épandage glaciaire de Larouche et Hébertville;
- situer les modèles proposés dans le contexte de la déglaciation régionale du Saguenay et du lac Saint-jean.

1.4. Méthodologie

Cette étude s'appuie sur une description des faciès sur les murs de gravière. La classification de Miall (1978) pour l'identification des faciès alluviaux (Tableau 1) a été utilisée. La classification de Wentworth, 1922 (dans Folk, 1980) pour les sédiments non consolidés a été utilisée pour établir les classes granulométriques (Tableau 2). Le regroupement en assemblage de faciès s'est parfois appuyé sur les travaux de Miall (1985) dont le tableau 3 résume les différents assemblages ainsi que les faciès qui leur sont associés.

Le terme faciès est défini comme étant un corps sédimentaire montrant une lithologie et des structures sédimentaires différentes de celles du faciès se trouvant au-dessus, au-dessous ou adjacent. Un assemblage de faciès regroupe des faciès qui sont génétiquement

liés l'un à l'autre, et qui ont une signification environnementale particulière (Walker, 1992).

Un échantillonnage des faciès prédominants à des fins d'analyse granulométrique a été effectué. L'analyse granulométrique des échantillons consiste à réaliser un tamisage mécanique des échantillons. Les pourcentages cumulés des différentes fractions granulométriques en fonction du diamètre en unité phi (ϕ)¹ des tamis servent à établir les courbes granulométriques. Ces dernières vont servir au calcul des paramètres statistiques suivants :

$$\text{Moyenne graphique : } Mz = \frac{\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84}{3}$$

$$\text{Écart type inclusif : } \sigma_1 = \frac{\Phi 84 - \Phi 16}{4} + \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{6.6}$$

Coefficient d'asymétrie graphique inclusif :

$$Sk_1 = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2\Phi 50}{2(\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\Phi 5 + \Phi 95 - 2\Phi 50}{2(\Phi 95 - \Phi 5)}$$

¹ $\phi = -\log_2$ (diamètre en mm)

Codification	Lithofaciès	Structures sédimentaires	Interprétation
Gms	massif, non jointif	aucune - massive	écoulement de débris
Gm	massif jointif, stratifications diffuses	litage planaire, imbrication des fragments	barre longitudinale, résidu de fond
Gt	graviers, stratifiés	stratifications entrecroisées en auges	dépôts tamisés
Gp	graviers, stratifiés	stratifications entrecroisées planaires	remplissage de petits chenaux
St	sables, moyens à très grossiers	stratifications entrecroisées en auges	barres longitudinales ou accroissement de barre deltaïque
Sp	sables moyens à très grossiers	stratifications entrecroisées planaires	dune (régime inférieur)
Sr	sables, très fins à grossiers	rides de toutes sortes	barre transversale et lingoïde (régime d'écoulement inférieur)
Sh	sables, très fins à très grossiers	laminations horizontales	rides (régime d'écoulement inférieur)
Sl	sables, très fins à très grossiers	angle faible 10°	régime d'écoulement supérieur
Se	crevasse d'érosion avec intraclastes	stratifications entrecroisées	remplissage de crevasse, antidunes
Ss	sables, fins à très grossiers	surface d'érosion	remplissage de crevasse
Fl	sables, silts, boues	laminations fines, petites rides	berges, plaines d'inondations
Fsc	silts, boues	massif à laminé	dépôts de marais
Fcf	boues	massif à mollusques marins	dépôts de marais et d'étang
Fm	boues, silts	massif, structures de dessiccation	plaines d'inondations
C	charbon, boue carbonneuse	films argileux, végétaux	dépôts d'étang
P	carbonate	structures pédogénétiques	paléosols

Tableau 1: Lithofaciès et code de faciès des dépôts fluviaux (Miall, 1978)

Classe granulométrique		mm	φ
Fine	argile	1/256 et moins	8 et plus
	silt	1/16 à 1/256	4 à 8
Sable	sable très fin	0.062 à 0.125	4 à 3
	sable fin	0.125 à 0.250	3 à 2
	sable moyen	0.250 à 0.500	2 à 1
	sable grossier	0.500 à 1	1 à 0
	sable très grossier	1 à 2	0 à -1
Gravier	granule	2 à 4	-1 à -2
	caillou	4 à 64	-2 à -6
	galet	64 à 256	-6 à -8
	bloc	256 et plus	-8 et plus

Tableau 2: Classification granulométrique des sédiments non consolidés (Wentworth dans Folk, 1980)

Macroforme	Symbole	Principaux faciès associés	Géométrie
Chenal	CH	toute combinaison	lentille, feuille et doigt; base érosive concave.
Barre graveleuse	GB	Gm, Gp, Gt	lentille, stratiforme; corps tabulaire souvent interstratifié avec SB
Lit sableux	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	lentille, feuille, stratiforme, sous forme de remplissage de chenaux, de crevasse et de petites barres
Macroforme d'accrétion aval	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	lentille sur surface plane ou chenalisée
Macroforme d'accrétion latérale	LA	St, Sp, Sh, Sl, Ss, moins fréquemment Gm, Gt, Gp	arrête, feuille, lobe; caractérisé par une accrétion latérale interne
Sédiments d'écoulement gravitaire	SG	Gm, Gms	lobe, feuille interstratifiée avec GB
Feuille de sable laminé	LS	Sh, Sl; faciès mineur Sp, Sr	feuille, stratiforme
Particules fines d'inondation	OF	Fm, Fl	couche fine à épaisse, communément interstratifiée avec SB, remplissage de chenaux abandonnés

Tableau 3: Organisation des faciès fluviaux en éléments architecturaux (Miall, 1985)

Coefficient d'angulosité graphique :

$$K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

La description des valeurs des différents paramètres statistiques est faite selon les classifications verbales de Folk et Ward (dans Folk, 1980) (Tableau 4, 5 et 6)

Valeurs de σ	Classification
<0.25	Très bien trié
0.35 à 0.50	Bien trié
0.50 à 0.71	Modérément bien trié
0.71 à 1.00	Modérément trié
1.00 à 2.00	mal trié
2.00 à 4.00	Très mal trié
>4.00	Extrêmement mal trié

Tableau 4: Classification verbale correspondant aux valeurs de σ

Valeurs de S_k	Classification
+1.0 à +0.3	Asymétrie positive très prononcée
+0.3 à +0.1	Asymétrie positive prononcée
+0.1 à -0.1	Proche de la symétrie
-0.1 à -0.3	Asymétrie négative prononcée
-0.3 à -1.0	Asymétrie négative très prononcée

Tableau 5: Classification verbale correspondant aux valeurs de S_k

Valeurs de K_G	Classification
< 0.67	Très aplatie
0.67 à 0.90	Aplatie
0.90 à 1.11	Moyennement aplatie
1.11 à 1.50	Peu aplatie
1.50 à 3.00	Très peu aplatie
> 3.00	Extrêmement peu aplatie

Tableau 6: Classification verbale correspondant aux valeurs de K_G

Chapitre 2

Géologie régionale

2.1. Contexte tectonique

Le socle rocheux régional est formé des roches plutoniques et métamorphiques de la province géologique du Grenville formée entre 1,160 et 970 millions d'années. Il est représenté par les anorthosites, charnockites, mangérites et par les dykes d'amphibolites (Lasalle et Tremblay, 1978). Ce socle est surmonté, sur le bord de la rive sud du lac Saint-Jean et dans le secteur de Saint-Honoré (fig.1), par les formations calcaires d'âge Ordovicien dont les épaisseurs maximales sont de l'ordre de 50 m.

Les gravières étudiées sont situées au sein du graben du Saguenay (fig.1). Celui-ci représente un fossé d'effondrement tectonique dont la formation s'est achevée il y a 180 millions d'années. Le graben est délimité par des failles qui se prolongent selon un axe est-ouest (Lasalle et Tremblay, 1978).

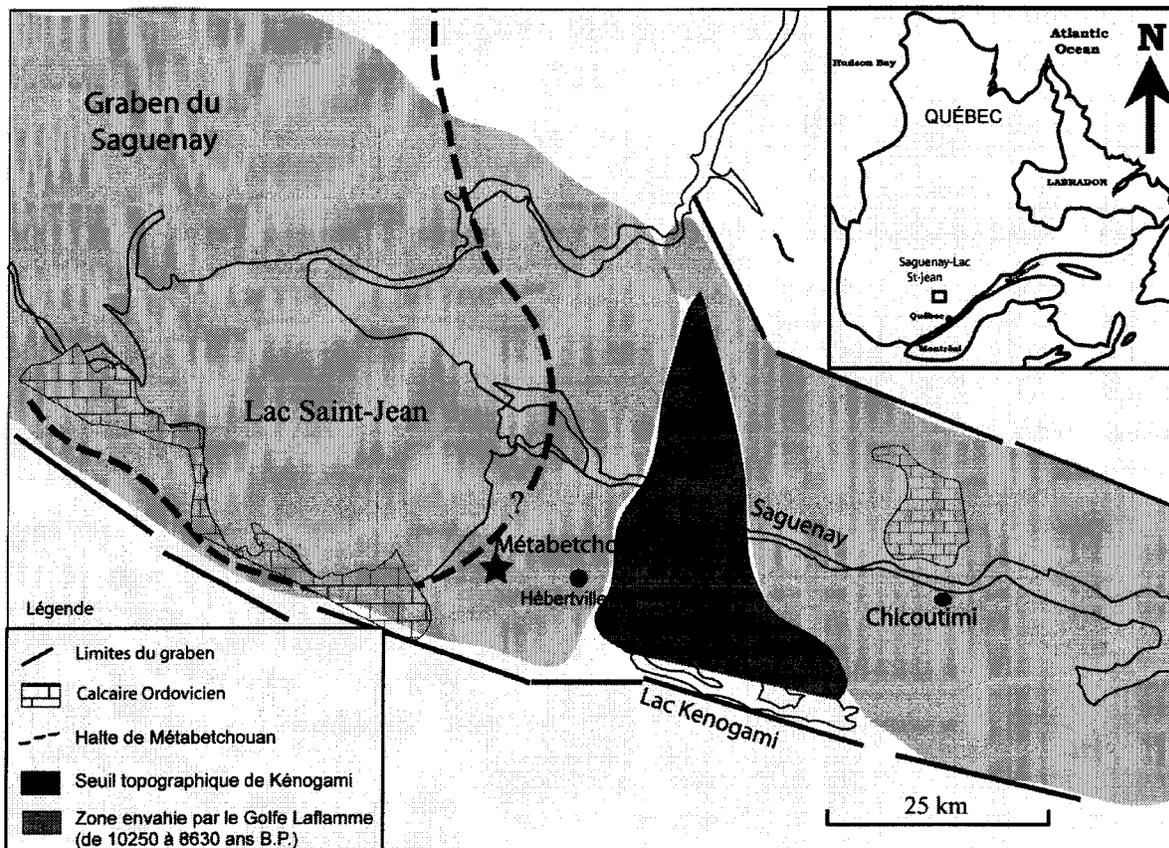


Figure 1: Géologie générale de la région

La partie est du graben est occupée aujourd'hui en son centre par le fjord du Saguenay, alors qu'à l'ouest il s'agit d'une large plaine divisée par le seuil topographique de Kénogami. Cette surélévation est découpée par les dépressions étroites du lac Kénogami et de la rivière Saguenay. Cette topographie particulière a joué un rôle important dans l'histoire de la déglaciation de la région (Lasalle et Tremblay, 1978), notamment dans l'évacuation des eaux de fonte glaciaire.

2.2. Stratigraphie des dépôts meubles de la région

La variété des dépôts meubles est étroitement liée à l'histoire de la déglaciation de la région. Il y a environ 18 000 ans, le glacier Laurentidien recouvrait toute la partie Nord du continent. Ce glacier a commencé à se former il y a environ 100 000 ans (Occhietti, 1987) pour ensuite s'élargir, s'épaissir et atteindre son extension maximale à New York et Chicago (fig.2). Les stries glaciaires retrouvées dans la région confirment cette expansion du glacier vers le sud sud-est. Les 3 km de glace qui recouvraient le continent ont eu pour conséquence un affaissement de la croûte de plusieurs centaines de mètres.

La déglaciation, suivie du recul de la langue de glace résiduelle il y a environ 10 500 ans, permis d'abord le dépôt de sédiments fluvio-glaciaires le long de certains corridors. Des kettles, liés à la présence de glaçons isolés, sont identifiés dans différents endroits de la région notamment à Lac-à-la-Croix et dans la plaine d'Hébertville. Des deltas proglaciaires situés dans la région de Métabetchouan se seraient mis en place en relation

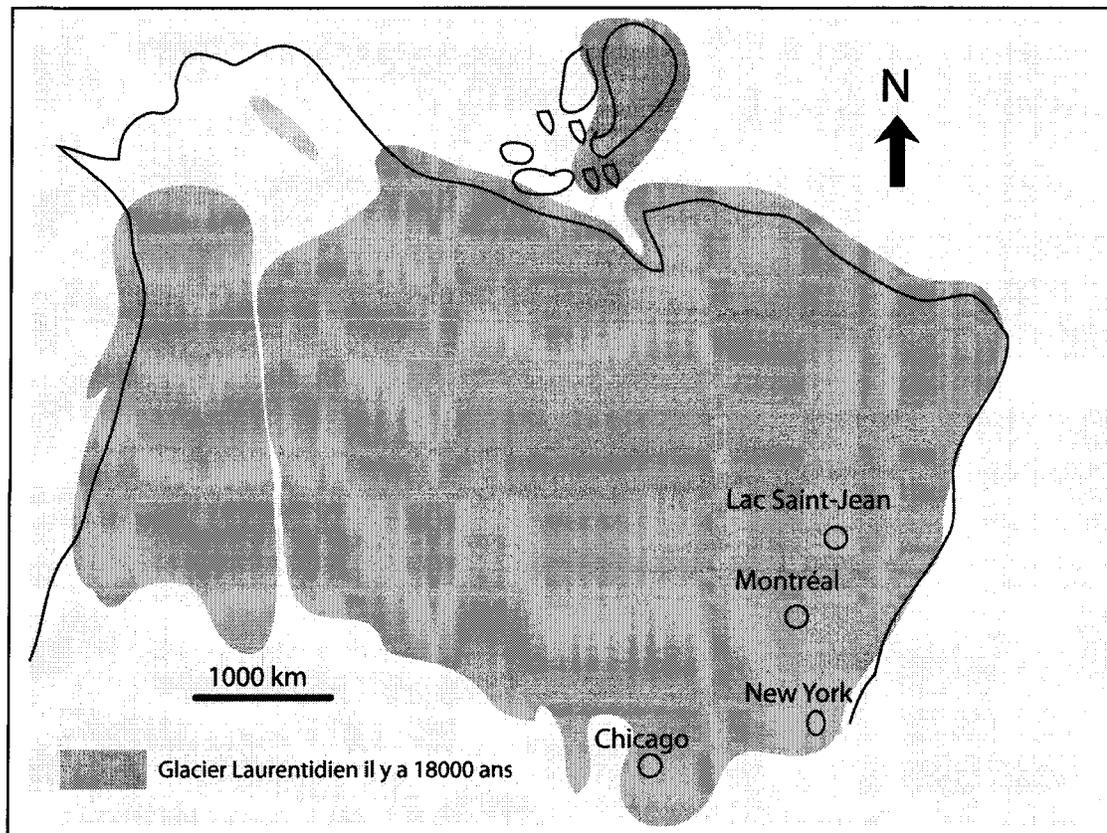


Figure 2: Extension maximale du glacier Laurentidien il y a 18 000 ans (modifié de Occhietti, 1987)

avec la langue de glace restée dans une dépression maintenant occupée par le lac Saint-Jean (Étape 5, fig. 3) et de l'envahissement progressif des basses terres du Saguenay par la mer Laflamme. Dans la partie sud-ouest du lac Saint-Jean, on assiste au développement de dépôts de contact de glace et de moraines. L'absence de continuité des lambeaux de moraine terminale n'a pas permis de dresser une carte détaillée des fronts de recul de la glace (fig. 3). Les étapes 4 et 5 identifiées par Lasalle et Tremblay (1978; fig.3) sont les principales phases de retrait de la glace qui ont contrôlé les dépôts mis en place dans le corridor Métabetchouan-Larouche. Une remontée glacio-eustatique du niveau de la mer associée à la transgression marine de la mer Laflamme engendra le dépôt des sables et d'argiles marines. En revanche, le retrait progressif de la mer par une remontée isostatique du socle affaissé a permis l'installation de terrasses de plages. Les limites des diverses positions de la mer dans la région sont reconnues par les cordons de sables et graviers pro glaciaires et fluvio-glaciaires (Lasalle et Tremblay, 1978).

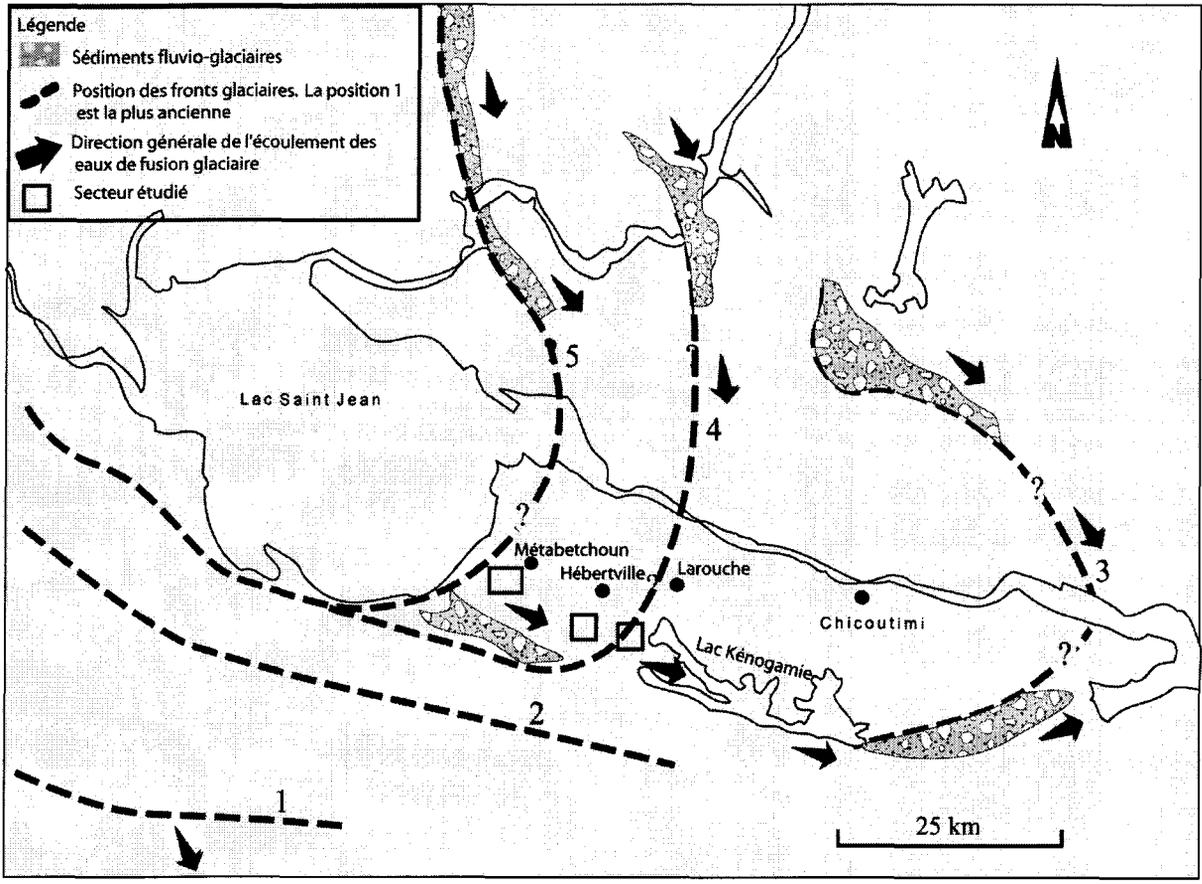


Figure 3: Les différentes épisodes du retrait glaciaire dans la région du Saguenay (modifié de Lasalle et Tremblay (1978))

Chapitre 3

Analyse sédimentologique des dépôts de la gravière de Métabetchouan

3.1. Localisation

La gravière de Métabetchouan de dimension d'environ 100 x 200 m est située à proximité de la route 169 à l'intersection de celle-ci avec la route 170 (fig. 4). On y retrouve trois paliers dont deux seulement sont en exploitation. Le palier le plus bas est essentiellement exploité pour le sable alors que le palier supérieur est exploité pour les graviers. Ils sont respectivement situés aux élévations 130 et 165 m.

3.2. Description et interprétation des faciès

Sur la base de la granulométrie, des structures et textures, onze faciès (Tableau 7) ont été identifiés durant les travaux de terrain sur les trois paliers de la gravière de Métabetchouan. Ces faciès ont été regroupés en assemblages de faciès en modifiant les éléments architecturaux définis par Miall (1985) pour le milieu fluvial.

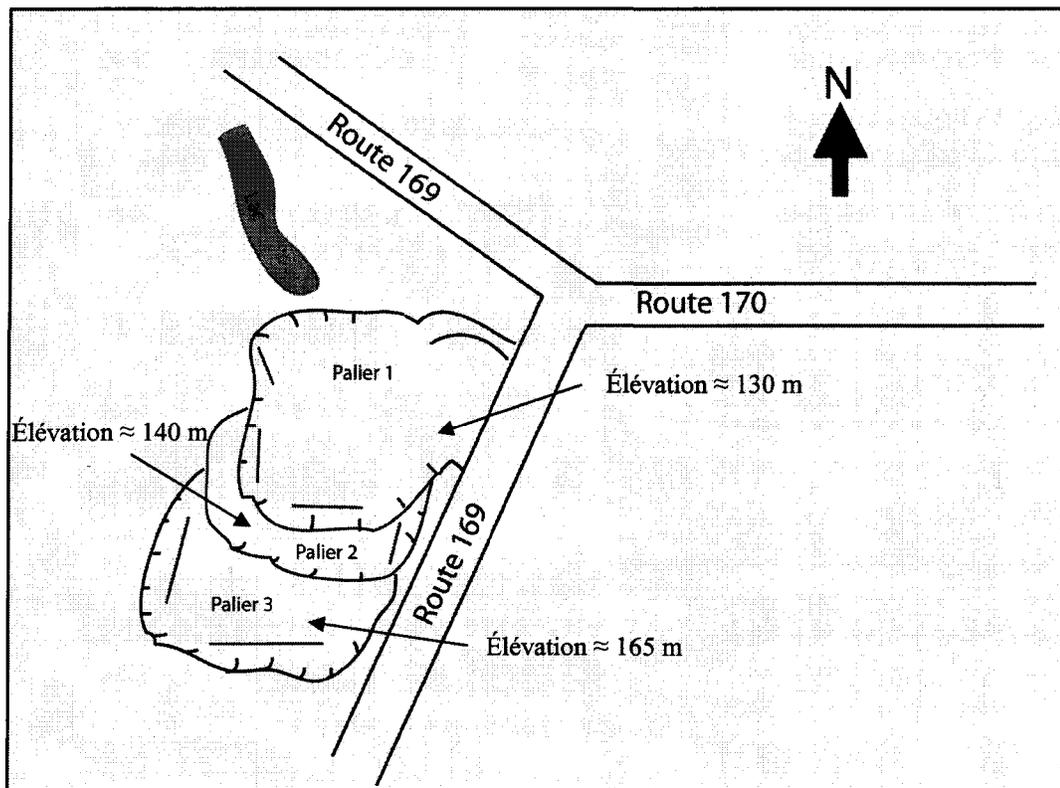


Figure 4: Localisation et schéma de la gravière de Métabetchouan faite à partir d'une photo aérienne au 1/15000 (échelle non respecté)

Code de faciès ¹	Structures	Épaisseur (m)	Mécanisme et Processus de sédimentation
Graviers: 65% du matériel > -1 Φ (2 mm)			
Gm	Massif, légèrement stratifié	0.5 – 2	Coulée de grains avec sédimentation par gel par friction (Liu et Wang, 2001)
Gg	Granoclasement normal	0.25 – 1	Écoulement turbulent peu concentré à éléments grossiers (Dickie et Hein, 1995, Falk et Rebecca, 1998) avec sédimentation par suspension avec tri hydraulique
Gi	Granoclasement inverse	0.3 – 1	Écoulement de grain non cohésif (Lowe, 1976; Sohn 2000) avec dominance de chocs interparticules et tamisage cinématique ; écoulement turbulent de haute densité (Postma et Cruickshank, 1988, Postma et al 1988).
Gd	Déformé	0.1 – 0.5	Glissement des sédiments (Plink-Bjorklund et Ronnert, 1999)
Go	Fabrique ouverte	≈ 0.4	Dépôt de charge de fond en traction d'un courant turbulent de haute vitesse (Dickie et Hein, 1998). Chute par suspension de fragments (Sohn, 1997) avec tri hydraulique prolongé
Sable graveleux: proportion égale entre les sables et graviers			
SGm	Massif	1 – 2	Coulée de grains hyperconcentrée (Sohn, 2000) avec sédimentation par gel-friction

¹ Les codes de faciès sont ceux de Miall (1985), et ceux définis et utilisés par d'autres auteurs: Gg : Aitken ; 1995, Gi : Kim et Chough, (2000) ; Go : Maizels, (1992), Gd : Lajeunesse et Allard, (2002), Sm : Maizels; (1993) ; Lajeunesse et Allard; (2002) ; Sg : Postma; (1990)

Tableau 7: Descriptions et interprétations des faciès reconnus à Métabetchouan

Sables : <i>Sédiments avec plus de 65% de sable</i>			
Sm	Massif	0,1 – 0.5	Écoulement concentré avec sédimentation par gel par friction
Sg	Granoclassement normal	0.05 – 0.3	Sédimentation par suspension (Lowe, 1976) avec tri hydraulique
Si	Granoclassement inverse	0.1 – 0.3	Pression dispersive (Lowe, 1976) et tamisage cinématique des grains les plus fins
Sh	Laminé et horizontale	0,1 – 0.4	Dépôt par traction en régime d'écoulement supérieur (Miall,1978).
Fines: <i>Sédiments avec plus de 50% de matériel plus fin que 4Φ ($62\mu\text{m}$)</i>			
Fl	Laminations parallèles et horizontales	0.02 – 0.03	Régime d'écoulement supérieur (Lowe, 1976) (silt) et dépôt par suspension (boues)

Tableau 7: Descriptions et interprétations des faciès reconnus à Métabetchouan

Faciès 1: Gravier massifs (Gm)

Ce faciès montre des lits dont l'épaisseur varie entre 0.5 et 2 mètres (fig.5a). Il montre des stratifications diffuses et continues. Les fragments constituant la fabrique sont sub à bien arrondis avec des dimensions entre 3 et 15 cm. Ils ne montrent aucune orientation particulière. Du sable grossier constitue la matrice de ce faciès. Comme les faciès subséquents, la composition des fragments est celle du socle rocheux de la région et des calcaires d'âge Ordovicien. Ces derniers constituent environ 60 % des fragments. Les contacts sus et sous-jacents avec les autres faciès sont nets.

Interprétation

Ce faciès est le résultat d'une coulée de grains subaquatique (Liu et Wang, 2001) durant des phases d'importants apports sédimentaires provoqués par la fonte des glaces. La sédimentation se fait rapidement et de façon répétitive permettant une aggradation verticale importante. Cela permet le développement de stratifications diffuses (Branney et Kokelaar, 1992)

Faciès 2: Gravier à granoclassement normal (Gg)

Les lits montrent une épaisseur qui varie de 0.25 à 1 m (fig. 5b). Les contacts avec les faciès sous et sus jacents sont érosifs. Les éléments constituant la fabrique sont parfois orientés parallèlement au litage avec un axe long (a) parallèle à la direction d'écoulement. La dimension des clastes est de 3 à 10 cm. Ils sont sub à bien arrondis. Ce sont

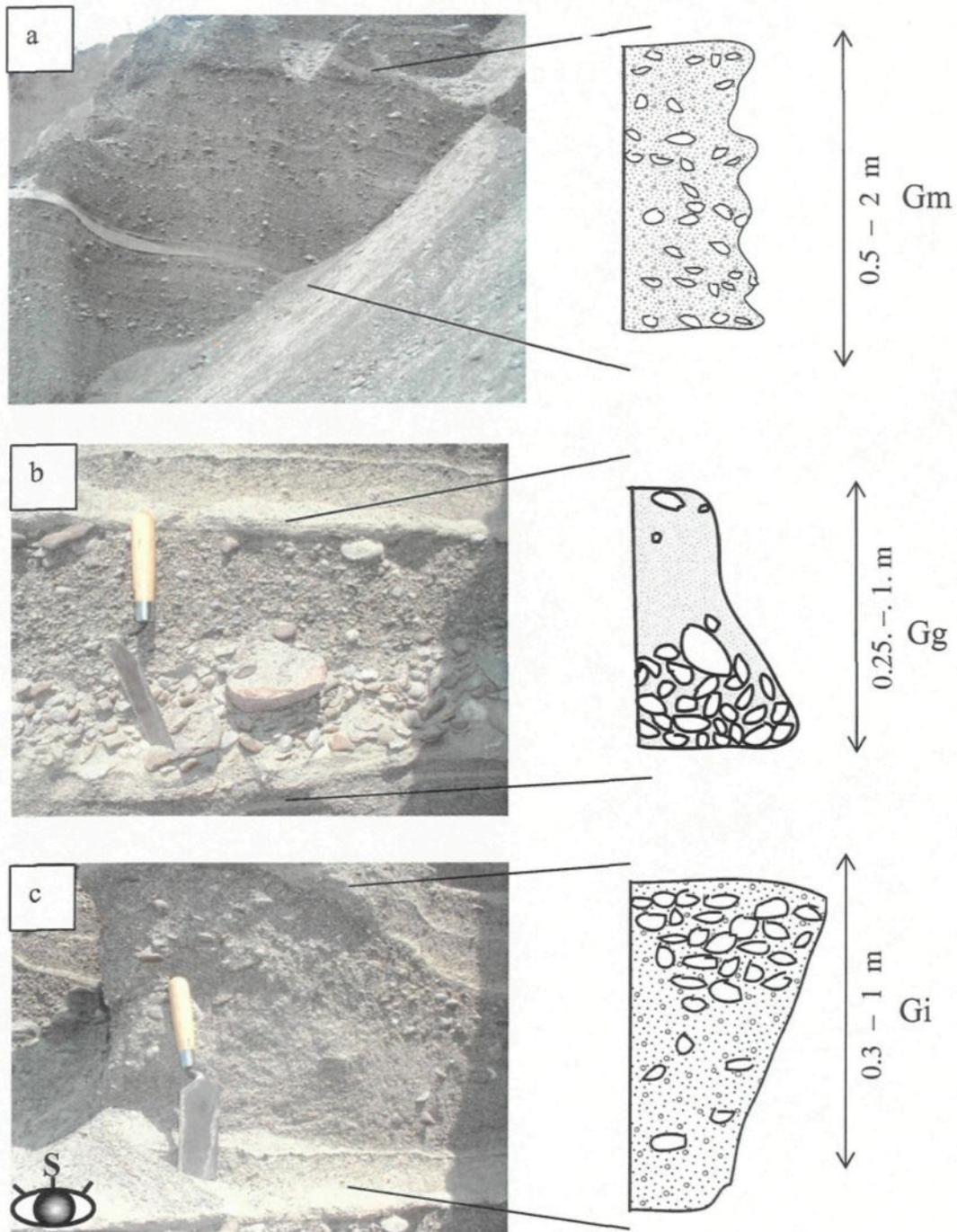


Figure 5: a) faciès Gm montrant des stratifications diffuses. b) Gravier à granoclassement normal (Gg) surmonté par le faciès Sm. c) Gravier à granoclassement inverse (Gi).

essentiellement des cailloux des roches métamorphiques et ignées du socle rocheux précambrien de la région ainsi que des calcaires ordoviciens. Ce faciès est essentiellement reconnu au niveau du palier 3 de la gravière et notamment dans la partie médiane des dépôts de pente (fig. 5b).

Interprétation

Ce faciès peut être interprété comme étant le résultat d'une coulée turbulente de densité modérée qui développe un granoclassement normal par perte de compétence progressive engendrant un tri hydraulique (faciès R3 de Lowe, 1982; Dickie et Hein, 1995; Falk et Dorsey, 1998). L'abondance de cailloux arrondis suggère un épisode contemporain avec une traction limitée, ou antérieur avec un écoulement avec traction importante.

Faciès 3: Gravier à granoclassement inverse (Gi)

Ce faciès montre des épaisseurs de lits qui varient entre 0.3 à 1 mètre (fig. 5c). Ils sont composés du même matériel que le faciès Gg décrit ci-dessus. Les contacts sont nets et tranchants avec les faciès sus et sous-jacents, alors que latéralement on y observe des transitions qui sont graduelles avec les faciès Gg et Gm. Ce faciès est reconnu principalement dans les dépôts de pente du troisième palier de la gravière.

Interprétation

Le granoclassement inverse et la granulométrie de ce faciès suggèrent une sédimentation liée à des coulées de grains non cohésives (absence de boue) où les chocs

entre particules, associés au tamisage cinématique, induit le granoclassement inverse (Lowe, 1976, Sohn, 2000). Des dépôts similaires ont été également interprétés comme le résultat d'un écoulement turbulent de haute densité (Postma et Cruickshank, 1988, Postma et al 1988) qui se comporte alors comme une coulée de grains.

Faciès 4: Gravier déformé (Gd)

Ce faciès est localisé dans le premier palier de la gravière. Il montre une lentille de gravier d'une épaisseur d'environ 40 cm (fig. 6) avec à l'intérieur, des éléments qui ne montrent aucune orientation. Ils sont en grande majorité formés par les calcaires ordoviciens (environ 80%). Les sables sus et sous-jacents à ce faciès montrent un pendage apparent d'environ 10° et sont déformés à cause de la lentille de gravier. Plusieurs failles normales post-dépôts y sont également présentes. À l'origine, la lentille graveleuse correspondait probablement à Gg, Gi ou Gm.

Interprétation

La formation du faciès Gd à partir des faciès Gg, Gi et Gm est probablement le résultat du glissement (Plink-Bjorklund et Ronnert, 1999) des faciès sus cités engendrés par une charge sédimentaire importante se produisant sur une pente légère. Le pendage mesuré (10°) au niveau des lits de sable appuierait cette hypothèse. Les déformations observées dans les sables sont probablement le résultat du poids exercé par les graviers. Le contexte supposément glaciaire de mise en place est un élément de plus qui expliquerait ce genre de structure. En effet, il est très probable que dans un contexte pareil on soit en présence de

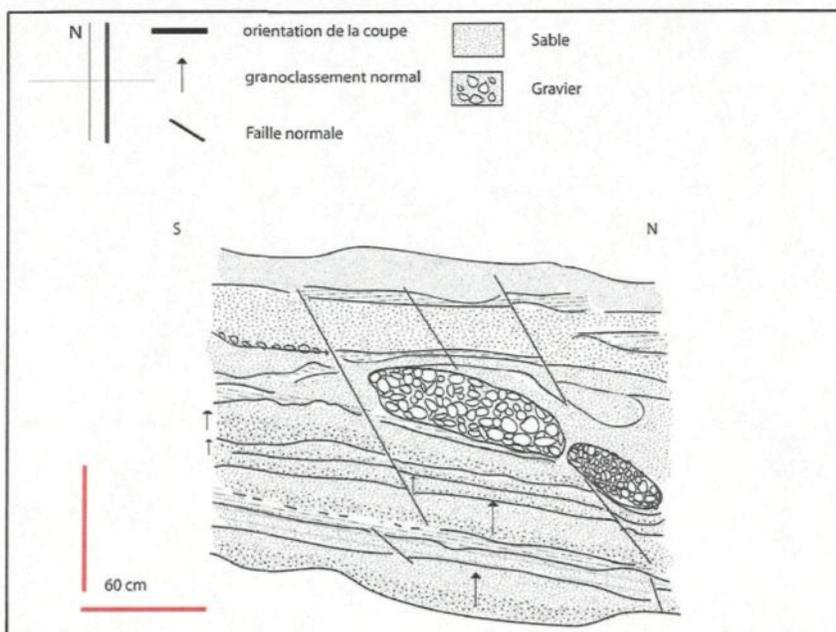
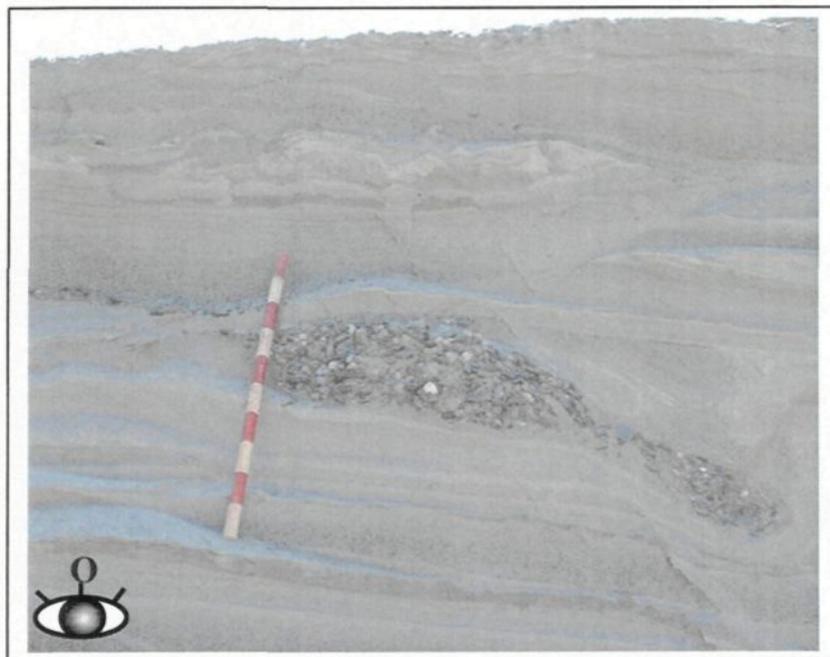


Figure 6: Faciès à gravier déformé (Gd) dans des lits de sable montrant localement des surfaces érosives dues à un écoulement irrégulier. Sur le croquis, on observe la présence de plusieurs failles normales post-dépôts dans les niveaux de sable massif (Sm) et à granoclassement normal (Sg)

nombreux petits blocs de glace isolés dont la fonte génère des instabilités de pente et induit ce genre de phénomène.

Faciès 5 : Gravier à fabrique ouverte (Go)

Ce faciès est retrouvé à l'intérieur de lits stratifiés de gravier. Il montre une forme lenticulaire avec des épaisseurs de 10 à 50 cm et des longueurs entre 0.6 et 3 m. Les fragments sont bien triés, arrondis et jointifs, dépendamment des lentilles, leur dimension varie entre 2 et 3 cm et moins fréquemment entre 8 et 10 cm. Les clastes ne montrent pas de direction préférentielle d'imbrication et ne contiennent qu'un très faible pourcentage de sable interstitiel. Ce faciès montre très souvent une couleur orangée et jaunâtre en raison de la précipitation de fer à la surface des clastes lors de la circulation des eaux superficielles (fig. 7).

Interprétation

Quatre mécanismes peuvent être invoqués pour la mise en place de ce faciès: (1) il se forme par une accumulation de cailloux piégés localement par un bloc sur lequel viennent se coincer tous les autres cailloux alors que les particules les plus fines continuent leur transport vers des parties plus en aval à la manière des dépôts « tamisé » (*sieve deposits* de Bull, 1972). (2) par un lavage répété des graviers par le conduit qui transporte les sédiments qui à chaque épisode d'apport opère un tri continu ne laissant sur place que des cailloux de même dimension (Martini, 1990). (3) Dickie et Hein, (1998) interprète ce faciès comme le résultat de dépôt de charge de fond engendré par un courant de turbidité de grande

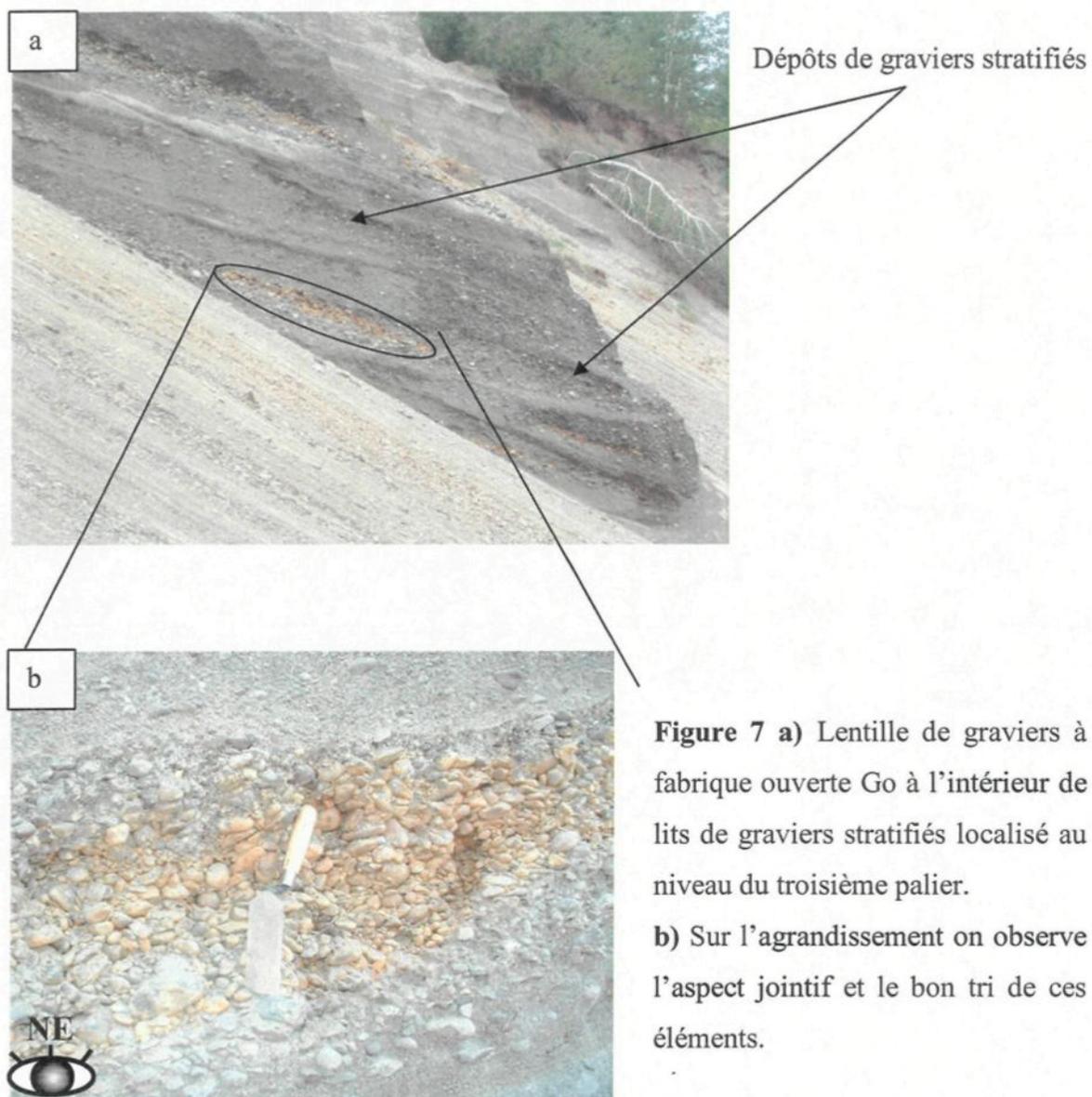


Figure 7 a) Lentille de graviers à fabrique ouverte Go à l'intérieur de lits de graviers stratifiés localisé au niveau du troisième palier.

b) Sur l'agrandissement on observe l'aspect jointif et le bon tri de ces éléments.

vitesse qui empêche le dépôt des particules les plus fines. (4) Sohn (1997) explique la mise en place de ce faciès par les chutes de cailloux «*debris fall*» ce qui implique nécessairement une mise en place dans les parties distales de la pente. Cette dernière hypothèse n'est pas retenue comme mécanisme principal car ce faciès est surtout présent dans la partie médiane de la pente. On peut donc supposer que ce faciès se soit formé par les dépôts de charge de fond d'un courant de turbidité de haute vitesse, comme le suggèrent Dickie et Hein (1998), d'autant plus que d'autres faciès indiquant la présence d'un tel courant dans cet environnement ont été identifiés. Les hypothèses de Martini (1990) peuvent être également retenues, il n'y a pas de contradiction à ce que ce faciès soit la conséquence de plusieurs phénomènes. L'implication de plusieurs mécanismes est tout à fait probable dans un tel environnement où les conditions de dépôts sont influencées par différents facteurs liés soit à l'environnement de dépôts lui-même (pente), soit aux apports sédimentaires (taux et nature des apports).

Faciès 6: Sables graveleux massifs (SGm)

Ce faciès est présent essentiellement au niveau du troisième palier de la gravière. Les lits montrent une épaisseur de 1 à 2 m. La matrice est grossière et hétérogène (Annexe 1). Des fragments de dimension entre 3 et 10 cm sont fréquemment observés dans la partie supérieure des lits (fig. 8). Ils proviennent du socle rocheux de la région et des roches ordoviciennes calcaires. Les contacts sus et sous-jacents avec le faciès à sables (Sh) sont nets, alors que latéralement les contacts sont graduels et progressifs vers le bas de la pente avec les faciès Gg et Gi.



Figure 8: Succession de 3 bancs du faciès SGm (de couleur gris foncé sur la photo) situé au troisième palier, montrant des cailloux surdimensionnés qui flottent à l'intérieur. (Échelle de la pelle 0.8 m).

Interprétation

Le faciès SGm est interprété comme étant le résultat d'une coulée de grains hyperconcentrée subaquatique où les cailloux les plus gros migrent vers le sommet (et le front de la coulée), là où la contrainte de cisaillement est moins importante (Sohn, 2000). De nouveau, l'aspect stratifié du dépôt résulte probablement de forts taux de sédimentation qui induit une aggradation verticale répétitive (Branney et Kokelaar, 1992).

Faciès 7: Sables massifs (Sm)

C'est le faciès le plus présent dans le premier et le second palier de la gravière. Il s'agit de sables moyens à grossiers avec une épaisseur des lits variant entre 10 et 50 cm (fig. 9a). Les lits sont latéralement continus sur plusieurs mètres. L'analyse granulométrique de ces sables indique un mauvais tri et une granulométrie de sable moyen. Ils contiennent 40 % de sables moyens, 30 % de sables grossiers et 30 % de sables fins et silts (Annexe 1). Les lits montrent parfois des cailloux de roches ignées isolés surdimensionnés (fig. 9b), des cailloux d'argile et des structures en flammes (fig. 9c-d). Ces dernières indiquent une liquéfaction partielle avec l'enfoncement d'un lit plus dense dans un lit moins dense sur une pente. De nombreuses failles normales et inverses avec des déplacements centimétriques à décimétriques y sont aussi observées.

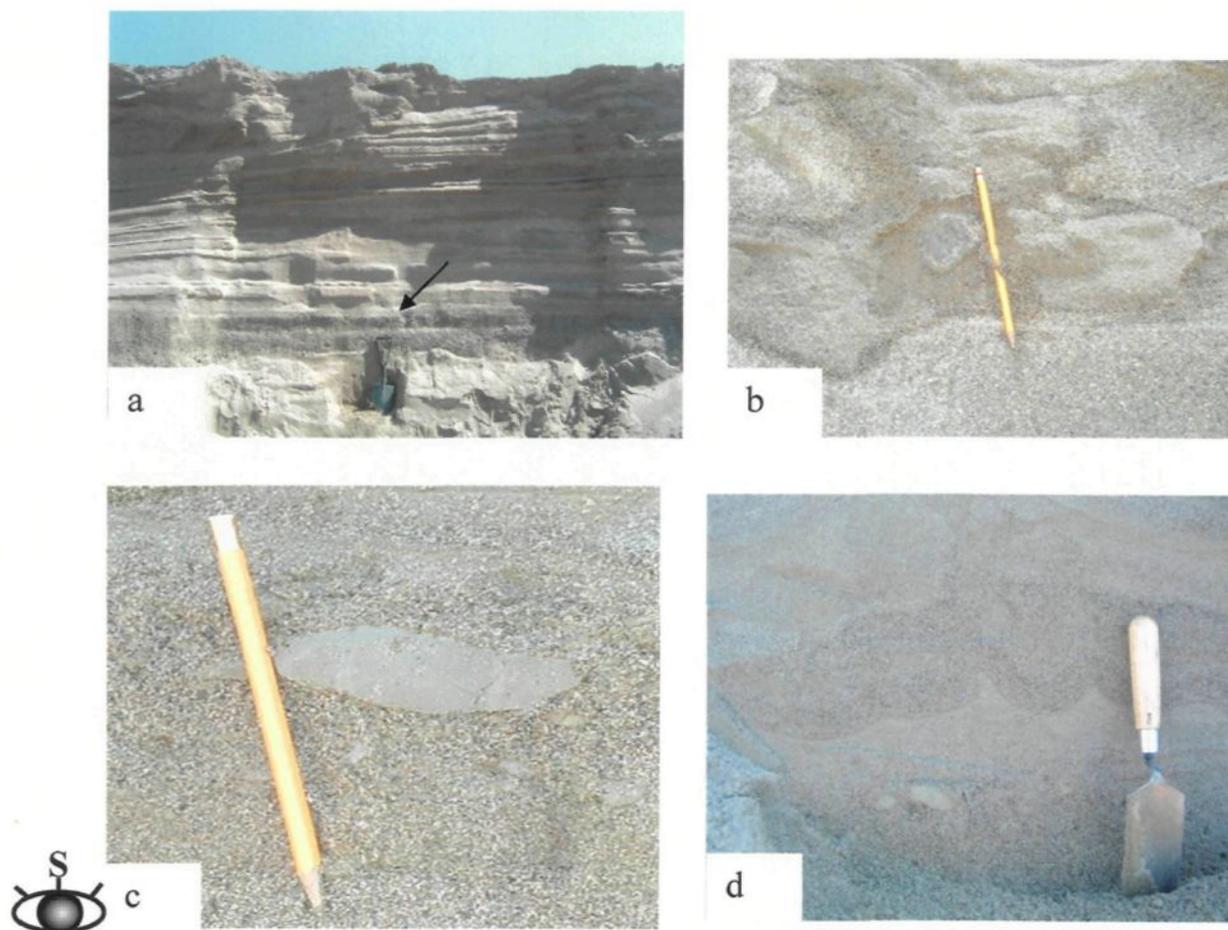


Figure 9 a) Sables massifs du palier inférieur alternant avec des lits très fins du faciès Fl. La flèche montre un niveau à gravier massif à la base de cette succession. Echelle pelle 0.8 m b) Caillou provenant du socle surdimensionné isolé dans un faciès Sm du palier inférieur. c) Caillou d'argile tel qu'observé fréquemment dans les sables massifs du palier inférieur. d) Structure en flammes

Interprétation

Différents mécanismes sont invoqués dans la littérature pour expliquer ce genre de faciès : un dépôt rapide d'une coulée hyperconcentrée, gel de coulées sablonneuses cohésives, coulées de débris (Kim et al, 1995) ou le résultat d'une intense bioturbation. Les hypothèses d'une coulée cohésive ou d'une intense bioturbation sont écartées de par l'absence d'une matrice argileuse qui élimine la première hypothèse et l'absence de structures de bioturbation ou de fossiles qui indiqueraient une activité animale. L'hypothèse retenue est donc celle d'un dépôt rapide d'une coulée hyperconcentrée. La présence de nombreuses structures de liquéfaction et de charges indique des taux de sédimentation très importants (Eyles et Eyles, 1992). La présence de fragments surdimensionnés isolés est probablement liée à leur chute le long de la pente (*debris fall*; Sohn et al, 1997) associée au mécanisme de dépôt lui-même ou au mouvement dans un écoulement de forte charge (Postma et Cruickshank, 1988). Le gel d'une coulée peut montrer un matériel très hétérogène lié à la nature des apports sédimentaires.

Faciès 8: Sables à granoclassement normal (Sg)

Ce sont des lits de sables moyens à grossiers dont l'épaisseur varie de 5 à 30 cm. Les lits sont latéralement continus. Ce faciès est localisé au premier palier de la gravière. Dans sa partie nord, un pendage apparent de 10° est mesuré.

Interprétation

Les sables à granoclassement normal sont interprétés comme correspondant à la subdivision Ta du cycle de Bouma ou S3 de Lowe déposé par suspension avec tri hydraulique d'un matériel transporté par des courants de turbidité. (Lowe, 1976; Lowe, 1982).

Faciès 9 : Sables à granoclassement inverse (Si)

Ce faciès est très rarement observé. Il contient le même matériel que le faciès (Sm), soit la même granulométrie et la même composition. L'épaisseur des lits varie entre 10 et 30 cm et montre une bonne continuité latérale sur plusieurs mètres.

Interprétation

Le granoclassement inverse des lits de sables indique que la coulée est entièrement supportée par les pressions dispersives résultant des chocs entre les grains (Lowe, 1976) et par un tamisage cinématique.

Faciès 10 : Sables laminés (Sh)

Ce faciès est reconnu deux fois, au sommet des dépôts de pente du troisième palier de la gravière (fig.10), où deux unités épaisses de 4 m chacune montrent une superposition de lits de sable à laminations horizontales parallèles d'épaisseur entre 10 et 40 cm. Ces deux unités reposent en discordance sur les dépôts graveleux. L'analyse granulométrique de



Figure.10. Sable laminé (Sh) du niveau supérieur reposant en discordance sur les dépôts graveleux des dépôts de pente

ces sables montre un tri moyen [$\sigma = 0,75$] et une dimension de sable moyen (Annexe 1). Des cailloux d'une dimension maximale de 8 cm sont observés dans les lits. Ce faciès est également observé au niveau du premier palier de la gravière en alternance avec les faciès Gm, Gg et Gi. Les contacts sus et sous-jacents aux faciès graveleux sont nets. Ils montrent des épaisseurs qui varient entre 5 et 30 cm. Ce faciès montre souvent des cailloux bien arrondis surdimensionnés (entre 5 et 6 cm) de calcaire ordovicien de la région. L'analyse granulométrique montre que ce sont principalement des sables fins à moyens avec un mauvais tri (Annexe 1).

Interprétation

Les sables à laminations horizontales parallèles sont le résultat d'un dépôt par traction en régime d'écoulement supérieur (Miall, 1978). Au niveau du premier palier de la gravière, le faciès a été probablement mis en place dans un contexte fluvatile. Sa localisation en discordance sur les dépôts de pente est aussi probablement le résultat d'une incision des dépôts de pente dans un contexte purement fluvatile postérieur à la mise en place des autres faciès.

Faciès 11 : Faciès fin à lamination parallèle et horizontale (F1)

L'épaisseur des lits varie de 2 à 5 cm et montre une bonne continuité latérale sur plusieurs mètres. Ils sont présents au niveau du premier palier en alternance avec les faciès Sm, Sg et Si, et montrent des contacts nets avec ces derniers.

Interprétation

Ce faciès est le résultat d'un dépôt par suspension avec une composante en traction qui produit les laminations parallèles. Il peut être donc interprété comme des dépôts de plaine d'inondation ou de prodelta.

3. 3. Description et interprétation des associations de faciès

La géométrie et les relations entre les différents faciès ont permis d'identifier cinq associations de faciès dans la gravière de Métabetchouan (Tableau 8). Chacune d'elles représente un élément géomorphologique. Les codes employés par Miall (1985) pour les associations de faciès dans le milieu fluviatiles ont été modifiés en fonction de notre contexte environnemental qui est différent.

Assemblage de faciès sablonneux (SS)

Description

Cette association est constituée des faciès Sm, Sg, Si, Sh et Fl. Elle montre une géométrie en forme de feuillets qui s'étend sur plusieurs mètres (40 m) et montre des épaisseurs entre 0.30 et 2 m. Les faciès à l'intérieur de cet élément montrent des contacts basaux et sommitaux qui sont nets alors que latéralement les contacts sont graduels. On y observe fréquemment des changements latéraux de faciès, des passages de sables massifs à des sables à granoclassement normal ou inverse, et cela sur quelques mètres seulement.

Association de faciès	Géométrie	Épaisseur (m)	Code de l'élément architectural	Interprétation
Sm, Sg, Si, Sh, Fl	Feuillet	0.3 – 2	SS	Feuillet de sable mis en place en régime d'écoulement supérieur
Gm, Gi, Gg, Go, SGm	Feuillet	0.7 – 2	GS	Feuillets de graviers
Gi, Gg, Gm, Sh,	Feuillet	2	GSS	Feuillets résultant de coulée de débris
Gg, Gi, Sm, Sn	Barre, lentille allongée	2	GB	Barre graveleuse reposant sur le fond et mise en place par régime en friction alternant avec des sables déposés en régime de friction ou de suspension
Gd, Sg, Si, Sm	Lenticulaire	0.3 - 2	GSD	Lentille de glissement

Tableau 8: Assemblages de faciès reconnus dans la gravière de Métabetchouan (codification de Miall, 1985, avec modification)

Les observations faites sur le terrain n'ont pas permis de mettre en évidence un enchaînement de faciès latéralement récurrent. En revanche, verticalement on a observé la présence du faciès Fl qui s'intercale à chaque fois entre les faciès Sm et Si, ou Sm et Sg. Cette association est surtout présente dans le premier palier ainsi que dans la partie inférieure du second palier de la gravière. Au niveau du premier palier, une discordance sépare latéralement l'association SS de l'association de faciès GB. La discordance s'étend sur environ 2 m. Le contact supérieur de cette association de faciès avec l'association sus-jacente (GSB) est partiellement érosif. Le contact inférieur de SS n'affleure pas.

Interprétation

La nature des différents faciès présents dans cet élément architectural, ainsi que sa géométrie, est interprétée comme un feuillet de sable dont les divers faciès se sont mis en place en régime d'écoulement supérieur. L'association de faciès SB tel que décrite par Miall (1985) correspond à des dépôts de barre de sables qui se mettent en place dans des systèmes fluviaux. Dans le cas présent, l'étendue relative de SS et son association avec les autres assemblages écartent cette interprétation. La localisation de SS ainsi que les mécanismes évoqués pour chacun des faciès formant cette association indiquent des feuillets mis en place en milieu subaquatique probablement liée à un éventail d'écoulements à forte concentration de particules se déposant sur une pente. Ceci pourrait donc s'interpréter comme un petit lobe gréseux de front deltaïque dans un delta par friction dominé par des écoulements de fond (Prior et Bornhold, 1990, Orton et Reading, 1993), ou encore

préférentiellement comme des dépôts prodeltaïques mis en place au pied du front d'un delta à sédiments grossiers (fig.17).

La présence de cailloux surdimensionnés dans cet assemblage reste néanmoins un élément assez controversé dans la littérature où différents mécanismes sont invoqués pour les expliquer. Shanmugam (1996) prétend que des dépôts massifs avec de larges cailloux ne peuvent être le résultat de courant de turbidité et que ce genre de faciès est engendré par des coulées de débris sableuses. Tandis que Sohn et al (1997) affirme qu'il est tout à fait possible de produire ce genre de faciès avec un courant de turbidité associé à des chutes de pierres (*debris fall*). On parle également souvent de cailloux de délestage (*dropstone*) pour expliquer ce genre de faciès dans les dépôts d'origine glaciaires. Le degré de maturité des cailloux (très bien arrondi) indique un transport relativement long, ce qui écarterait l'hypothèse de cailloux de délestage, bien que la maturité des cailloux puisse être aussi le résultat d'un transport antérieur.

Assemblage graveleux GS

Description

Cet élément regroupe les faciès Gm, Gi, Gg, Go et SGm. L'assemblage a des dimensions d'environ 70x60 mètres et une épaisseur de 0.7 à 2 m (fig.11-12). Le passage latéral entre les différents faciès est graduel. On observe le passage progressif vers le bas de

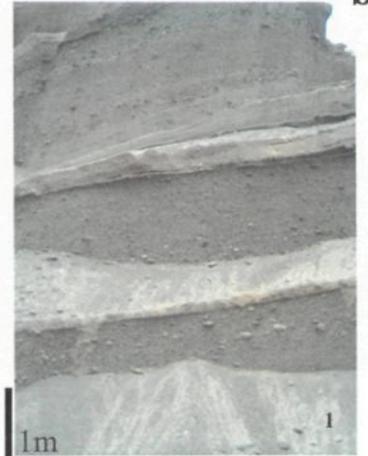
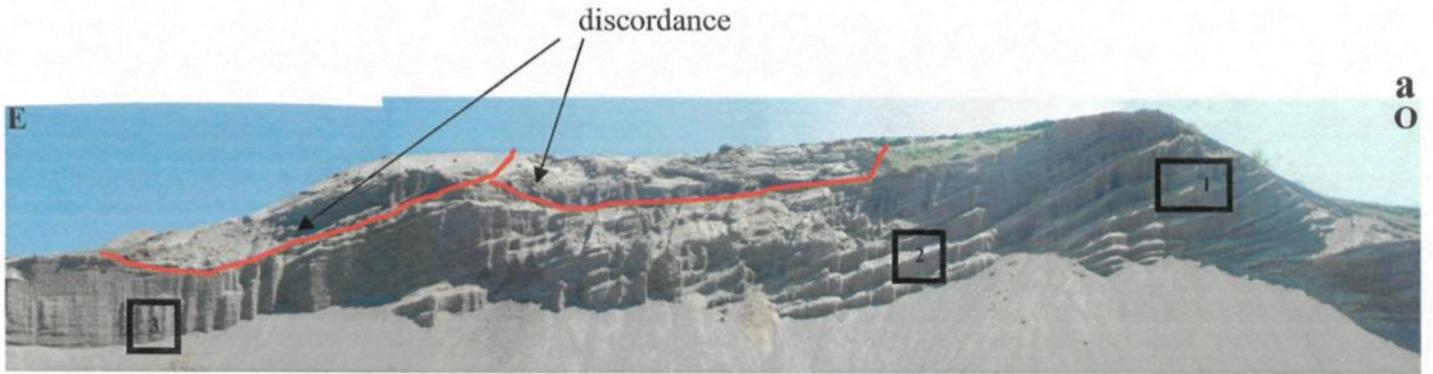


Figure 11 : a) Vue d'ensemble des dépôts de pente formés par l'empilement de feuillets graveleux (GS) b) Transition du faciès SGm en haut de la pente au faciès Gm au bas de la pente.



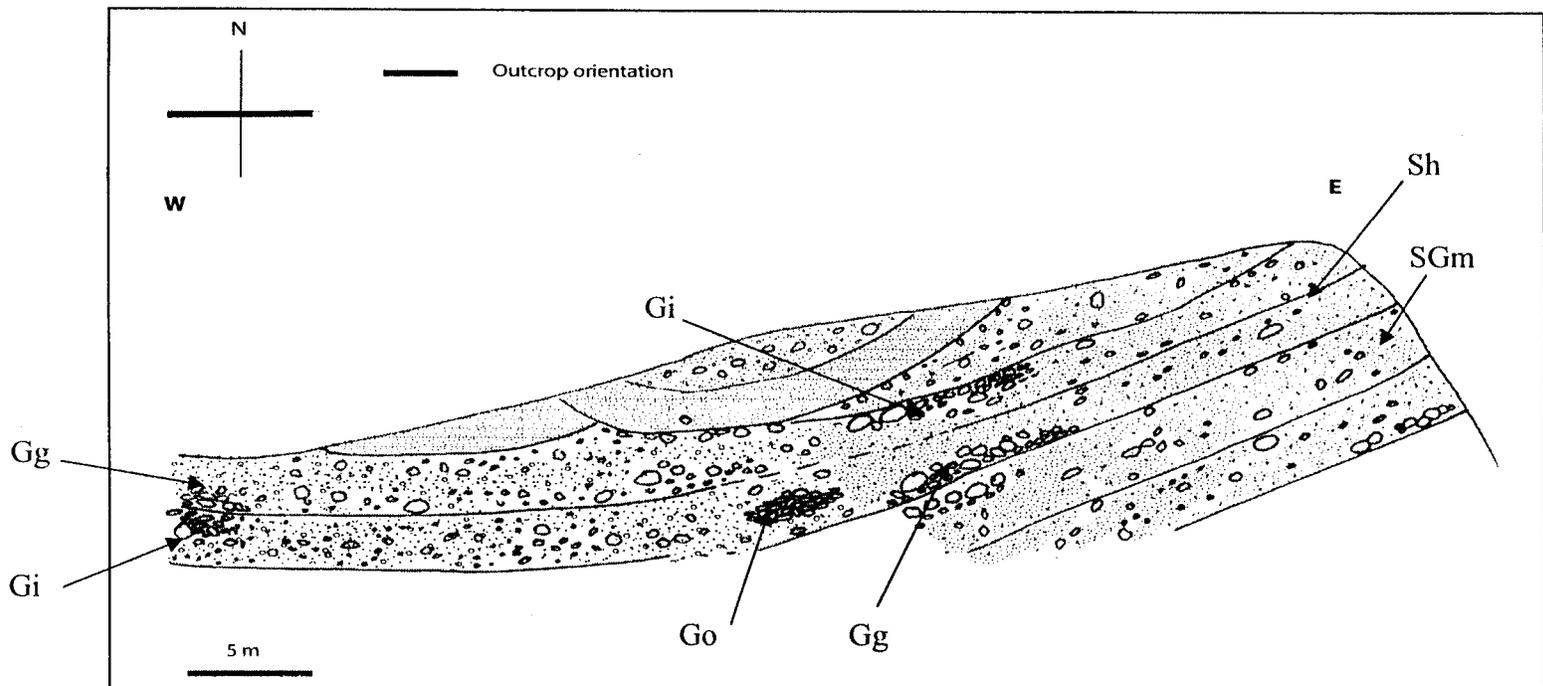


Figure 12: Schéma illustrant la distribution des différents faciès sur la pente; on remarquera les variations latérales le long de celle-ci

la pente successivement du faciès SGm vers le faciès Gi ou Gg suivi du faciès Gm. Le faciès Go se développe souvent à l'intérieur du faciès Gm.

Interprétation

Cet assemblage correspond à des feuillets de graviers déposés sur une pente relativement forte (20 - 30°), suite à l'évolution et la transformation de l'écoulement (mécanismes discutés dans la section suivante) le long de celle-ci (Sohn, 2000). Cet assemblage est interprété comme des dépôts de pente sur le front d'un delta subaquatique.

Un modèle basé sur la transition entre les faciès (fig. 13) a été établi pour expliquer la succession des faciès mis en évidence sur la pente et en bas de pente. Les variations latérales de faciès sont expliquées par l'évolution et le changement du type de la coulée. Les concentrations importantes de sédiments, apportés par les conduits nourriciers se déversant en mer, favorisent un type de delta en friction. Celui-ci est la conséquence de la différence de densité de la coulée avec celle de la mer.

L'instabilité inhérente aux écoulements à fortes concentrations de particules, dues à une perte de compétence et de capacité, produit une transformation de l'écoulement (Fisher, 1971), et un écoulement bipartite (Mulder et Alexander, 2001). La partie inférieure montre une forte concentration en particules d'où la prépondérance des chocs entre les particules qui favorise le déplacement vers le haut des particules de plus grande dimension. Ces dernières, se concentrent sur un tapis de particules en mouvements de traction. Lors du gel

par friction rapide de ce tapis, le mécanisme peut se répéter et il y a alors répétition de ce processus qui engendre une aggradation verticale de plusieurs lamines de sable graveleux avec un train de cailloux comme dans le faciès SGm. La perte de compétence et de capacité fait en sorte que la partie supérieure de l'écoulement renferme principalement du sable. A la fin du processus d'aggradation verticale, le sable se dépose en régime d'écoulement supérieur et forme le faciès Sh. La présence de gros cailloux notamment dans la partie supérieure du faciès SGm est due à la tendance qu'ont les gros cailloux à migrer vers le haut de la coulée à cause de la différence de la contrainte de cisaillement entre la partie basale et sommitale de la coulée (Prior et Bornhold, 1989; Sohn, 2000). Seule une fraction de l'écoulement sédimente sur la partie amont de la pente. La progression de l'écoulement sur la pente dans un contexte aqueux engendre une diminution de la viscosité de l'écoulement lié à un mélange avec l'eau. Cela induit une réduction de la densité des particules dans l'écoulement, notamment à la base de l'écoulement où l'efficacité accrue des chocs entre les particules favorise la sédimentation du faciès à granoclassement inverse Gi. Les plus gros clastes tendent à se diriger vers le haut et le front de l'écoulement. Lors du gel de ces derniers, ils se détachent et continuent leurs mouvements vers le bas (*debris fall*). Ceci engendre la formation du faciès Go dans les parties distales des dépôts de pente mais aussi explique la présence de cailloux isolés dans les dépôts de bas de pente (Sohn, 2000).

La dilution par ingestion d'eau de la coulée se poursuit vers l'aval. Cela se traduit par une augmentation de sa vitesse sur la pente et sa transformation en un écoulement de

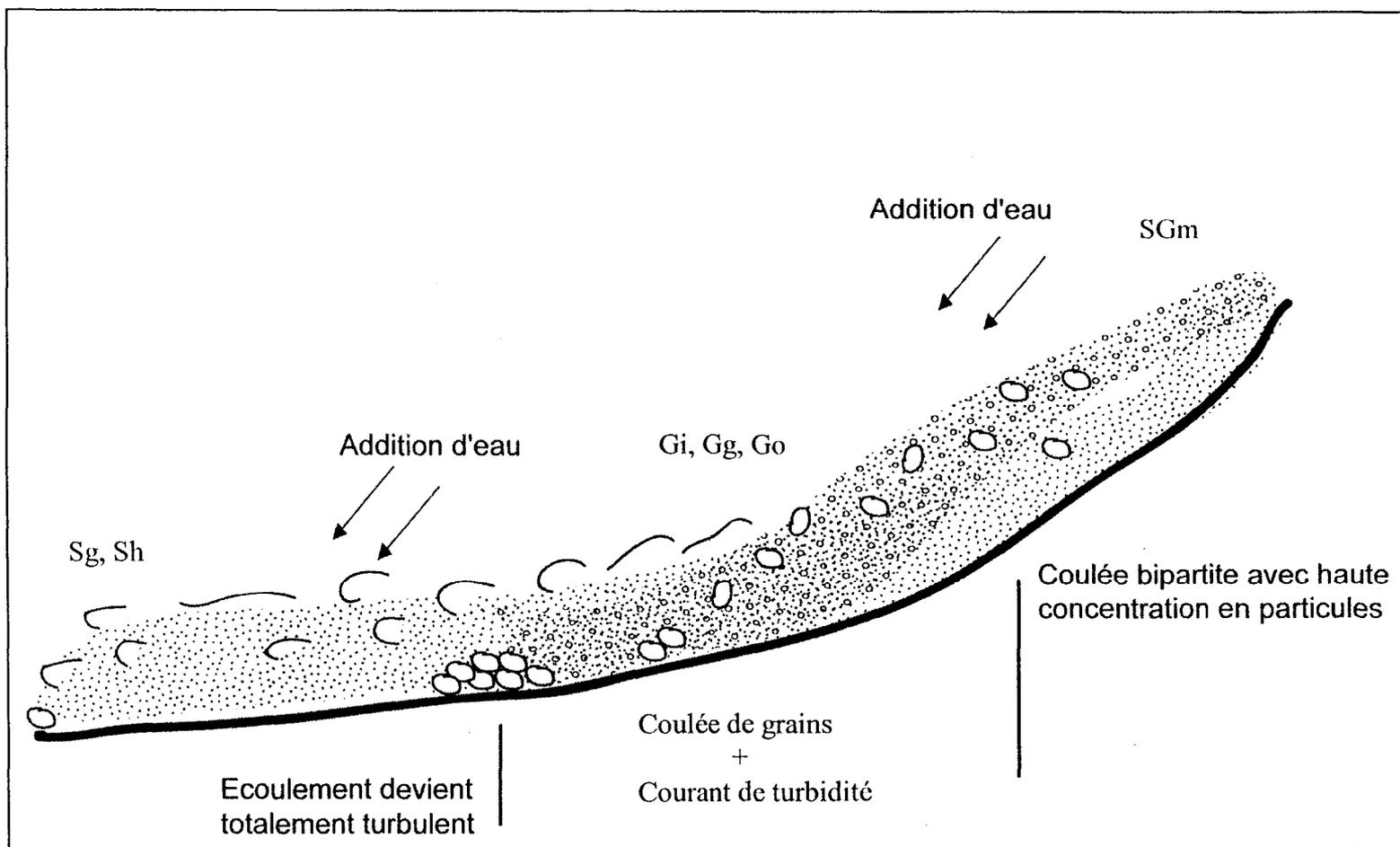


Figure 13 : Modèle pour expliquer la transformation de l'écoulement le long de la pente et les variations de faciès observés dans l'assemblage GS (modifié de Sohn, 1997 et 2000)

turbidité (Nemec et Steel, 1984; Postma et al, 1988). Cela permet une sédimentation à partir d'un écoulement moins dense où peut s'effectuer une sédimentation avec tri hydraulique, et donc développement de granoclassement normal Gg et Sg au bas de la pente. La turbulence qui est ainsi produite, va être alors le mécanisme principal qui met en place les sédiments de bas de pente

Assemblage gravelo-sableux GSS

Description

Il est localisé au niveau du second palier de la gravière. Cet élément associe les faciès Gm, Gg, Gi, Sm et Si. Il montre une géométrie en feuillets. Son épaisseur est d'environ 2 m. Les passages verticaux entre les faciès à l'intérieur de cette association ne montrent aucune récurrence. Les contacts avec les associations de faciès SS et GS sont en partie érosifs et discordants.

Interprétation

Cet assemblage est interprété comme un dépôt de bas de pente d'un delta subaqueux (fig.17). La succession de faciès à sable grossier et gravier et de faciès à sable moyen indique une alternance d'épisodes énergétiques et d'accalmies. La variété des faciès observés (fig. 14) indique aussi une variété des écoulements impliqués. Les faciès Gg et Gi se forment à la suite d'un écoulement de grains alors que Gm est le fruit d'une coulée dense. L'absence de succession granocroissante ou décroissante indique que cet empilement ne reflète pas un modèle simple de remplissage de bassin.

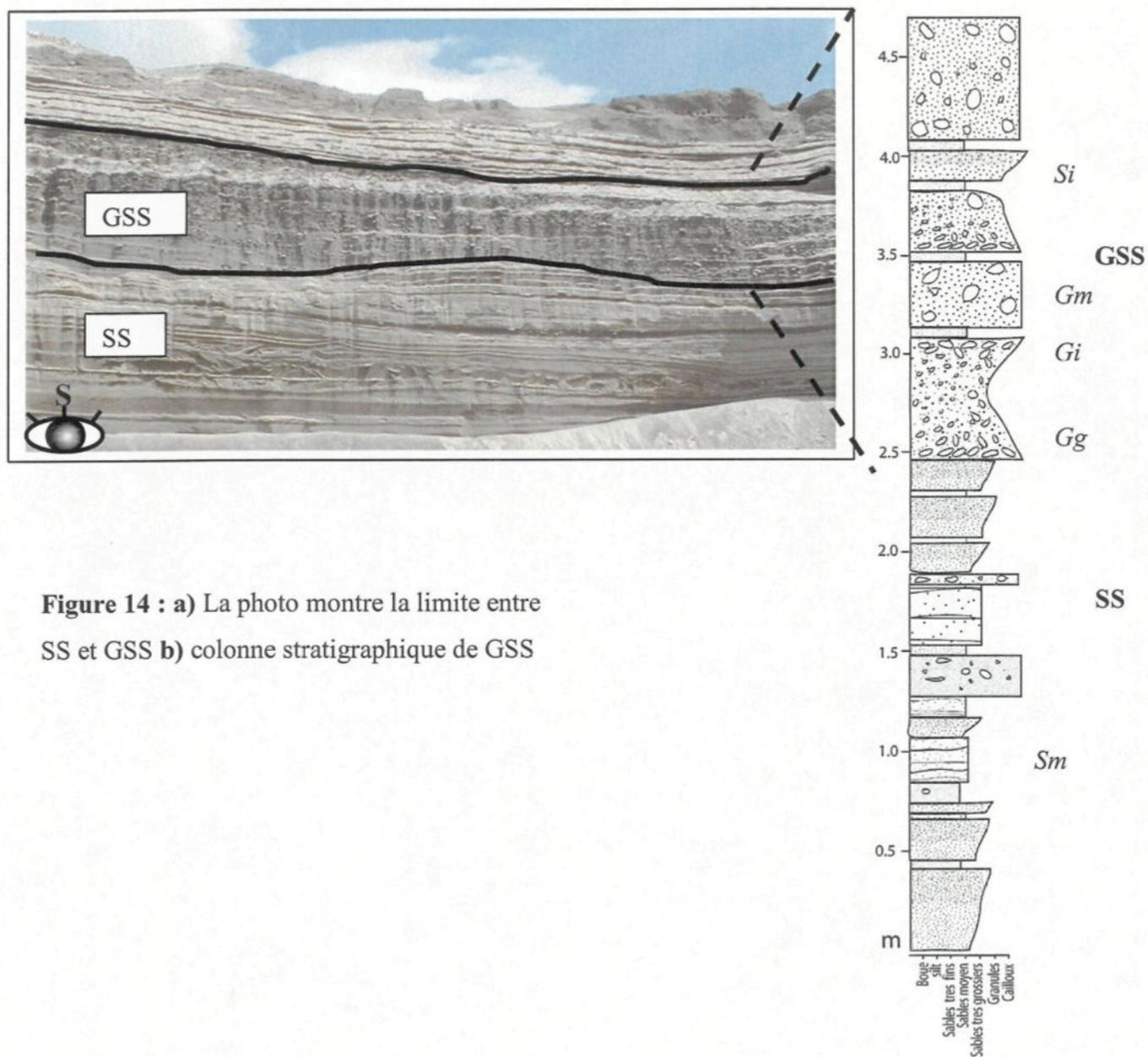


Figure 14 : a) La photo montre la limite entre SS et GSS b) colonne stratigraphique de GSS

Assemblage graveleux GB

Description

Cet élément associe les faciès Gm, Gg, Gi et Sh. Les faciès graveleux à l'intérieur de chaque lit montrent des variations latérales graduelles de faciès. Ils passent sur à peine quelques décimètres d'un faciès Gm à un faciès Gi ou Gg. Les lits montrent une épaisseur qui varie entre 10 et 30 cm (fig. 15). Cet assemblage s'étend sur une dizaine de mètres de longueur et affleure verticalement sur environ 2 m. Cette association montre généralement une forme en feuillet mais aussi occasionnellement une géométrie lenticulaire avec une base convexe. Les faciès graveleux alternent avec le faciès sable à laminations horizontales peu épais (Sh). Cette association est uniquement retrouvée au niveau du premier palier de la gravière. Elle est séparée latéralement par une discordance de l'association SS (fig 16a).

Interprétation

Cette association est typique du milieu fluvial. Sa position à la base de l'empilement et la présence d'une discordance d'érosion sommitale qui la sépare des autres assemblages fait en sorte qu'il ne peut s'insérer avec ceux d'un modèle de construction d'un delta subaqueux. Les faciès sableux reflèteraient les périodes d'étiage ou de décrue, alors que les faciès graveleux se déposeraient lors des périodes de grandes crues. L'imbrication observée dans les dépôts graveleux; ainsi que les structures de charge de fond; indiquent une mise en place dans un contexte en traction. Les changements latéraux observés sur quelques mètres seulement sont peut-être dus à la géométrie interne des barres de graviers et de sables présents. L'hétérogénéité des faciès et de leur structure est

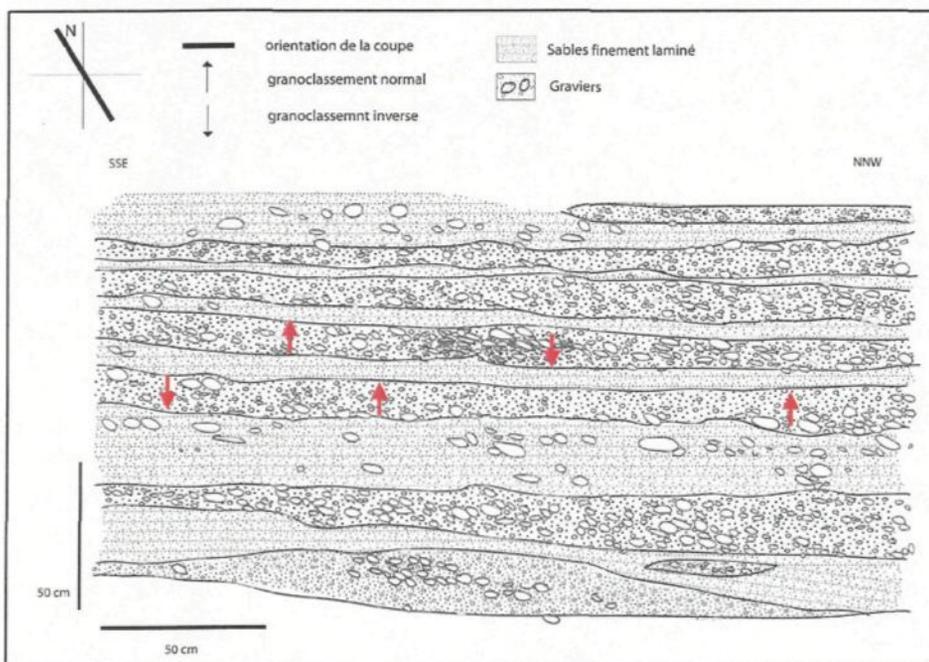
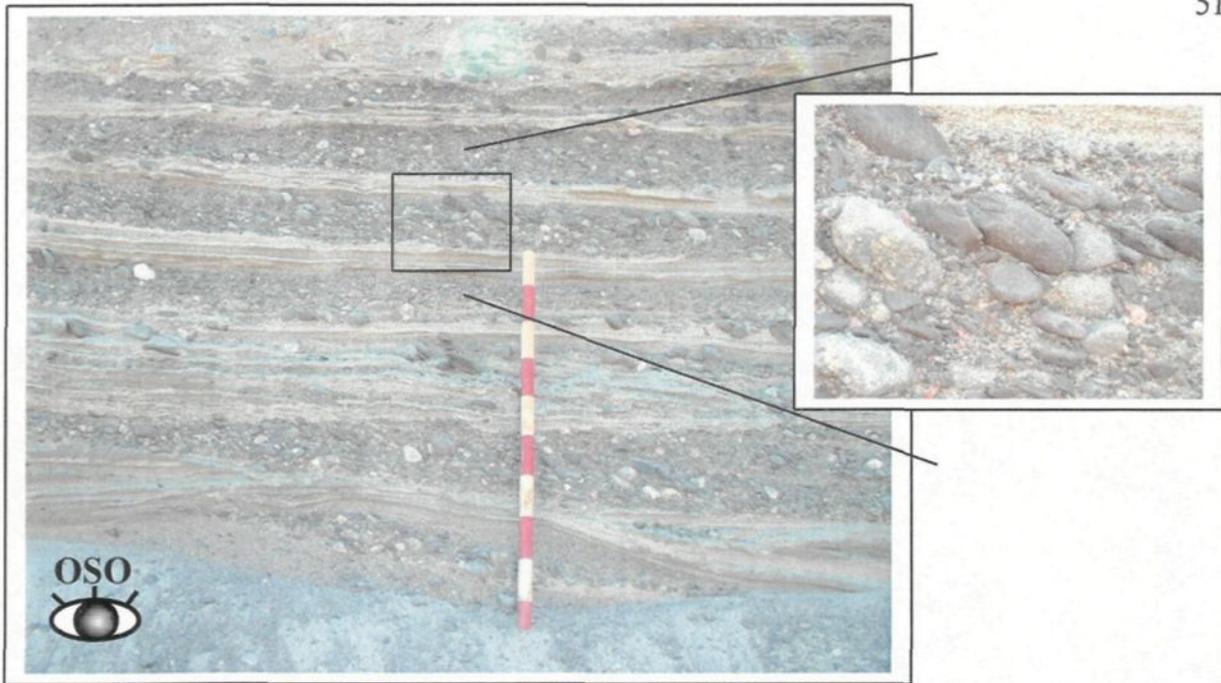


Figure 15 : La photographie montre l'alternance des faciès graveleux Gm, Gg et Gi avec les sables Sh à cailloux surdimensionnés formant l'association GB. Noter les contacts érosifs entre les faciès graveleux et sableux. La portion agrandie montre le faciès Gi avec une imbrication du type a(p) a(i) et qui donne une direction d'écoulement vers le SSE. Sur le croquis on observe les variations latérales des faciès graveleux

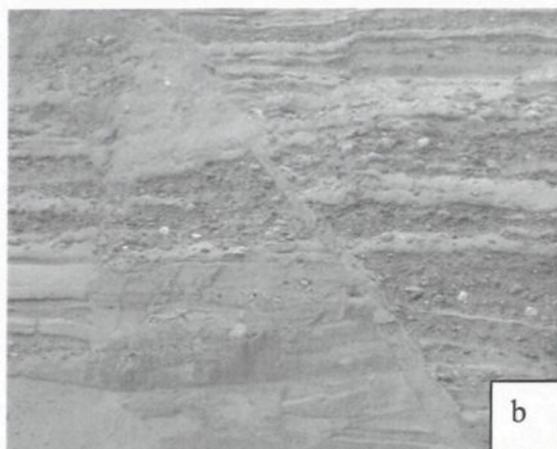
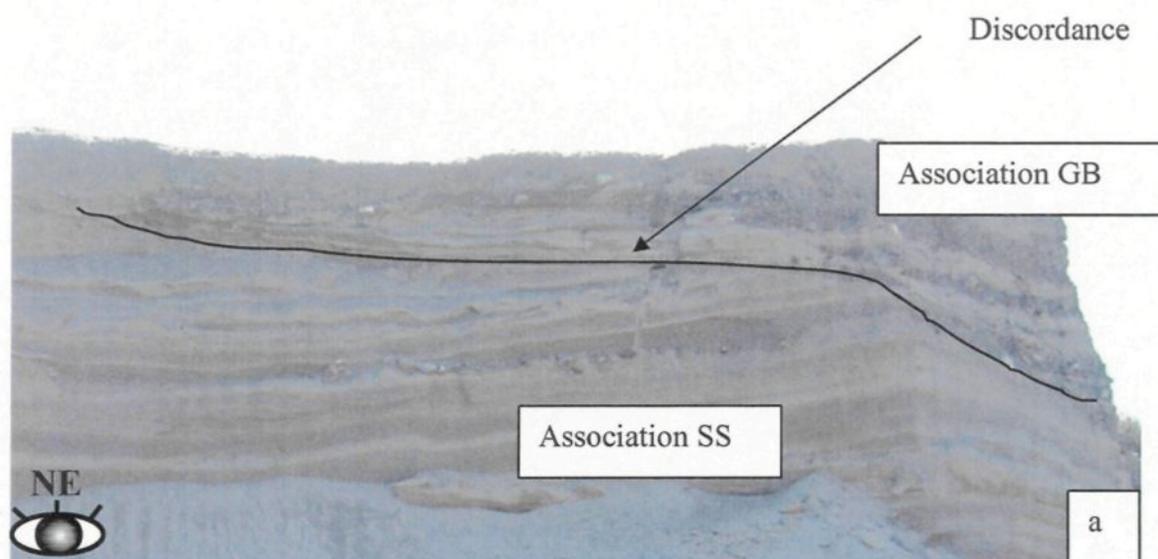


Figure 16. a) Discordance séparant l'association GB de SS. b) une des nombreuses failles au niveau de l'association GB

produit soit par un mauvais mélange durant le transport, soit par une exclusion non uniforme du matériel fin associé à une incorporation localisée de l'eau et par l'évacuation des particules fines par l'échappement des fluides interstitielles (Sohn, 2000). Elle représenterait aussi des parties différentes d'une même barre où dominant localement des mécanismes différents.

Assemblage déformé GSD

Description

Cet assemblage est coincé à l'intérieur de SS. Il est composé des faciès Gd, Sg, Si et Sm. Cette association n'est reconnue qu'une seule fois dans la gravière et ne s'étend que sur quelques mètres seulement (fig 6). De nombreuses failles sont reconnues dans cet assemblage.

Interprétation

Le faible pendage apparent mesuré dans SS suggère un glissement qui aurait pu être déclenché par divers mécanismes, entre autres, les tremblements de terre qui sont des phénomènes connus dans la région, ou simplement par surcharge sédimentaire sur la pente due à la fonte de nombreux petits blocs de glace piégés plus précocement avec les sédiments.

3.4. Géométrie et architecture du delta

Les différents assemblages reconnus ainsi que les faciès qui les constituent ont été

mis en place principalement par des mécanismes (écoulement hyperconcentré bipartite, courant de turbidité, etc.) qui sont observées en milieux subaqueux.

L'architecture observée dans la gravière de Métabetchouan laisse apparaître trois segments importants dont la juxtaposition et la morphologie en cône fait penser à un delta (fig. 17). Les travaux effectués précédemment par LaSalle et Tremblay (1978) décrivent également cette architecture qu'ils définissent comme étant celle d'un petit delta proglaciaire qui se serait mis en place en marge du dernier front de recul de la glace.

L'inventaire des faciès fait au niveau de cette gravière, de même que l'identification des processus impliqués, ainsi que la morphologie et l'architecture de ces dépôts, indiquent que cette architecture correspond bien à un delta ou plus exactement à une partie d'un grand delta qui couvre le camp musical de Métabetchouan. La gravière étudiée s'étend sur environ une centaine de mètres carrés. Les dépôts frontaux montrent une pente relativement très inclinée, constituée principalement par des dépôts grossiers qui surmontent des dépôts de bas de pente plus fins et horizontaux. La nature des faciès et association de faciès ainsi que leur géométrie nous ont permis d'identifier trois segments de ce delta :

3.4.1. Dépôts prodeltaïques

Cette unité montre une épaisseur totale d'environ 12 mètres. Elle est formée essentiellement par l'empilement des feuillets de sable de l'association SS. Localement, on

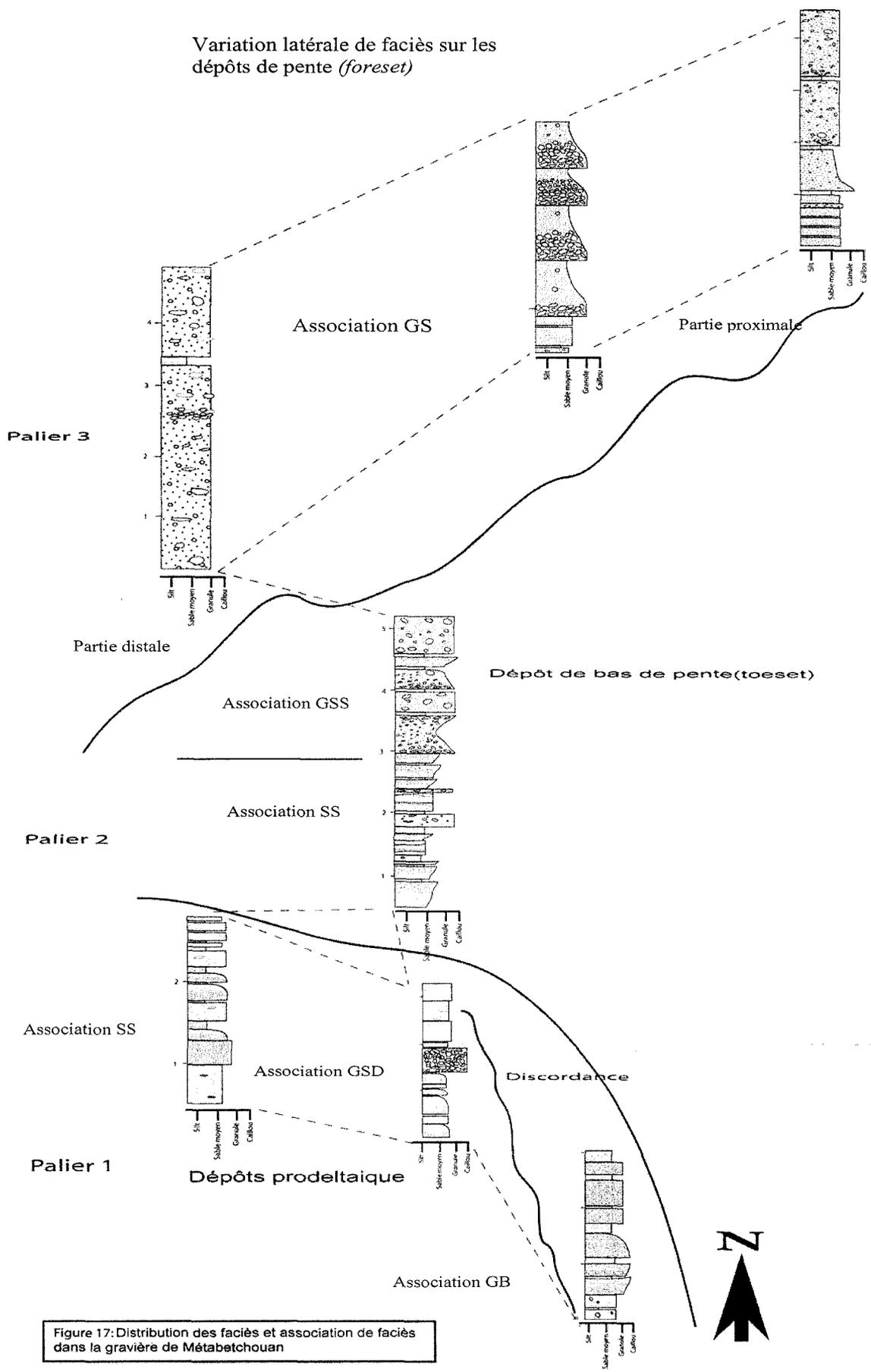


Figure 17: Distribution des faciès et association de faciès dans la gravière de Métabetchouan

y observe une lentille graveleuse mise en place par glissement le long de la pente et qui correspond à l'association de faciès GSD. La mise en place des feuillets de sables SS est probablement la conséquence de l'extension des processus opérant sur la pente et qui génèrent des courants de turbidité qui déposent les particules les plus fines par suspension dans cet environnement. Il est à noter la nature plus au moins grossière de ces dépôts prodeltaïque et la quasi-absence du matériel boueux qu'on y observe généralement. Cela est sans doute la conséquence de la nature grossière des apports sédimentaires, associée à un écoulement très turbulent qui dépose plus loin les matériaux fins.

3.4.2. Dépôts de bas de pente (toeset)

Cette unité est formée par une interdigitation entre les associations de faciès GSS, SS et GS. En effet, on y observe un empilement des assemblages GSS et SS qui sont fins avec les dépôts de l'assemblage GS qui est exclusivement graveleux. Les contacts entre ces assemblages de faciès sont en partie érosifs. Cette unité est souvent rattachée aux dépôts du front de delta, mais, compte tenu de son épaisseur relativement importante (≈ 10 m), on en a fait une unité distincte des deux autres. Elle montre un pendage apparent très faible d'environ 10° . L'inclinaison de cette unité ainsi que l'empilement des assemblages de faciès indiquent qu'il pourrait s'agir des dépôts de transition de bas de pente (*Toeset*).

3.4.3. Dépôt du front de delta (dépôt de pente)

On observe au niveau du troisième palier de la gravière deux jeux de couches inclinées qui montrent des pendages et des directions différentes. Cela indique la présence

de deux systèmes nourriciers qui font croître séparément deux lobes deltaïques.

Le premier jeu de couches inclinées montre une épaisseur de 30 m, très fortement inclinée ($>30^\circ$) avec une direction N025. Il est constitué exclusivement par la juxtaposition de feuillets graveleux (assemblage GS). Les imbrications reconnues au niveau des faciès de GS indiquent que ces dépôts sont parallèles au sens de l'écoulement. Ce qui a permis de mettre en évidence les changements de faciès le long de la pente et de proposer un modèle pour la mise en place de chacun des faciès.

Le second jeu de couches inclinées est approximativement de la même épaisseur, avec une inclinaison entre 25° et 30° et une direction N350. Ce deuxième jeu de couches inclinées se présente d'une manière perpendiculaire au sens d'écoulement et permet donc d'une part, d'identifier l'extension du lobe deltaïque qui s'étale sur environ 60 m et d'autre part de constater une uniformité latérale des faciès. Ce qui indique la présence d'un seul conduit nourricier pour ce lobe.

3.5. Modèle de mise en place

On n'observe aucune structure et aucun faciès indicateur de l'influence de marée ou de vagues. La présence de nombreux faciès dans les diverses parties de ce delta s'explique principalement par le changement et l'évolution d'une coulée initiale à très forte charge (hyperconcentrée) et a forte capacité (cailloux et blocs) le long d'une pente très forte associés à des taux d'apports relativement élevés durant les périodes de fonte de la glace. Plusieurs petits deltas, probablement du même genre parsèment la région (LaSalle et Tremblay, 1978).

Est ce qu'il s'agit de chenaux sub-glaciaires qui ont alimenté ce delta, comme il a été suggéré dans la littérature relative à cette région ? Cela semble peu probable car ce genre de dépôts est caractérisé par la présence de till remanié dans les dépôts de pente (Lonne, 1995), ainsi que des dépôts de délestage dans les dépôts fins prodeltaïques (Lonne, 1995). L'absence d'une plaine deltaïque écarte aussi la possibilité d'un delta alimenté par un système de rivière en tresse (*Braid delta*). En effet, aux alentours il ne se trouve aucun plateau qui soit supérieur, ou à la même élévation que le palier supérieur de la gravière de Métabetchouan. Ce delta se trouve être bordé par une dépression occupée maintenant par le lac Saint-Jean et qui le fut précédemment par un glacier lors de son retrait de la région. Il ne reste donc pas d'autre alternative que celle d'un écoulement supra glaciaire. Les sédiments transportés par le glacier, se retrouvaient être ponctuellement déversés à divers endroits proches les uns des autres via des fractures du front de glace, formant ainsi des petits lobes deltaïques. Ce modèle de construction « *Hochsander* » proposé par Kjaer et al, (2004) est caractéristique des zones où les glaciers restent immobiles durant une longue période comme ce fut le cas lors de l'étape 5 du retrait de l'inlandsis de la région, qu'on appelle communément la halte de Métabetchouan. Durant cette même période, on enregistre l'envahissement progressif de la région par la mer Laflamme. Ce type de modèle implique un climat humide avec des taux de précipitation très importants pour engendrer des volumes importants de sédiments. Kjaer et al, (2004) décrivent des « *hochsander* » avec une inclinaison de la pente qui est de l'ordre de 2 à 6°, dans notre cas nous avons une pente très inclinée qui serait possiblement due à une épaisseur de la marge glaciaire plus importante et avec une partie frontale très inclinée (fig. 18).

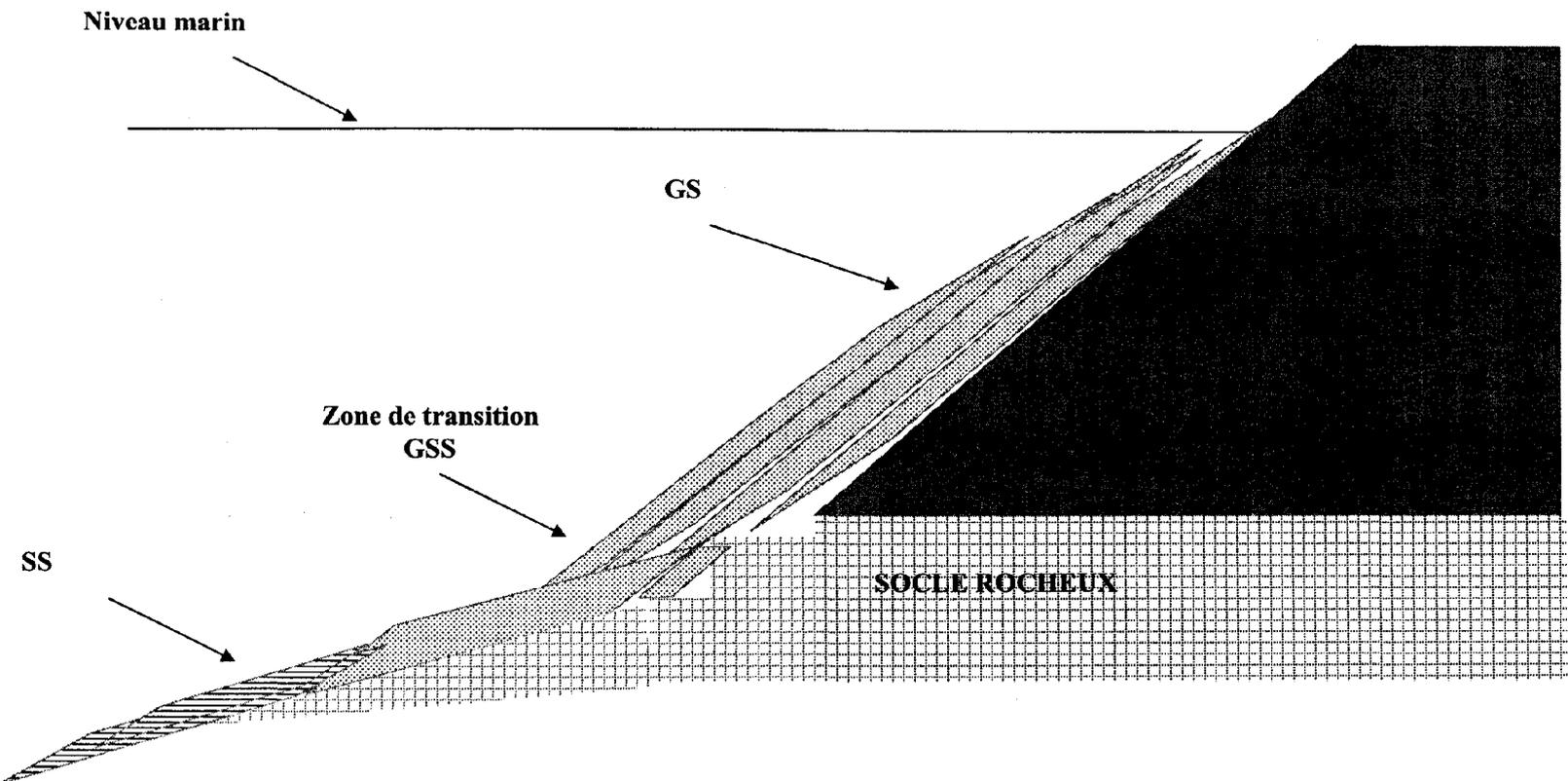


Figure 18 : Delta supra glaciaire « hochsander fan » (modifiée de Kjaer et al, 2004)

Chapitre 4

Analyse sédimentologique des dépôts des gravières d'Hébertville et de Larouche

4.1. Gravière d'Hébertville

4.1.1. Localisation

La gravière d'Hébertville est située à proximité de la route 169 à la sortie de la ville d'Hébertville en direction de Québec et voisine du Lac Bouchette. Cette gravière est très vaste et montre plusieurs paliers, ainsi que des sites exploités dans le passé et d'autres qui le sont présentement. Deux sites ont été choisis afin de faire l'objet de cette étude (fig. 19). Le choix de ces deux sites est dicté d'une part par leur position relative l'une par rapport à l'autre (élevations différentes qui permet d'étudier l'évolution dans le temps de ces dépôts) et d'une autre, par la fraîcheur des murs en exploitation.

4.1.2. Site 1

Ce site constitue l'endroit le plus bas des deux sites choisis. C'est un mur d'orientation nord-est / sud-ouest se trouvant à une élévation approximative de 150 m.

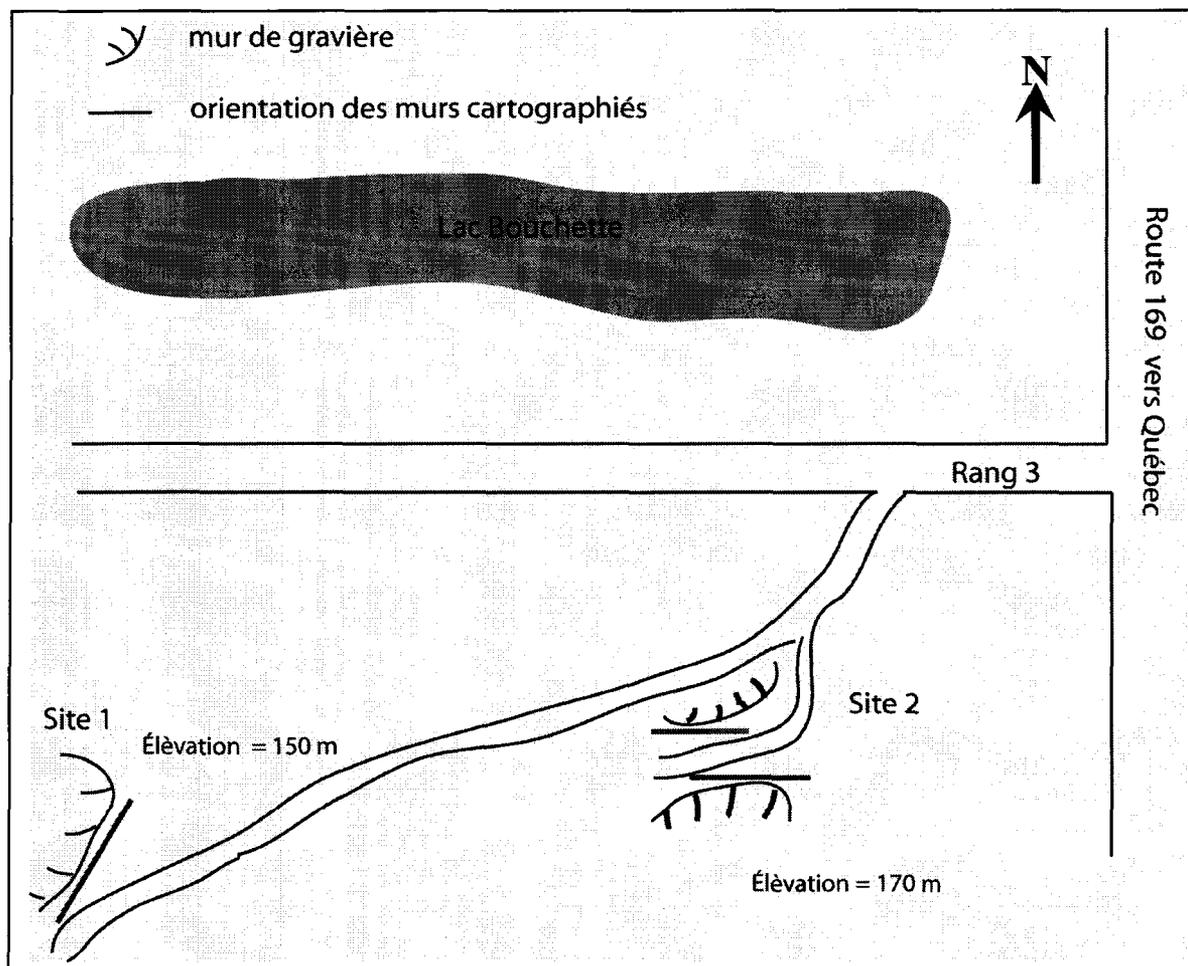


Figure 19 : Localisation des sites étudiés de la gravière d'Hébertville (pas à l'échelle)

4.1.2.1. Description et interprétation des faciès

Dans la section suivante, les différents faciès inventoriés dans la carrière d'Hébertville sont décrits et interprétés de la même manière que dans le chapitre précédent, sur la base de la classification de Miall (1978) des dépôts fluviatiles. Les faciès graveleux ont été subdivisés en sous classes granulométriques (Blocs, Galets, Cailloux et Granules). Le tableau 9 résume les faciès reconnus ainsi que leur interprétation.

Faciès à Gravier (Gm)

Ce faciès est représenté par différentes granulométries qui reflètent les fluctuations de l'énergie de dépôt. Les fragments peuvent atteindre la dimension des blocs. Ces derniers sont bien arrondis et montrent des dimensions supérieures à 30 cm. Exceptionnellement, ils atteignent 90 cm de diamètre. Les éléments sont jointifs et montrent très peu de matrice (fig. 20). L'épaisseur de ce faciès varie de 0.3 à 1.5 mètres. Le contact inférieur est érosif alors que le passage vers le faciès sus-jacent semble être graduel. La composition des blocs est formée essentiellement ($\approx 90\%$) par les roches du socle grenvillien, alors que les calcaires ne sont représentés que dans une très faible proportion ($< 10\%$). La forme bien arrondie des blocs ne permet pas de faire ressortir le type d'imbrication.

Nous avons également rencontré un faciès Gm montrant une dimension des fragments qui correspond à celle des cailloux. Ce faciès affleure sur environ 1.5 m. Il montre des éléments jointifs, subanguleux à subarrondis. Leur dimension varie entre 8 et 15 mm et leur forme est souvent aplatie. Des clastes de 3 à 10 cm flottent à l'intérieur de ce faciès (fig.

21). Des plans de stratifications diffuses sont visibles à divers endroits car soulignés par un alignement de fragments de même taille. L'analyse granulométrique de la matrice montre un mauvais tri ($\sigma = 1.15$), 45 % de granules et 10 % de sables très grossiers (tableau 10).

Interprétation

La présence de très peu de matrice dans le faciès Gm constitué par des fragments de la dimension des blocs indiquent que ces dépôts ont été mis en place par des coulées de charge de fond de haute énergie durant des périodes de crues. Bien que les aires minces puissent représenter un résidu de fond (fig.23), la majorité du faciès Gm correspond à des dépôts de barres longitudinales. Ce faciès est le résultat d'une sédimentation rapide d'une coulée hyperconcentrée qui ne permet pas le développement de structures sédimentaires.

Faciès à galet chaotique (Gc¹)

Ce faciès montre un matériel assez hétérogène constitué essentiellement par des éléments de dimension qui varie entre 2 et 20 cm. Une matrice sablonneuse importante (50%) est présente. Les fragments ne présentent pas d'orientation préférentielle. Ce faciès montre une géométrie assez particulière. Sur le mur (2 D), on observe une structure en effondrement ou d'affaissement de forme ovoïde (fig. 22).

¹ Défini par l'auteur

Code de faciès	Description	Interprétation
Gm	blocs ou cailloux massifs, jointifs	(1) barres longitudinales (2) résidu de fond
Gc	galets chaotiques	dépôt antérieur modifié par la fonte de glace enfouie
Go ²	galets à fabrique ouverte	courant turbulent de haute vitesse
Gp	cailloux ou granules à stratifications entrecroisées planaires	barres longitudinales

Tableau 9 : Faciès de Miall (1978) du site 1 de la gravière d'Hébertville et leur interprétation.

² Défini par Aitken, 1995

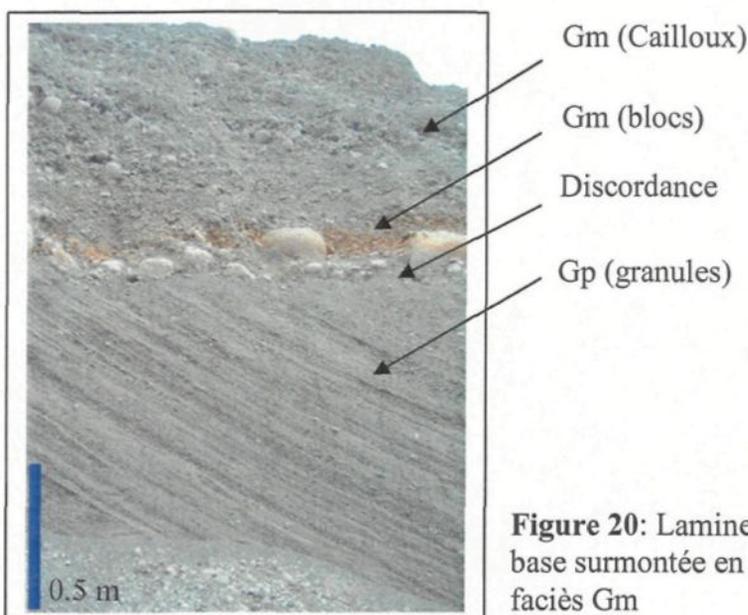


Figure 20: Lamines du faciès Gp à la base surmontée en discordance par le faciès Gm



Figure 21: Faciès Gm avec cailloux surdimensionnés (pelle 0.8 m)



Figure 22: Faciès Gc formé probablement à la suite de la fonte d'un bloc de glace.



Interprétation

Le faciès à cailloux chaotiques ressemble aux faciès reconnus par Tremblay (1971) et Dionne (1973) dans plusieurs endroits de la région et qui ont été interprétés comme étant le résultat de la fonte tardive de glace restée enfouie.

Faciès à fabrique ouverte (Go)

Il se présente sous forme de lentilles à l'intérieur des faciès Gp et Gm. La dimension de ces lentilles est de 1 m de longueur et 50 cm d'épaisseur. Les éléments qui les constituent ont des dimensions qui varient de 4 à 15 cm. Ils sont souvent de nature calcaire. Ce faciès montre des contacts nets avec le faciès qui les englobe.

Interprétation

Le faciès à fabrique ouverte est largement documenté par certains auteurs (Martini 1990; Sohn et al, 1997; Dickie et Hein, 1995) dans les dépôts de pente deltaïque. De nombreuses hypothèses sont émises quant au processus de mise en place de ce faciès. Dans la première partie de ce mémoire traitant des dépôts deltaïques de Métabetchouan, nous avons exposé ces différentes hypothèses qui restent valides aussi dans un contexte fluviatile.

Faciès à gravier à stratification entrecroisée planaire (Gp)

L'épaisseur de ce faciès varie de 1 à 2 mètres (fig. 20). Il se présente sous forme d'une alternance de rubans dont les épaisseurs varient de 3 à 5 cm. La dimension moyenne

des clastes varie de 2 à 6 cm. Les éléments sont jointifs, subanguleux à subarrondis et montrent un tri modéré (Tableau 10). Des cailloux isolés surdimensionnés de 5 à 10 cm sont également présents à l'intérieur de ce faciès.

Interprétation des faciès Gp

Les stratifications entrecroisées sont des structures typiques résultant de la traction en régime d'écoulement inférieur. La différence de la granulométrie des deux rubans est liée à la fluctuation du courant. Le tri modéré, la forme subanguleuse et l'aspect jointif des éléments indiquent un transport court par traction.

4.1.2.2. Assemblage de faciès

Description de l'assemblage GB

L'association de faciès GB constitue une barre graveleuse qui englobe l'ensemble des faciès décrits précédemment. La dimension de cette barre est d'environ 2 m d'épaisseur et s'étend sur 20 mètres (fig. 23). Cet assemblage montre une singularité par rapport à l'assemblage GB de Miall (1985) par la présence des faciès Gc et Go. Le contact vertical entre les différents faciès est souvent très bien marqué, notamment entre le faciès Gm et Gp. Le faciès Go est en revanche présent sous forme de lentille dans le faciès Gm qui latéralement passe au faciès Gp. Le faciès Gc est un faciès particulier localisé sur un seul affleurement et montre des contacts latéraux net alors que verticalement il n'est surmonté par aucun autre faciès.

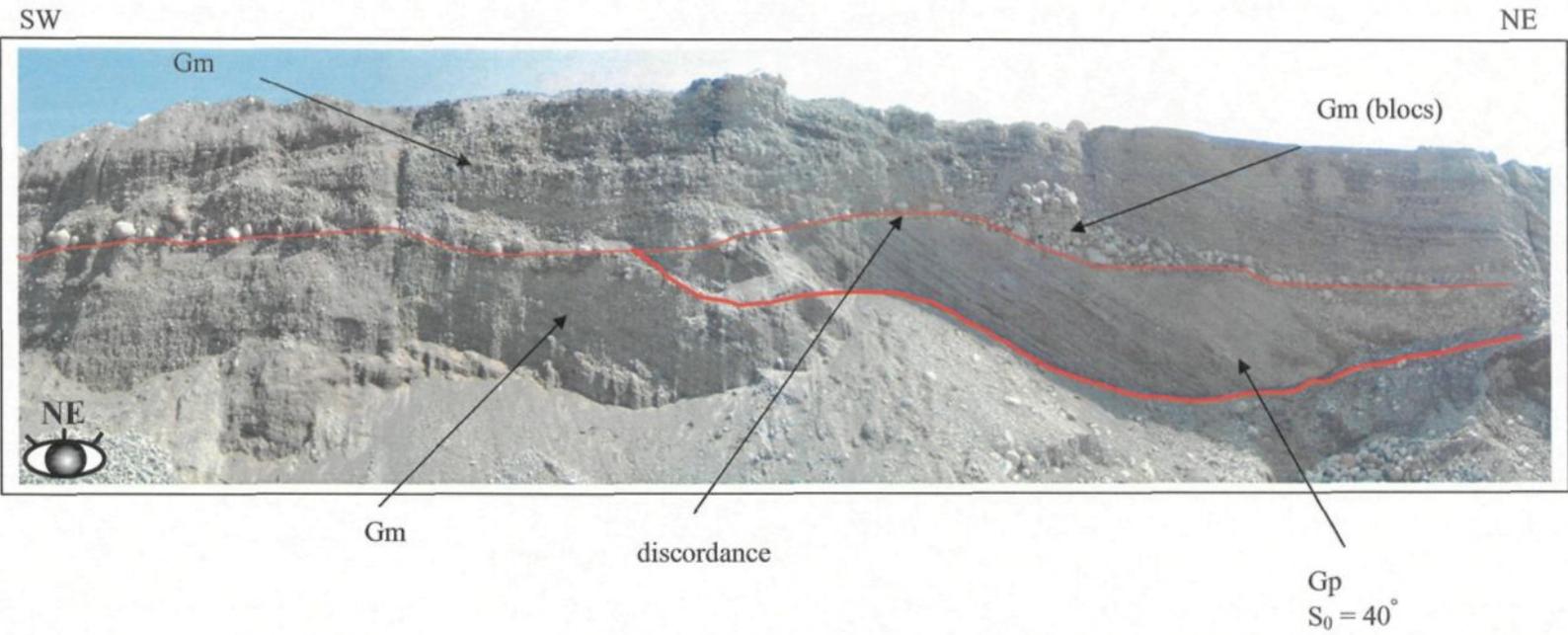


Figure 23: Coupe montrant l'architecture interne d'une barre graveleuse (GB) avec au cœur le faciès (Gm) relativement massif qui passe au faciès de flanc (Gp) laminé. À noter le faciès Gm à blocs qui constitue un résidu de fond qui marque la base érosive de la barre suivante verticalement.

Interprétation

La diversité des faciès dans cet élément architectural est le résultat des changements dans les conditions de dépôt. Ainsi le faciès Gm est le résultat d'une sédimentation rapide pendant une période de crue. Le passage latéral du faciès Gm au faciès Gp est la conséquence d'une migration vers l'aval ou latéralement vers la bordure de la barre où la sédimentation s'effectue alors principalement sur une surface inclinée, par coulée de grains. Le faciès Gp s'y dépose plus facilement en période de décrue. Le faciès Gm à blocs qui vient se mettre en place au-dessus correspond à un nouvel épisode de décharge importante qui dépose un résidu de fond très grossier. L'ensemble est à nouveau surmonté par le faciès Gm qui correspond de nouveau à un épisode de crue et donc à la mise en place d'une seconde barre graveleuse.

4.1.3. Site 2

Les murs étudiés sur ce site se situent à un palier plus élevé par rapport au site précédent. Deux murs relativement parallèles, d'orientation est-ouest et séparés par une route ont été étudiés. Ils sont tous les deux caractérisés par une homogénéité des faciès. En effet, on n'y reconnaît que deux faciès majeurs plus un faciès d'extension très restreinte.

4.1.3.1. Description et interprétation des faciès

Faciès de sables à stratifications entrecroisées en auge (St)

Ce faciès consiste en une succession de *sets* d'environ 0.5 à 0.9 m d'épaisseur. L'ensemble de ces *sets* forme un *coset* qui affleure sur environ une dizaine de mètres de

hauteur. Dans certains *sets* on observe parfois un granoclassement normal ainsi que la présence de quelques cailloux isolés de dimension entre 0.5 et 4 cm ($\approx 5\%$). L'analyse granulométrique montre des sables modérément bien triés avec 40 % de sables grossiers et 45 % de sables moyens (Tableau 10). Ce faciès constitue l'ensemble du mur d'orientation E-W à droite de la route en sortant de la gravière (fig. 24)

Interprétation

Miall (1978) interprète ce faciès comme étant le produit de migration de dunes tridimensionnelle. La sédimentation se fait par traction en régime d'écoulement inférieur.

Faciès Gm

Ce faciès montre une épaisseur d'environ 5 mètres. Il est présent sur le mur à gauche de la route en sortant de la gravière (fig. 25). Il renferme des fragments de dimension entre 2 et 10 cm, de forme subarrondie, aplatie avec un axe long (a) parallèle à l'écoulement qui se fait vers le sud. La matrice est grossière et hétérogène, 45 % de sables grossiers à très grossiers, 12 % de sables moyens et 2 % de sables fins à très fins.

Interprétation

Les dépôts graveleux massifs sont le résultat d'un dépôt rapide qui ne permet pas le développement de structures particulières. Ils représentent ici, de nouveau, des dépôts de barres graveleuses longitudinales selon la classification de Miall, (1978)



Figure 24: Sables à stratifications entrecroisées en auges St. Les *sets* montrent des épaisseurs de 0,5 m, l'ensemble est d'environ 10 m de haut.

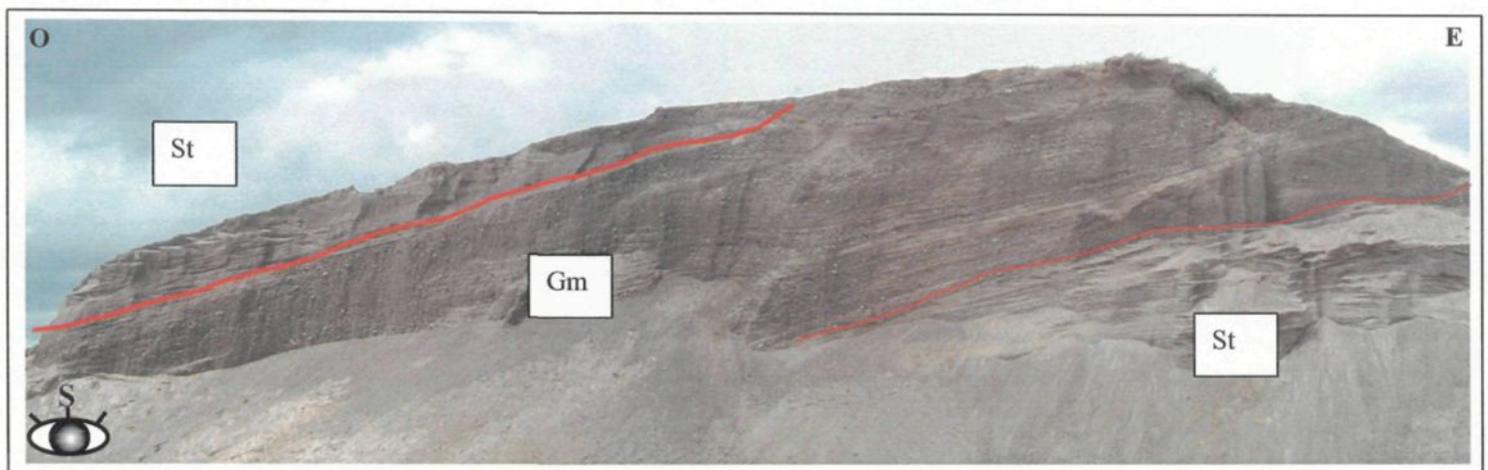


Figure 25: Faciès Gm pincé entre deux faciès St

Faciès Gp

Ce faciès montre une extension très réduite. Il est localisé dans le mur droit de la gravière en association avec le faciès St. Le contact entre ces deux faciès est net. Il montre une alternance de fines lamines de 3 à 5 cm d'épaisseur dont la granulométrie varie des sables grossiers à des granules. L'analyse granulométrique (Tableau 10) montre une dimension moyenne correspondant à un sable très grossier avec un tri modéré. Les granules sont de forme subanguleuse à subarrondie et ils sont jointifs.

Interprétation

Les faciès à stratifications entrecroisées sont le résultat d'un dépôt par traction et sont interprétés comme le faciès Gp de la section précédente.

4.1.3.2. Assemblage de faciès

Les faciès reconnus dans cette gravière ont été regroupés en assemblage d'après les travaux de Miall (1985).

Assemblage d'accrétion en aval (DA)

Description

Cet assemblage est caractérisé par une homogénéité de faciès. En effet, il est presque exclusivement formé par le faciès St qui constitue environ 90 % d'un des murs de ce deuxième site. Il est associé localement au faciès Gp. Cet assemblage montre une épaisseur d'environ une dizaine de mètres et s'étend latéralement sur environ 40 m.

Faciès	Mz	σ	Sk	K _G
Gm* Site1	-1.78	1.15	-0.24	1.31
Gp	-0.06	0.97	0.24	1.17
St	1.05	0.66	-0.067	1.03
Gm* site2	-0.56	2.46	-0.15	1.63

* Matrice

Tableau 10: Résultats des analyses granulométriques sur quelques faciès des sites 1 et 2 de la gravière d'Hébertville (Annexe 2)

Interprétation

Les faciès reconnus dans cet assemblage sont des faciès mis en place par traction. Ce mécanisme étant le mode de transport dominant dans les dépôts fluviatiles. Selon Miall (1985), cette association correspond aux dunes transversales (DA). Celles-ci se mettent en place dans les parties aval des distributaires des réseaux de rivières tressées.

Assemblage de barre graveleuse (GB)

Description

Cet assemblage GB est formé uniquement du faciès Gm et se retrouve coincé entre deux dépôts de dunes (DA) (fig.25). Épais d'environ une dizaine de mètres il s'étend sur environ 30 mètres.

Interprétation

Cet assemblage correspond à un dépôt de barres graveleuses, selon l'interprétation de Miall (1985) des dépôts fluviatiles. Le pincement de celui-ci entre l'assemblage DA suggère une fluctuation rapide de l'énergie de l'écoulement qui a probablement engendré l'installation d'une barre graveleuse. Un retour à des conditions plus calmes a de nouveau permis la mise en place de la barre sablonneuse transversale sus-jacente (DA).

4.1.4. Mise en place des dépôts de la gravière d'Hébertville : environnement sédimentaire des assemblages

Seule une faible partie de la gravière a été cartographiée. À partir de cette ébauche, on peut tout de même déduire un certain nombre de points concernant le contexte de la mise en place des dépôts. Dans cette gravière, on a identifié uniquement deux assemblages géomorphologiques GB et DA. Tous deux sont très communs dans les plaines alluviales (Miall, 1985). En d'autres termes, ces associations peuvent être aussi très communes dans les plaines d'épandages glaciaires où il y a mise en place d'un système de rivières en tresses. Les barres graveleuses se mettent en place dans les parties proximales des distributaires d'où leur granulométrie plus grossière alors que l'assemblage DA se met en place dans les parties avales et possède par conséquent un meilleur tri. Dans cette gravière, étant donné que les sites choisis sont à des niveaux topographiques différents, cet agencement pourrait correspondre à un changement dans les conditions de dépôts dans le temps. Dans les faits on se trouve donc dans la même partie de la rivière, où on passe d'un régime à débit fort et irrégulier à un régime à débit plus faible et plus constant.

L'homogénéité et le manque de diversité des faciès présents sur ce site indiquent des conditions de mise en place ainsi qu'un régime d'écoulement stable et constant. Le faciès Gc confirme la présence de blocs de glace isolés parsemés dans la région durant le recul de la langue de glace. Les dépôts reconnus dans cette gravière se seraient mis en place durant la phase 4 du retrait de la langue de glace.

4.2. Gravière de Larouche

4.2.1. Localisation

Cette gravière est située à proximité de l'intersection de la route Isidore et du rang St-André au bord du lac Beau Portage (fig. 26). L'exploitation se fait sur deux paliers. Le premier montre une plus grande extension latérale. Les travaux de cartographie se sont limités à un mur partiellement exploité d'environ 100 m de largeur de direction NW-SE, se trouvant à une élévation approximative de 170 m. Cela nous a permis de faire l'inventaire des faciès et d'identifier leur agencement. Le second palier, constitué essentiellement de faciès sablonneux, a été également sommairement étudié.

4.2.2. Description et interprétation des faciès

La granulométrie, les structures et la texture des faciès nous ont permis de mettre en évidence sept faciès. Les faciès répertoriés dans cette gravière sont interprétés en utilisant le tableau de classification de Miall (1978). Le tableau 11 résume les faciès reconnus à Larouche ainsi que leur interprétation.

Faciès à gravier (Gm)

Ce faciès montre une grande extension latérale le long du mur étudié et des variations d'épaisseur importantes allant de 0.6 à 2 m. Les contacts supérieur et inférieur de ce faciès avec les autres sont nets. Ce faciès est présent sous deux formes. Il montre soit des fragments de la dimension des galets (20 cm), soit de la dimension des cailloux (0.5 et 1.5 cm). Sous les deux formes, ce faciès renferme une matrice grossière et hétérogène de sable.

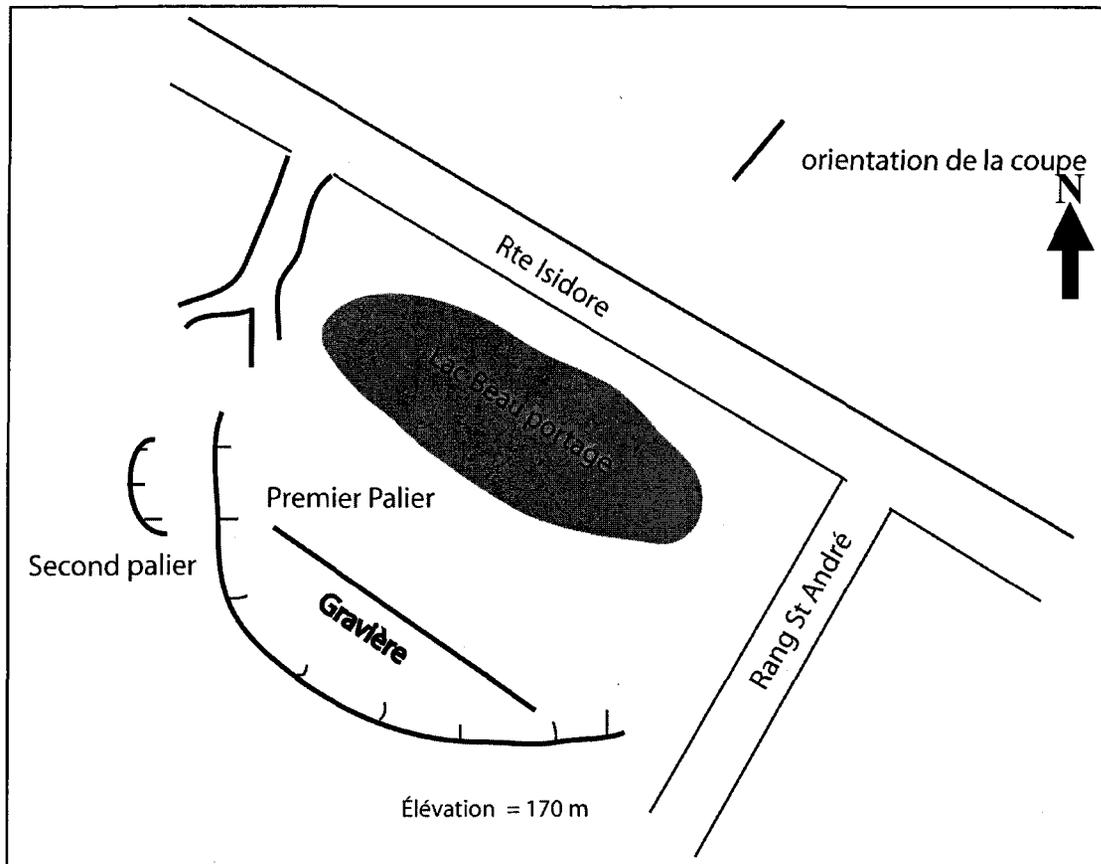


Figure 26: Schéma de localisation de la gravière de Larouche (pas à l'échelle)

Code de faciès	description	Interprétation	Processus
Gm	Galets et cailloux massifs, jointifs	(1) barres longitudinales, (2) résidu de fond	Traction
Gp	granules à stratifications entrecroisées planaires	barres longitudinales	Traction
Gt	cailloux à stratifications entrecroisées en auge	(1) dunes (2) remplissage de chenaux	Traction
Sm	sables massifs	écoulement de masse	Écoulement hyperconcentré
Sh	sable à laminations horizontales	régime d'écoulement supérieur	Traction
Sr	sables à rides	rides (régime d'écoulement inférieur)	Traction
Fm	silts/argiles massives	remplissage de chenaux abandonnés	Suspension

Tableau 11: Les faciès de Miall (1978) répertoriés à Larouche et leur interprétation.

Les galets et les cailloux sont jointifs et de forme sub à bien arrondie (fig.27)

Interprétation du faciès Gm

L'aspect jointif du faciès Gm indique un écoulement assez turbulent pour maintenir en suspension les particules les plus fines. Cela exclut donc les coulées de débris et suggère des écoulements hyperconcentrés avec une sédimentation rapide (Maizels, 1993). L'épaisseur et l'extension de ces dépôts suggèrent qu'ils forment des barres longitudinales.

Faciès Gp

Ce faciès est largement présent sur le mur de la gravière. Il consiste en une alternance de strates de 2 à 8 cm d'épaisseur de matériel graveleux grossier et de matériel plus fin (fig. 28). Ces strates montrent divers types de granoclassement, mais elles sont le plus souvent massives. Les fragments sont jointifs et subanguleux. L'analyse granulométrique effectuée sur ces lits montre un bon tri (tableau 12).

Interprétation du faciès Gp

La présence de fragments subanguleux à subarrondis jointifs indique un transport court et une mise en place par traction. L'alternance de lamines grossières avec d'autres plus fines est le résultat soit du choc entre les particules qui résulte en la mise en place des lamines fines à la base et des lamines plus grossières au sommet, soit à des épisodes de crue et d'étiage répétitifs. L'inclinaison importante des lamines suggère des taux de

sédimentation élevés (Lonne, 1995). Le faciès Gp correspond selon Miall (1978) à la migration latérale ou en aval des barres longitudinales.

Faciès Gt

Ce faciès est très peu observé et montre une extension très réduite. Les fragments sont très souvent subanguleux, jointifs et très mal triés. Les *sets* montrent une épaisseur moyenne de 30 cm alors que le *coset* affleure sur juste environ 1.5m. Une direction moyenne d'écoulement vers le sud-est a été établie.

Interprétation

Le faciès Gt est interprété par Miall (1978) comme correspondant à des dépôts de remplissage de petits chenaux ou à la migration de dunes tridimensionnelles. Son mauvais tri observé sur le terrain ainsi que les éléments subanguleux à subarrondis, suggèrent un transport court avec une mise en place par traction.

Faciès de sable massif (Sm)

Ce faciès ne montre pas une grande extension latérale. Il n'est reconnu qu'à l'extrémité sud-ouest du mur de la gravière. C'est un faciès fin ($Mz = 3.2$) très mal trié ($\sigma = 1.6$). Son épaisseur est d'environ 0,6 m.

Interprétation

L'aspect massif est souvent le résultat d'une sédimentation rapide. Ces sables ont été mis en place suite à des écoulements de masse contenant un matériel relativement fin.

Faciès de sables à laminations horizontales (Sh)

Ce faciès n'est présent qu'au sommet du mur de la gravière. Il montre une épaisseur d'environ 4 mètres. C'est un sable moyen avec des grains subanguleux à subarrondis qui montre des laminations centimétriques horizontales.

Interprétation

Les laminations horizontales sont produites en régime d'écoulement supérieur, selon Miall (1978).

Faciès de sable à rides (Sr)

Les sables à rides sont présents uniquement dans le niveau supérieur de la gravière et forment une unité d'environ 5 m d'épaisseur. La nature de ce sable est totalement différente des autres sables du niveau inférieur. Il montre une couleur jaune orangée. L'analyse granulométrique de ce faciès montre qu'il est beaucoup plus fin que les autres sables et beaucoup mieux trié (tableau 12; fig. 29).

Interprétation

Les sables fins reconnus dans le deuxième palier de la gravière de Larouche sont totalement différents des autres sables (couleur, granulométrie). Cela suggère une mise en place postérieure à l'installation de la plaine d'épandage. Des faciès similaires sur le plan granulométriques mais avec des stratifications obliques ont été décrits par LaSalle et Tremblay (1978) dans la région et interprétés comme des dépôts de dunes éoliennes qui proviennent du remaniement des dépôts deltaïques ou de plaines d'épandage.

Faciès fins (Fm)

Un niveau d'environ 50 cm d'épaisseur situé sur la partie sud-est et qui se prolonge sur plusieurs mètres a été observé. Ce niveau semble séparer deux cycles de dépôts des sédiments.

Interprétation

Le Faciès Fm correspond à des dépôts mis en place par suspension lors de la fin d'une période de crue.



Figure 27 : Faciès Gm à fragments de la dimension des blocs, subarrondis et aléatoirement disposés



Figure 28: Faciès Gp

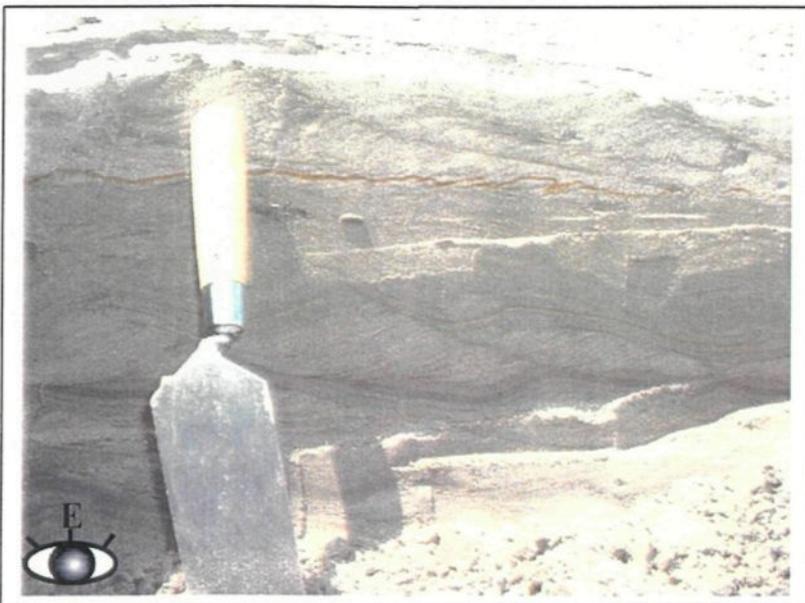


Figure 29: Sable fin à rides du second palier

Code de faciès	Mz	σ	Sk	Kg
Gm ¹	-1.56	1.40	1.38	0.68
Gm ²	-0.46	0.34	7.63	0.59
Gp	-0.21	0.34	4.07	0.40
Sm	3.2	1.60	-0.34	3.98
Sr	3.33	0.63	0.12	3.00

¹ matrice du faciès avec des galets

² matrice du faciès avec des cailloux

Tableau.12 : Récapitulatif des valeurs des différents paramètres statistiques calculés pour quelques faciès reconnus à Larouche (courbes granulométriques en annexe 3)

4.2.3. Description et interprétation des assemblages de faciès

Miall (1985) dans ces travaux sur les dépôts alluviaux a identifié l'ensemble des assemblages de faciès qui peuvent se mettre en place dans ce type d'environnement. Cela facilite donc l'identification des assemblages présents. Si on fait abstraction des sables de la partie supérieure qui semblent former une unité à part, on a identifié trois assemblages, soit :

Assemblage de barres graveleuses (GB)

C'est la macroforme la plus présente dans cette gravière. Elle comprend un ensemble de faciès à gravier et à sable, massifs à stratifiés. Ces faciès se superposent et montrent des contacts nets. La présence d'une seule coupe (fig.30 et 31) ne permet pas de déterminer sa géométrie 3D, ni de déterminer avec précision s'il y a au même niveau une ou plusieurs barres similaires. Néanmoins, l'extension latérale de ces faciès permet de conclure que leur largeur est de l'ordre de plusieurs mètres (70m). Cette coupe unique nous permet, en revanche, de mettre en évidence les variations latérales des épaisseurs des différents faciès constituant cet assemblage. Ces variations d'épaisseur peuvent être expliquées par la fluctuation rapide de la puissance de l'écoulement qui a pour conséquence la mise en place rapide des faciès.

L'assemblage de barre graveleuse (GB) est typique des rivières tressées (Miall, 1985; Maizels, 1993; Lonne, 1995). Il est très fréquent dans les environnements où le taux de sédimentation est élevé et où les apports sont importants et sporadiques

NW

SE

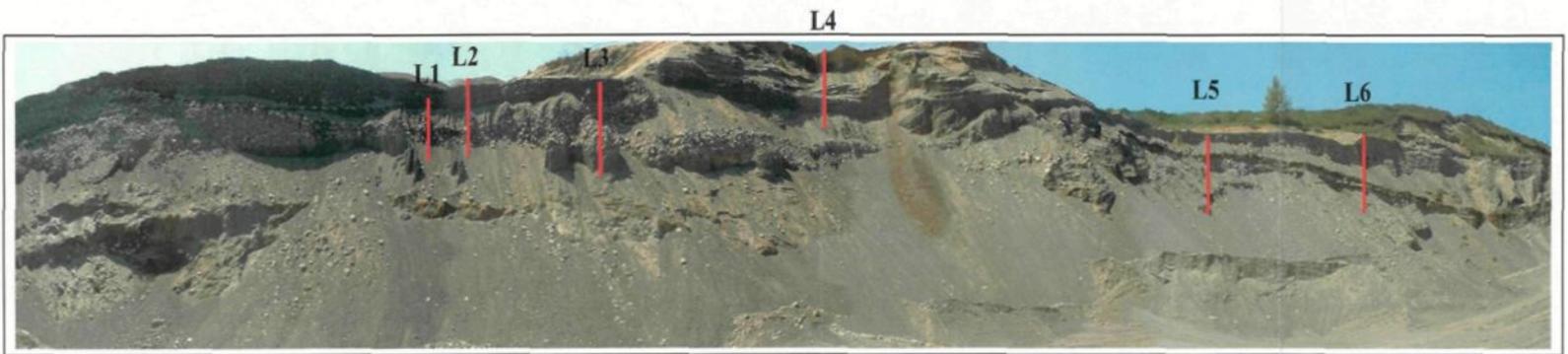


Figure 30: Mur de la gravière de Larouche avec la position des logs stratigraphiques

NW

SE

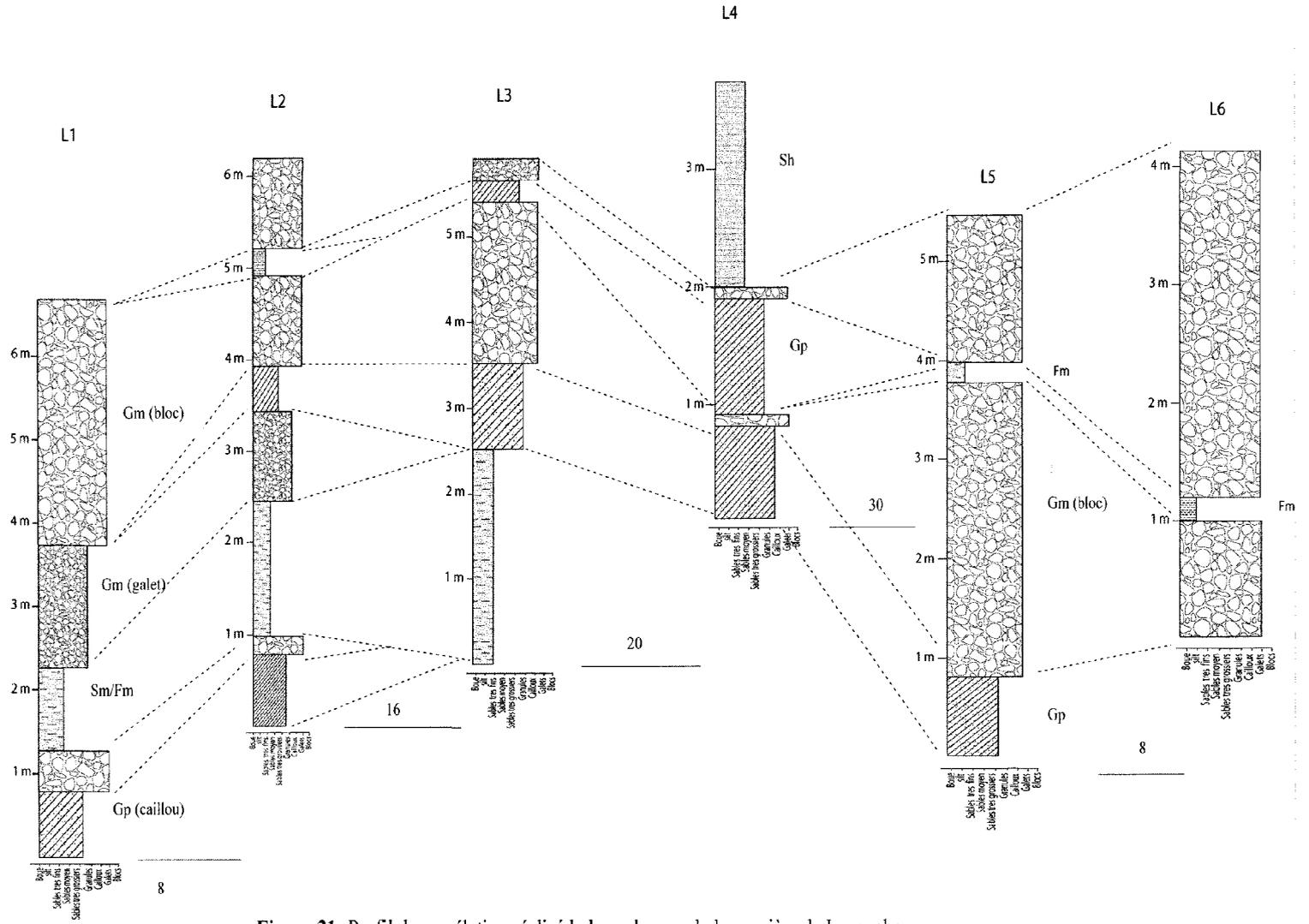


Figure 31: Profil de corrélation réalisé le long du mur de la gravière de Larouche

comme dans le cas de plaines d'épandage glaciaire, où lors de la fonte de la glace, l'eau libérée transporte une quantité importante de matériel.

Assemblage CH

Cet assemblage a été observé quelques fois sur le terrain. Il correspond à des chenaux de 10 à 15 mètres de largeur qui viennent recouper les assemblages (GB). Cet élément associe des faciès graveleux (Gt) et fin (Fm) et débute par une surface érosive concave. Il montre une géométrie en feuillet très peu épaisse. L'absence d'affleurement en 3D ne permet pas de donner une géométrie précise.

Assemblage SB

Le troisième assemblage reconnu dans cette gravière correspond aux feuillets de sable (SB). Ils sont formés par les faciès Sh et Sp. Cet assemblage correspond à de petites barres de sable mis en place entre les barres graveleuse durant des périodes d'étiages.

4.2.4. Mise en place des dépôts de la gravière de Larouche: modèle sédimentaire fluvial

La présence d'un long mur de gravière nous a permis de noter les variations latérales de faciès. Sur la figure 31, on peut constater la continuité sur plusieurs mètres des faciès mais avec des variations considérables des épaisseurs notamment du faciès Gm.

À partir des corrélations faites sur le terrain et du profil présenté à la figure 31, on peut conclure que le site de Larouche montre une architecture assez simple. Celle-ci se

résume en la présence de barres graveleuses très larges qui montrent des granulométries différentes liées à la croissance ou la décroissance de l'énergie de dépôt. Ces barres graveleuses sont recoupées par endroit par des chenaux. Durant les périodes d'étiage, des feuillets de sable (assemblage SB) se mettent en place entre les barres graveleuses. Ils montrent aussi une grande extension latérale avec une homogénéité des faciès.

Cette gravière montre de manière générale un matériel très grossier qui indique par conséquent un environnement de haute énergie. Cela suppose donc dans notre contexte de mise en place dans un environnement glaciaire, une position proximale par rapport à un front de glace mobile

Les dépôts de cette gravière semblent coïncider avec la phase 4 et 3 du retrait de la langue de glace de la région. L'unité de sable reconnue au sommet de la gravière pourrait être assimilée au sable de Kénogami qui représente la partie terminale de la plaine d'épandage glaciaire.

Chapitre 5

Discussion et conclusion

5.1. Discussion des modèles de dépôt des trois sites étudiés

Le caractère deltaïque des dépôts de la gravière de Métabetchouan est un fait indiscutable de par l'architecture reconnue dans ces dépôts. La superposition de dépôts fins horizontaux et des dépôts de pente avec des évidences de mise en place subaquatique est une architecture propre aux deltas. Il n'existe pas d'autre environnement où une architecture de ce type pourrait être retrouvée.

L'absence de faciès indiquant une influence marine, l'absence, d'une plaine deltaïque, de till dans les dépôts de pente et de cailloux de délestage (*dropstones*) ainsi que d'esker et la position de cette construction suggèrent que nous sommes en présence d'un delta ou plus exactement d'une partie d'un delta qui s'est mis en place dans un bassin alimenté par des dépôts supra glaciaire provenant de la langue résiduelle stagnante restée sur la rive sud du lac Saint-Jean. En effet, la gravière de Métabetchouan se trouve être en

marge d'un élément plus grand qui s'étend latéralement sous le camp musical de Métabetchouan. Notre secteur d'étude représenterait un lobe parmi plusieurs autres qui constituent un complexe deltaïque de plus grande envergure.

Le delta de Métabetchouan se serait mis en place lors de la halte de Métabetchouan qui correspond à la dernière étape (étape 5 de LaSalle et Tremblay, 1978) du retrait du glacier de la région et du début de l'invasion de la région par la mer Laflamme.

Les dépôts les plus bas (premier palier) sont indicateurs d'une mise en place fluviale. Puisqu'ils sont surmontés par des dépôts deltaïques, cela signifie que la région a connue une remontée rapide du niveau marin, possiblement liée à une phase de fonte importante de glace à cette époque. La présence de nombreux cailloux calcaires dans les dépôts de pente est un élément indiquant une source très proche. Les calcaires, qui sont de sources locales et très peu résistants, ne peuvent être transportés sur de grandes distances. Cette présence de cailloux calcaire va au même temps appuyer l'hypothèse d'un glacier immobile qui ne détruit pas le socle sur lequel il repose. En revanche, dans les gravières de Larouche et d'Hébertville nous ne retrouvons presque pas (dans les secteurs étudiés) de cailloux calcaires ce qui suggère donc une mise en place par un glacier mobile qui par des effets d'abrasion mécanique désagrège le socle sur lequel il se déplace. Les calcaires étant très peu résistants, ils ne supportent pas l'effet du passage du glacier jumelé à un transport plus long avant leur dépôt.

Les dépôts de la gravière d'Hébertville semblent être mis en place lors des phases 4 et 5 du retrait de la langue de glace. À cette époque, la dépression de la rivière du Saguenay et du lac Kénogami qui servait d'exutoire pour les eaux de fonte n'était pas encore tout à fait libre de glace. Cette gravière qui culmine à des élévations variant entre 150 et 180 m, s'étend sur plusieurs kilomètres carrés et montre une morphologie avec plusieurs endroits montrant des terrasses. L'étude sédimentologique que nous avons menée dans ce secteur, nous a permis de reconnaître des faciès et assemblages de faciès indiquant un environnement fluvial. Celui-ci, s'est probablement mis en place dans un contexte où nous avons la présence d'un front de glace actif (mobile) à proximité (étape 4), ce qui nous laisse croire que cette vaste gravière pourrait correspondre à une série de terrasses de kame. La présence dans le site 1, de dépôts sableux plus uniforme et homogène pourrait aussi suggérer un épisode plus tardif de la mise en place d'une partie de cette gravière (phase 5). En effet, le recul de la glace mobile favoriserait le développement d'une plaine d'épandage glaciaire avec des dépôts moins grossiers en aval du front de la glace fondante qui se retire progressivement.

Les dépôts reconnus à la gravière de Larouche indiquent en revanche des environnements de haute énergie (présence de nombreux blocs), ce qui implique donc une position plus proximale par rapport au front du glacier. La mise en place des dépôts de cette gravière qui culmine à environ 170 m de haut se serait mis en place durant l'étape 4 du retrait glaciaire de LaSalle et Tremblay (1978), mais plus précocement que le début de la mise en place des dépôts de la gravière d'Hébertville. Les matériaux de cette gravière étant

plus grossiers, ils indiquent donc une position proche de la glace mobile qui se déplace progressivement vers le lac Saint-Jean et qui va tout d'abord commencer à façonner la gravière de Larouche. Il n'est également pas exclu que ces dépôts sont plus anciens et qu'ils aient commencé à se mettre en place durant la phase 3 du retrait glaciaire sur et au travers une plaque de glace stagnante.

La comparaison des faciès graveleux identifiés dans les trois gravières permet de mettre en évidence les différences entre les faciès deltaïques de Métabetchouan et ceux des plaines d'épandages glaciaires d'Hébertville (terrasse de Kame) et de Larouche. Mis à part le caractère grossier des faciès qui est commun aux trois sites, on constate une différence notable entre les trois gravières. Les faciès fluviaux (Hébertville et Larouche) sont caractérisés par la persistance des faciès à stratifications entrecroisées planaires et en auges produites par traction. Ces faciès forment des barres graveleuses longitudinales caractéristiques du milieu fluvial qui se mettent en place sur les plaines d'épandage glaciaire. Des barres graveleuses sont également décrites dans les dépôts deltaïques de Métabetchouan; mais ces dernières montrent des faciès qui sont très différents (Tableau 13). La comparaison des deux sites fluviaux de Larouche et d'Hébertville permet de mettre en évidence quelques différences entre des dépôts fluviaux proximaux et distaux par rapport au front de glace. En effet, il est à noter une certaine homogénéité des faciès reconnus au site 1 d'Hébertville, sans doute liée à une mise en place plus tardive et donc plus distale ce qui favorise une variation moins importante de faciès. Alors qu'à Larouche (étape 4 du retrait de Lasalle et Tremblay, 1978), les dépôts proximaux sont beaucoup plus

perturbés à cause de l'influence immédiate des dépôts mis en place durant les crues. Cela engendre des remaniements constants des dépôts mis en place. Il est également à souligner l'importance de l'étude de ces sédiments dans leur contexte de dépôts. En effet à l'exception des dépôts reconnus à Hébertville où l'on note des structures glaciaires typiques liées à la fonte de « glaçons » isolés, les gravières de Métabetchouan et de Larouche montrent des faciès similaires à des faciès qui pourraient être reconnus dans d'autres dépôts deltaïques ou fluviaux dans un environnement non glaciaire.

Type d'environnement	Deltaïque	Fluviale	
Site	Métabetchouan	Hébertville	Larouche
Assemblage de faciès	GS, SS	GB, DA	GB, CH, SB
Principaux faciès	Gm, Gi, Gg, Sg	St, Gm	Gm, Gp
Principaux mécanismes	Chocs entre particules, tri hydraulique, courant de turbidité	Traction	Traction
Composition	Calcaires ordoviciens abondants, roches cristallophylliennes	Roches cristallophylliennes	Roches cristallophylliennes
Dimension	Boues – cailloux	Sables- Blocs	Boues - Blocs (très abondant)
Inclinaison des lits	horizontaux – très inclinés	horizontaux - faiblement inclinés	horizontaux - faiblement inclinés
Particularité	variation de faciès sur la pente	dépôts homogènes	variations latérales des épaisseurs des faciès

Tableau 13 : Comparaison entre les trois sites étudiés

5.2. Conclusion et recommandation

Les objectifs importants du travail effectué dans le cadre de ce mémoire étaient d'identifier et d'établir un modèle pour les dépôts de la gravière de Métabetchouan, de documenter et surtout d'expliquer les variations de faciès observés le long des dépôts de pente. Des travaux complémentaires ont été également effectués à Larouche et Hébertville dans un tout autre environnement sédimentaire pour faire une comparaison. Nous avons également identifié la chronologie de la mise en place de chacune de ces gravières dans le contexte de déglaciation régional.

Les rares interprétations retrouvées dans la littérature sur les dépôts de la gravière de Métabetchouan parlent d'un delta pro glaciaire. Les résultats de nos travaux plaident pour un modèle de mise en place du delta lié à une alimentation par des sédiments supra glaciaire lors de l'arrêt de la langue de glace résiduelle sur la rive sud du lac Saint-Jean.

Trois segments de ce delta ont été reconnus. Les dépôts prodeltaïques formés essentiellement par des faciès sableux massifs et granoclassés forment des associations de feuillets de sables (SS). Cette unité est séparée par une unité de transition composée d'une alternance de faciès fins et grossiers. Les dépôts de pente sont en revanche exclusivement formés par l'empilement de feuillets graveleux (GS) mis en place lors des périodes de crues, séparés par des dépôts de sable fin déposés lors de périodes d'accalmies.

Un modèle a été également établi pour expliquer la mise en place de chacun des faciès constituant les feuillets graveleux GS qui constituent les lits frontaux du lobe deltaïque étudié à Métabetchouan. Ce modèle s'appuie sur le changement des propriétés physiques de la coulée en conséquence de sa dilution progressive.

Les travaux effectués sur les plaines d'épandage glaciaire à Larouche et Hébertville montrent la présence de faciès caractéristique du milieu fluvial tels que les sables et graviers à stratifications entrecroisées en auges et planaires. On y observe aussi très souvent l'aspect jointif des fragments qui indique la dominance de la traction comme mode de transport dans cet environnement.

La réalisation de ce travail, qui s'appuie en grande partie sur les travaux de terrain effectués dans chacun des sites étudiés, a été parfois rendue difficile à cause de l'absence de murs frais et continus pour permettre une cartographie plus détaillée, notamment pour la détermination des discontinuités.

Comme évoqué dans l'introduction, l'intérêt porté aux dépôts glaciaires de la région est surtout motivé par le potentiel hydrogéologique de ce type de dépôts. Les travaux effectués nous ont effectivement permis de constater la présence de certains faciès tels que le faciès à fabrique ouverte qui s'avère être un faciès qui peut favoriser la circulation d'eau. La localisation de ce faciès, à des endroits bien précis dans chacun des deux environnements étudiés, est certainement liée à des mécanismes bien précis. La

compréhension exacte de la distribution de ce faciès est un élément qui peut s'avérer important quand il s'agit de recherche d'aquifère ou de toute autre étude nécessitant la compréhension et la détermination du patron de circulation de l'eau. Cet axe de recherche est certainement une piste d'étude future intéressante. De plus, une étude plus approfondie de la vaste gravière d'Hébertville, en portant une attention particulière aux indicateurs de paléocourants, peut être aussi un travail utile et intéressant pour la compréhension de l'histoire de la déglaciation de la région

Bibliographie

Aitken, J.F., 1995. Lithofaciès and depositional history of late Devonian ice-contact deltaic complex Northeast Scotland. *Sedimentary Geology*, 99: 11-130.

Allen, J.R.L., 1984. *Sedimentary Structures. Their Characters and Physical Basis*, Elsevier, Amsterdam. 663 pages.

Bersezio, R. Bini A. et Giudici, M., 1999. Effects of sedimentary heterogeneity flow in a Quaternary pro-glacial delta environment: joining facies analysis and numerical modelling. *Sedimentary Geology*, 129: 327-344.

Branney, M. J. et Kokelaar, P., 1992. A reappraisal of ignimbrite emplacement; progressive aggradation and changes from particulate to non-particulate flow during emplacement of high-grade ignimbrite. *Bulletin of Volcanology*, 54: 504-520

Bull, W.A., 1972. Recognition of alluvial-fan deposits in the stratigraphic record. In Rigby, J. K. et Hamblin, W. K. *Recognition of ancient sedimentary environments*. SEPM Special Publication 16: 63-83

Dickie J. R. et Hein J. F 1995. Conglomeratic fan and submarine fans of the Jurassic Laberge Group, Whitehorse Trough, Yukon Territory, Canada: fore-arc sedimentation and unroofing of a volcanic island arc complex. *Sedimentary Geology*, 98: 263-292.

Dionne, J-C., 1970. Structures sédimentaires dans du fluvio-glaciaire, Lac Saint-Jean. *Revue Géographique de Montréal*, 24: 255-263.

Dionne, J-C., 1973. La dispersion des cailloux ordoviciens dans les formations quaternaires, au Saguenay/Lac Saint-Jean, Québec. *Revue Géographique de Montréal*, XXVII: 339 -364.

Dionne, J-C., 1994. Les erratiques lointains de l'embouchure du Saguenay, Québec. *Géographie Physique et Quaternaire*, 48: 179-194.

Eyles, N. et Eyles, C.H., 1992. Glacial depositional systems: In *Facies Models. Response to sea level changes*. Walker, R.G., and James, N.P. (Editors). Geological Association of Canada: 73-100.

Falk, D.P. et Dorsey, R.J., 1998. Rapid development of gravelly high-density turbidity currents in marine Gilbert-type fan deltas, Loreto Basin, Baja California Sur, Mexico. *Sedimentology* 45: 331-349

Fisher, R.V., 1971 Features of coarse grained, high-concentrated fluids and their deposits, *Journal of Sedimentary petrology*, 41: 916-927

Folk, R.L., 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin Tex. Hemphill'S, 184 p

Kim, J.W., Chough, S.K., 2000. A gravel lobe deposits in the prodelta of the Doumsan fan delta (Miocene), SE Korea. *Sedimentary Geology*, 130: 183-203.

Kim, S.B., Chough, S.K. et Chunn, S., 1995. Bouldery deposits in the lowermost part of the cretaceous kyokpori formation. SW Korea: Cohesionless debris flows and debris falls on a steep-gradient delta slope. *Sedimentary Geology*, 98: 97-119.

Kjaer, K. H., Sultan, L., Krueger, J., Schomacker, A., 2004. Architecture and sedimentation of outwash fans in front of the Myrdalsjoekull ice cap, Iceland. *Sedimentary Geology*, 172: 139-163.

Kleinspehn, K.L., Steel, R.J., Johanessen, E. et Netland, A., 1984. Conglomeratic fan delta sequences. Late Carboniferous-Early Permian, western Spitsbergen,: In E.H. Koster and R.J. Steel (Editors). *Sedimentology of gravels and conglomerates. Mem. Can. Soc. Pet. Geol.*, v. 10, p. 279-294.

Klingbeil, R.K., S., Aspirion, U., Aigner, T. Teutsch, G., 1999. Relating lithofacies to hydrofacies: outcrop-based hydrogeological characterisation of quaternary gravel deposits. *Sedimentary Geology*, 129: 299-310.

Lajeunesse, P. et Allard, M., 2001. Sedimentology of an ice-contact glaciomarine fan complex, Nastapoka, eastern Hudson Bay, northern Québec. *Sedimentary Geology* 152: 201-220.

Lasalle, P. et Tremblay, G., 1978. Dépôts meubles du Saguenay lac Saint-Jean. Ministère des richesses naturelles, Québec, Rapport Géologique 191: 61pages.

Liu, Z. et Wang, C., 2001. Facies analysis and depositional systems of Cenozoic sediments in the Hoh Xil basin, northern Tibet. *Sedimentary Geology* 140: 251-270.

Lonne, I., 1995. Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glaciomarine systems. *Sedimentary Geology*, 98: 13-43.

Lowe, D.R., 1976. Grain flow and grain flow deposits. *Journal of Sedimentary Petrology*, 46: 188-199.

Lowe, D.R., 1982. Sediment gravity flows II: Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52: 279-298.

Maizels, J., 1993. Lithofacies variation within sandur deposits: the role of runoff regime, flow dynamics and sediment supply characteristics. *Sedimentary Geology*, 85: 299-325.

Marren, P.M., 2002. Fluvial-lacustrine interaction on Skeidararsandur, Iceland: implications for sandur evolution. *Sedimentary Geology*, 49: 43-58.

Martini, I.P., 1990. Pleistocene glacial fan deltas in southern Ontario, Canada. In: Colella, A. and Prior, D. (editors.), *Fan Deltas*. Special Publications of the International Association of Sedimentology, 10: 281-295.

McCallum, J.E. et Robertson, A.H.F, 1995. Sedimentology of two fan-delta systems in the Pliocene-Pleistocene of the Mesaoria Basin, Cyprus. *Sedimentary Geology*, 98: 215-244.

McPherson, J.G., Shanmugam, G. et Moiola, 1987. Fan-deltas and braid deltas: Varieties of coarse-grained deltas. *Geological Society of America Bulletin*, 99: 331-340.

Miall, A.D., 1978. Lithofacies and vertical profile models in Braided river deposits: a summary. In *fluvial sedimentology*: Canadian Society of Petroleum Geologists: 597-604.

Miall, A.D., 1985. Architectural-Element Analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits: *Earth Science Reviews*, 22: 261-308.

Mulder, T. et Alexander, J., 2001. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology* 48: 269-299.

Nemec, W., 1990. Aspects of sediment movement on steep delta slopes. In: Colella, A. and Prior, D. (editors) *Coarse-Grained Deltas*. Special Publications of the International Association of Sedimentology, 10: 29-73.

Nemec, W. et Steel, R.J., 1984. Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravely mass-flow deposits. In: E.H. Koster et R.J. Steel (editors). *Sedimentology of Gravels and Conglomerates*. Canadian Society of Petroleum Geologists, 10: 1-131.

Occhieti, S., 1987. Dynamique de l'inlandsis Laurentidien du Sangamonien à l'Holocène. *Géographie physique et quaternaire*, 41: 301-314.

Orton, G.J., Reading, H.G., 1993. Variability of deltaic process in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology* 40: 475-512

Plink-Bjorklund, P. et Ronnert, L., 1999. Depositional process and internal architecture of late Weichselian ice-margin submarine fan and delta settings, Swedish west coast. *Sedimentology*, 46: 215-234.

Postma, G., 1984. Slumps and their deposits in delta fronts and slopes. *Geology*, 12: 27-30.

Postma, G., 1990. Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. In: Colella, A. and Prior, D. (editors) *Coarse-Grained Deltas*. Special Publications of the International Association of Sedimentology, 10: 13-27.

Postma, G et Cruickshank, C., 1988. Sedimentology of a late Weichselian to Holocene terraced fan delta, Varangerfjord, northern Norway. In Nemec, W. et Steel, R.J. (editors) *Fan deltas: Sedimentology and tectonic settings*. Blackie, London, 144-158.

Prior, D.B., Bornheld, B.D. et Johns, M.W., 1984. Depositional characteristics of submarine debris flow. *Journal of Geology*, 92: 707-727.

Prior, D.B., Bornheld, B.D., 1989. Submarine sedimentation on a developing Holocene fan delta. *Sedimentology*, 36: 1053-1076.

Roy, D.W., 1996. Voyage géologique au Saguenay Lac-Saint-Jean. *Saguenayensia*, vol 38, no 2: 27-38

Shanmugam, G., 1996. High-density turbidity currents; are they sandy debris flows? *Journal of Sedimentary Research*, 66: 2-10.

Sohn, Y.K., Kim, S.B., Hwang, I.G., Bahk, J.J., Choe, M.Y. et Chough, S.K., 1997. Characteristics and depositional process of large-scale gravely Gilbert-type foresets in the Miocene Doumsan fan delta, Pohang basin, SE Korea. *Journal of Sedimentary Research*, 67: 130-141.

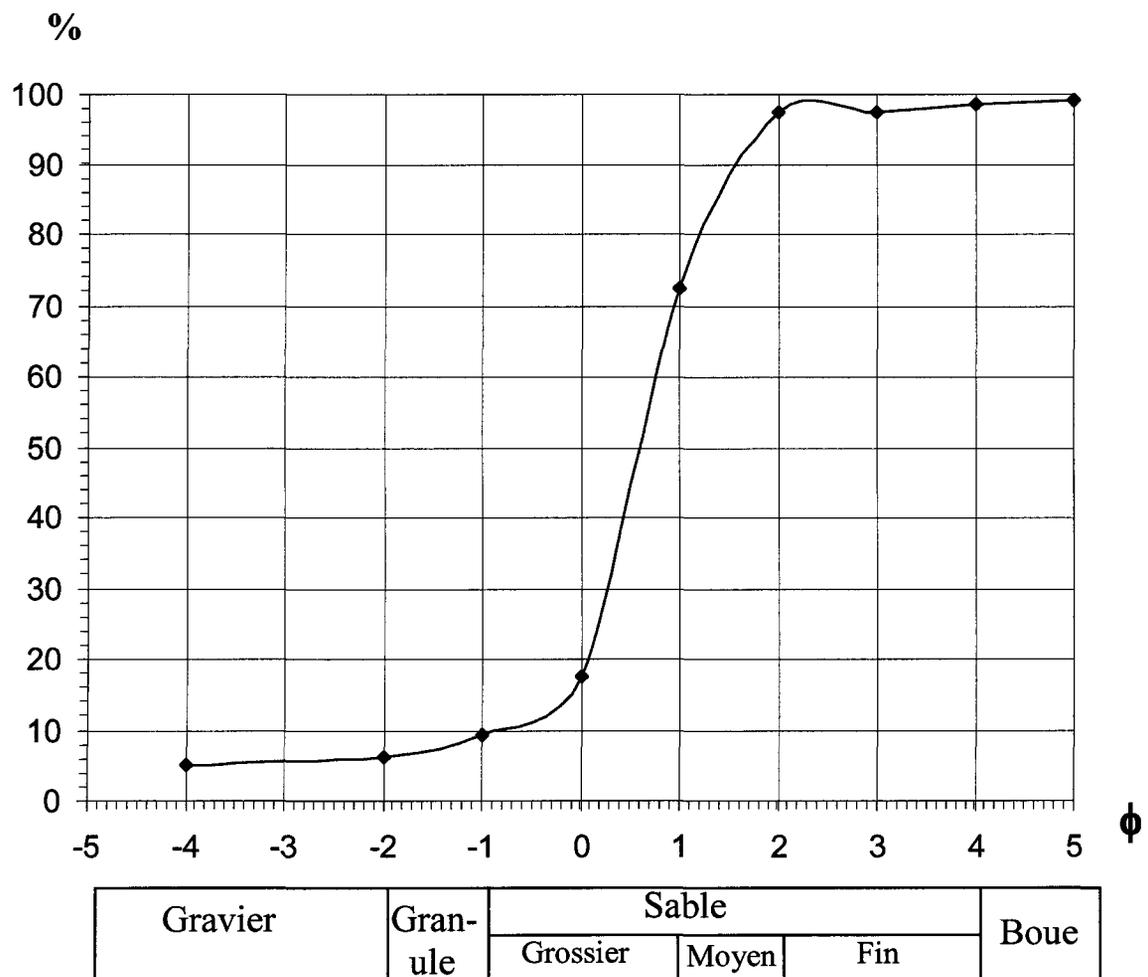
Sohn, Y.K., 2000. Depositional process of submarine debris flows in the Miocene fan deltas, Pohang Basin, SE Korea with special reference to flow transformation. *Journal of Sedimentary Research*, 70: 491-503.

Tremblay, G., 1971. Géologie et géomorphologie quaternaires à l'Est du Saguenay lac Saint-Jean, Québec, Canada [thèse de Doctorat]: Paris, 2 Volumes

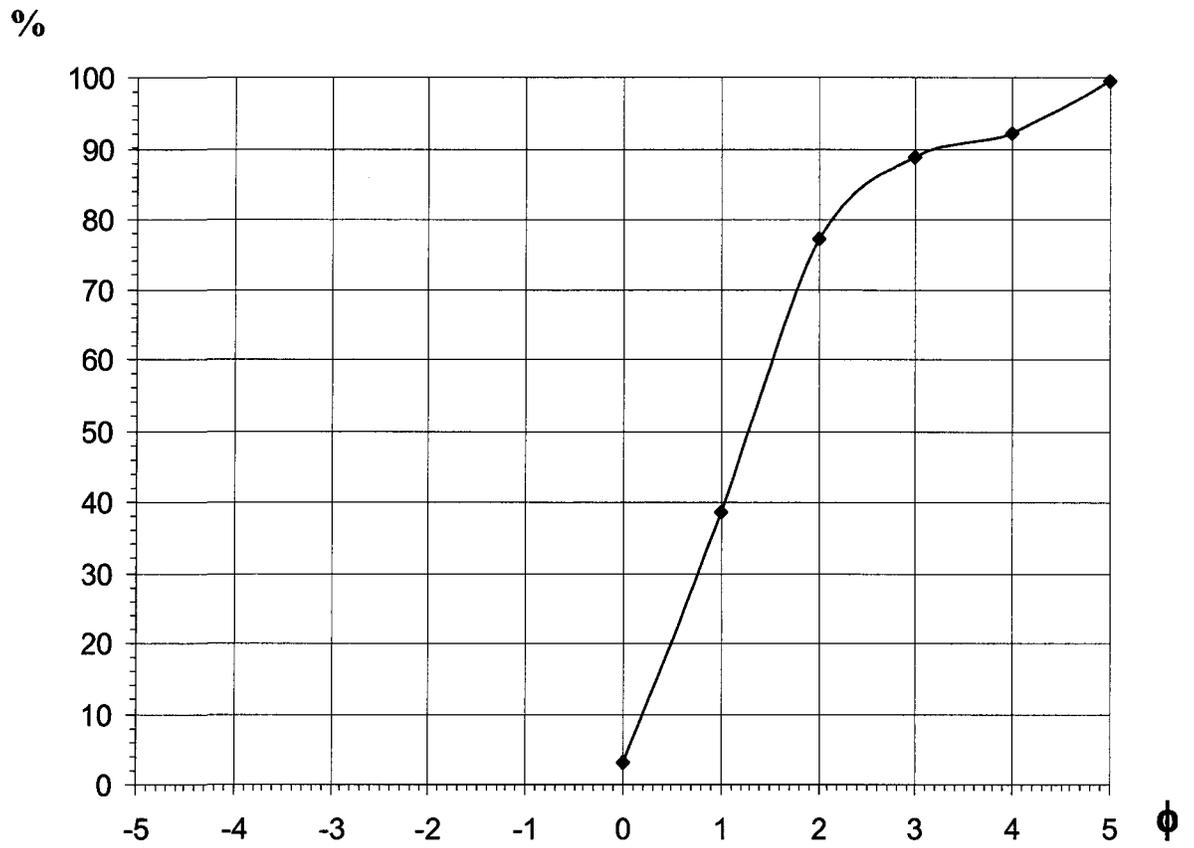
Walker, R.G., 1992. Facies models: Response to sea level change. in, Walker, R.G., and James, N.P. (editors). *Geological Association of Canada*. p1-14

**Annexe 1: Courbes granulométriques des échantillons prélevés à
Métabetchouan**

*Courbe granulométrique de la matrice du faciès
SGm*

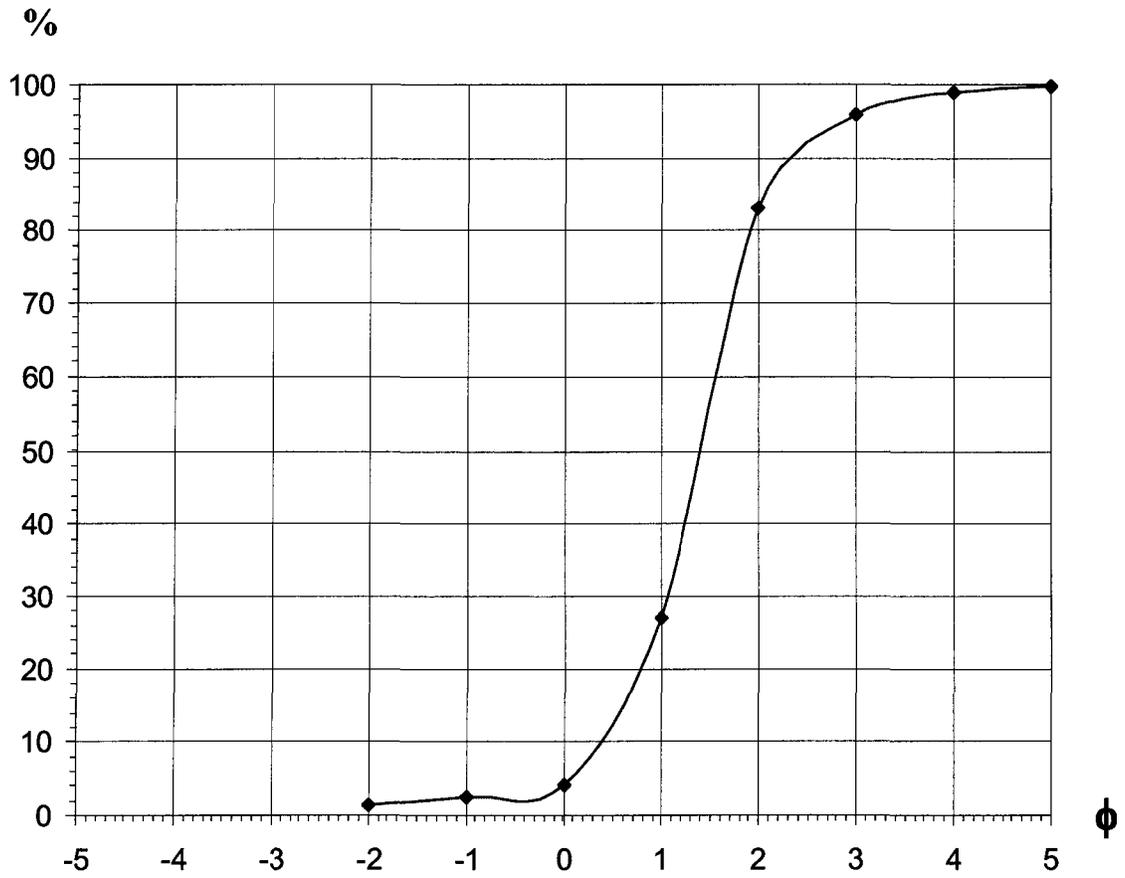


Courbe granulométrique de la matrice du faciès Sm



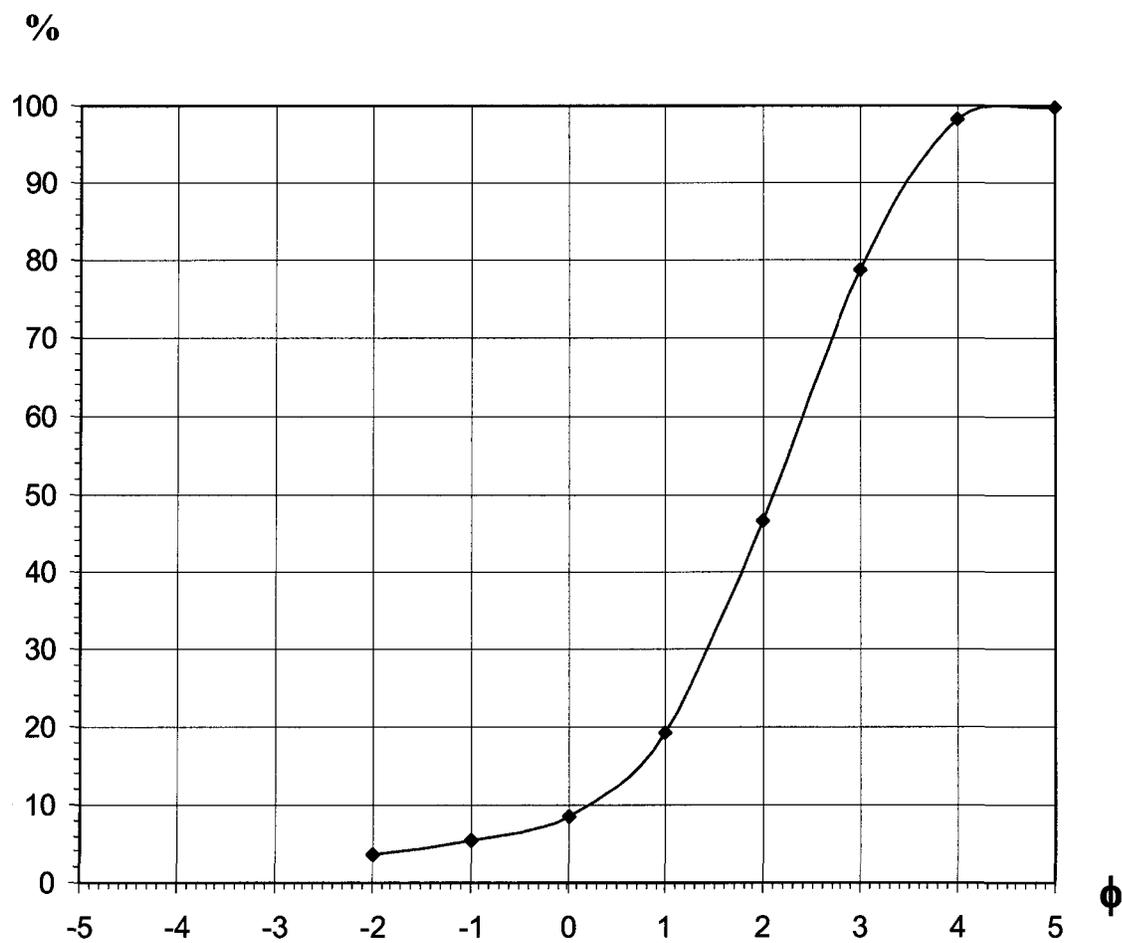
Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

Courbe granulométrique du faciès Sh
 (troisième palier de la gravière)



Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

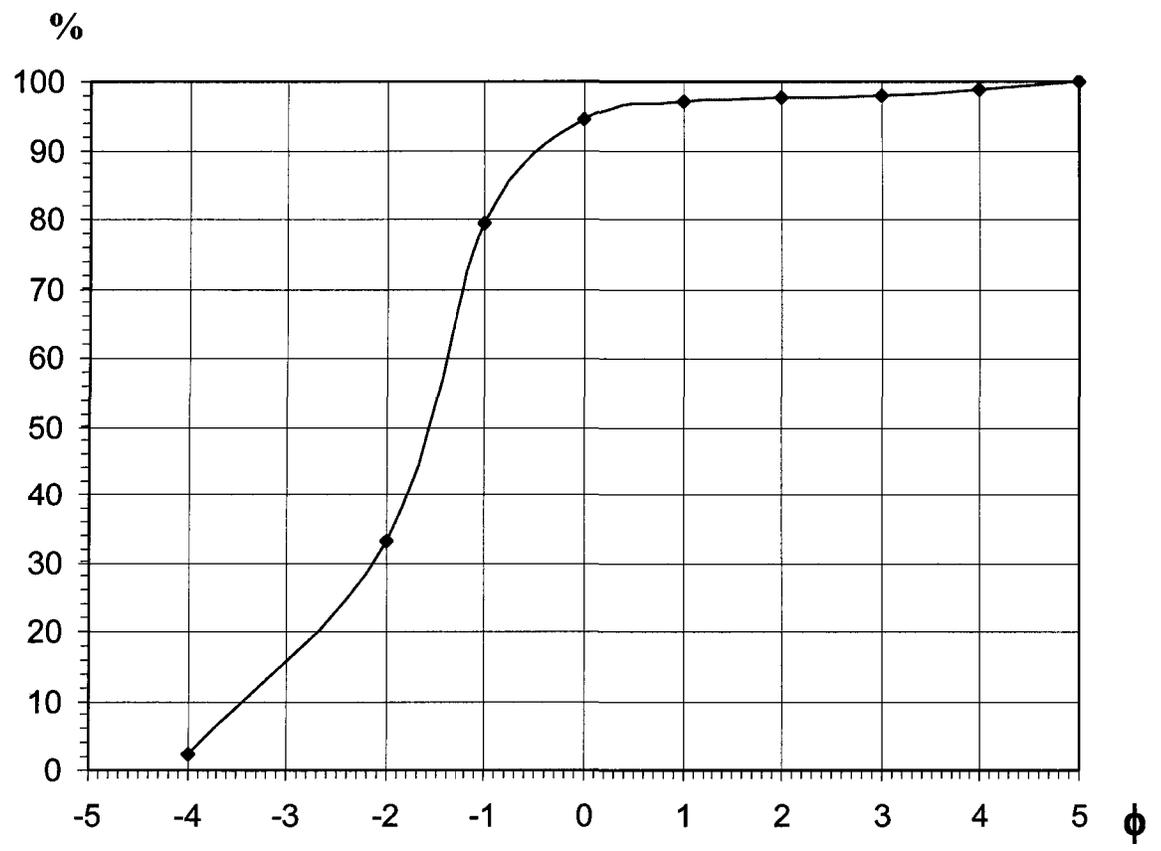
Courbe granulométrique du faciès Sh
 (Premier palier de la gravière)



Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

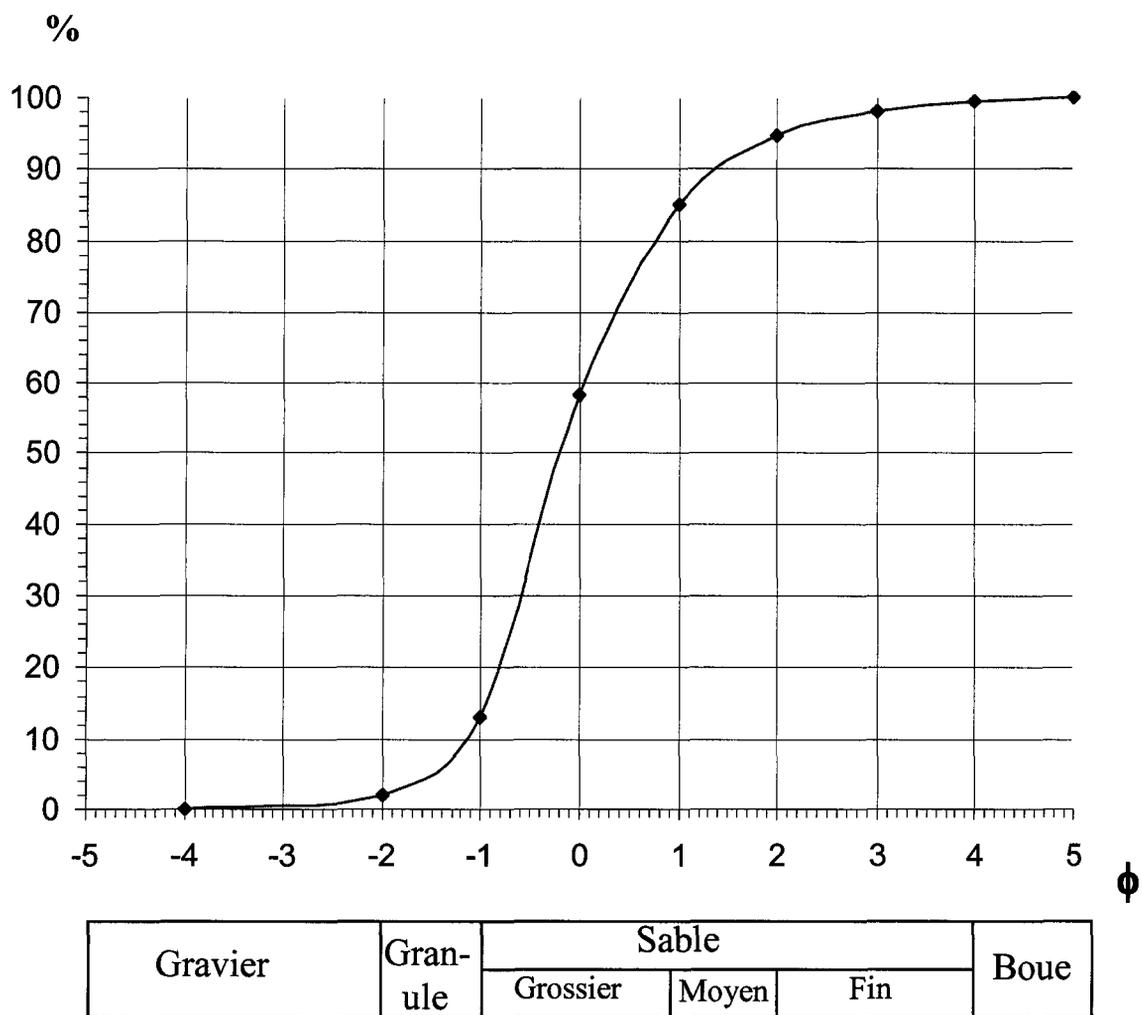
Annexe.2 : Courbes granulométriques de la gravière d'Hébertville

Matrice du faciès Gm du site 1

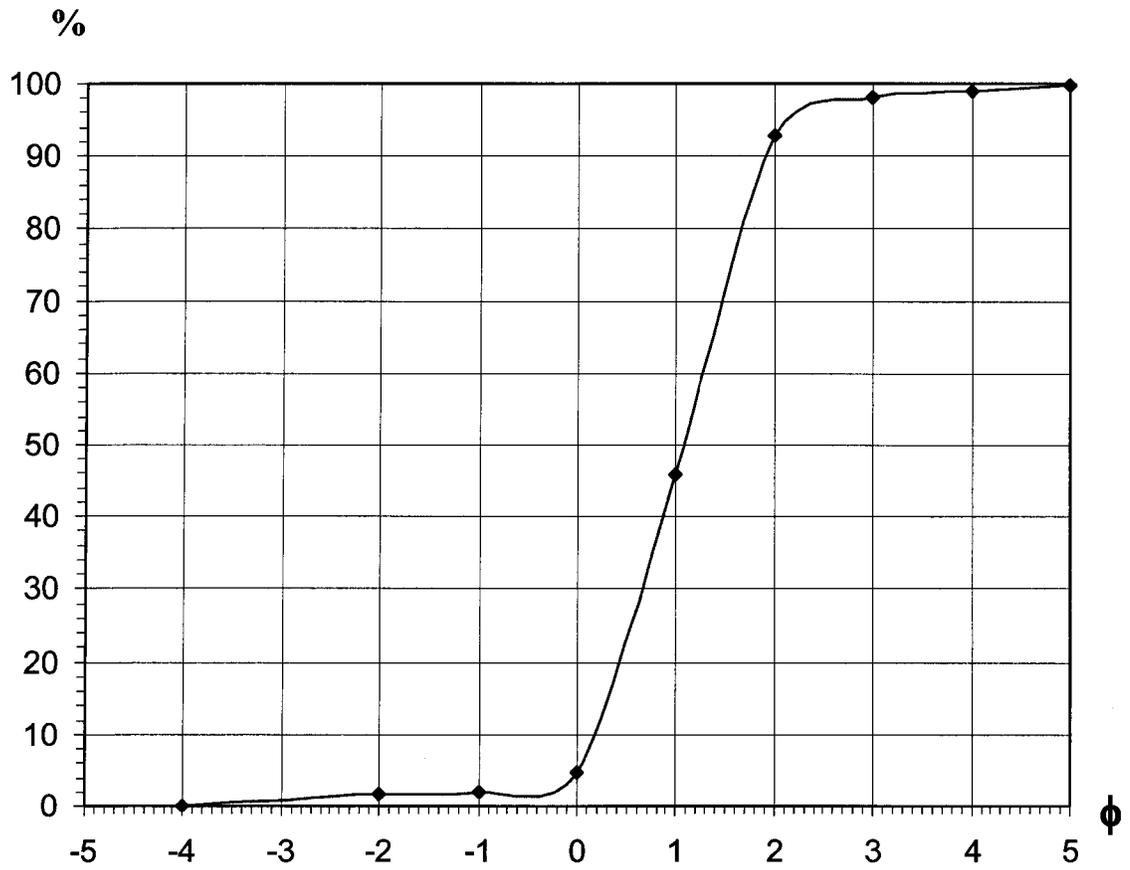


Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

Courbe granulométrique du faciès Gp

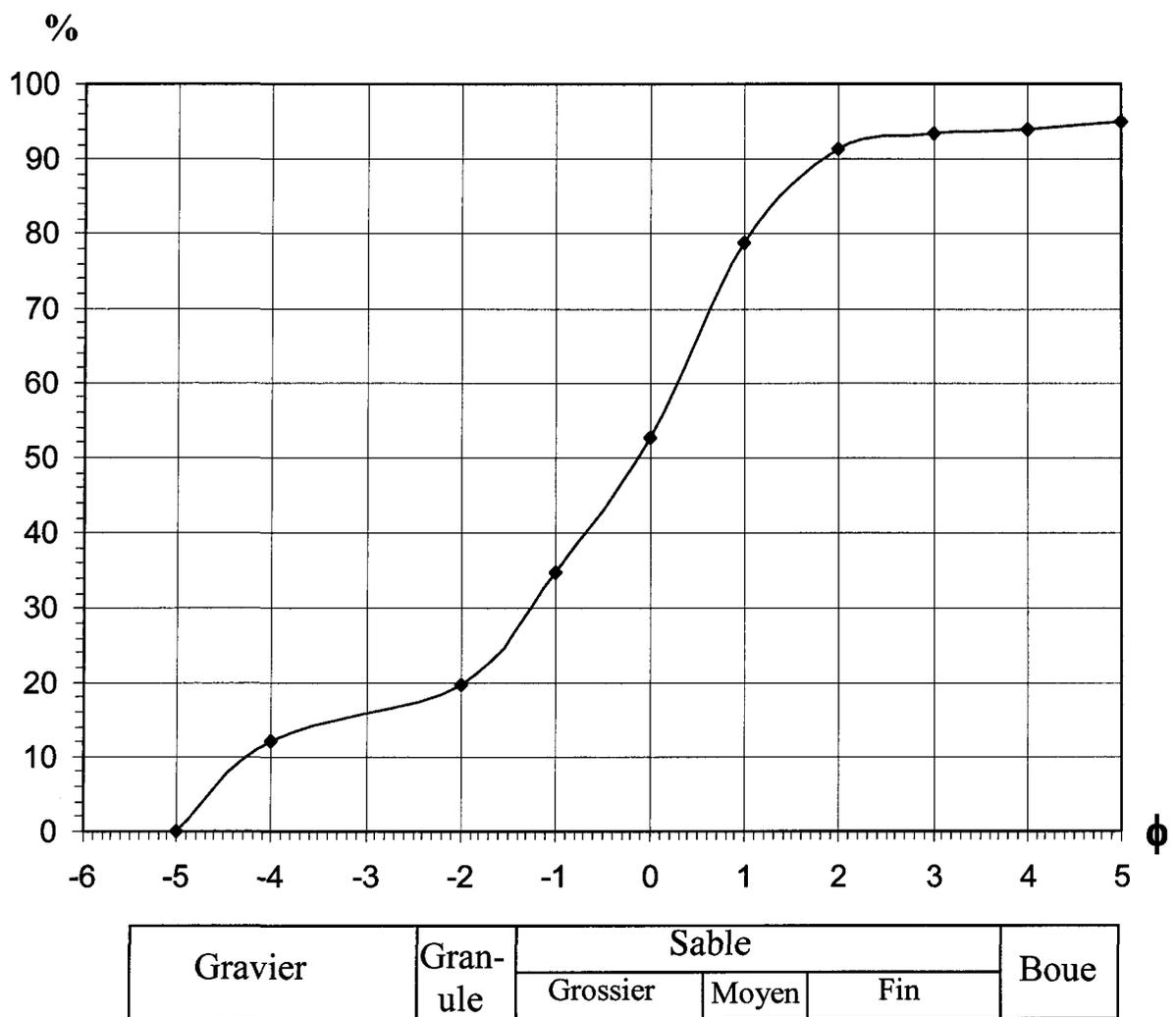


Courbe granulométrique du faciès St du site 1



Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

*Courbe granulométrique de la matrice du faciès
Gm du site 2*



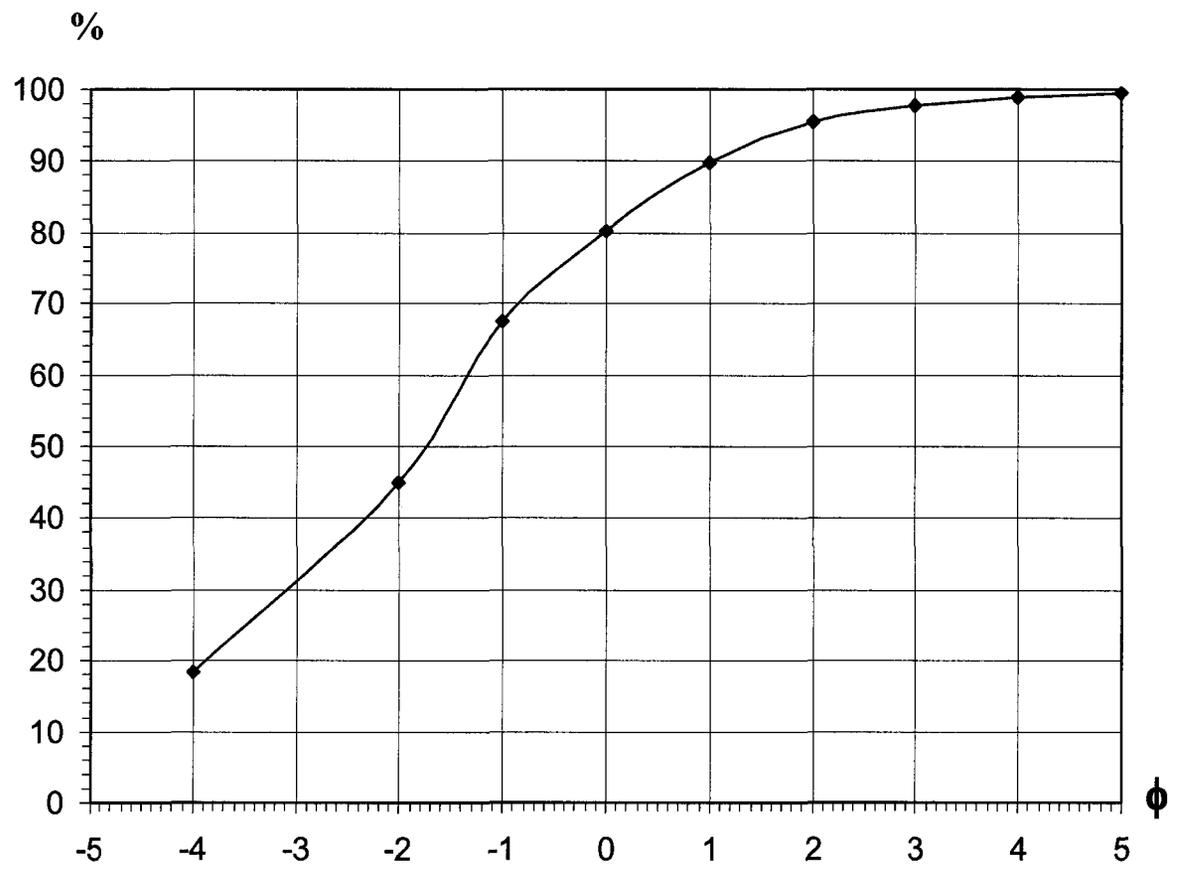
Annexe 3 : Courbe granulométrique de Larouche

Matrice du faciès Gm (Cailloux)

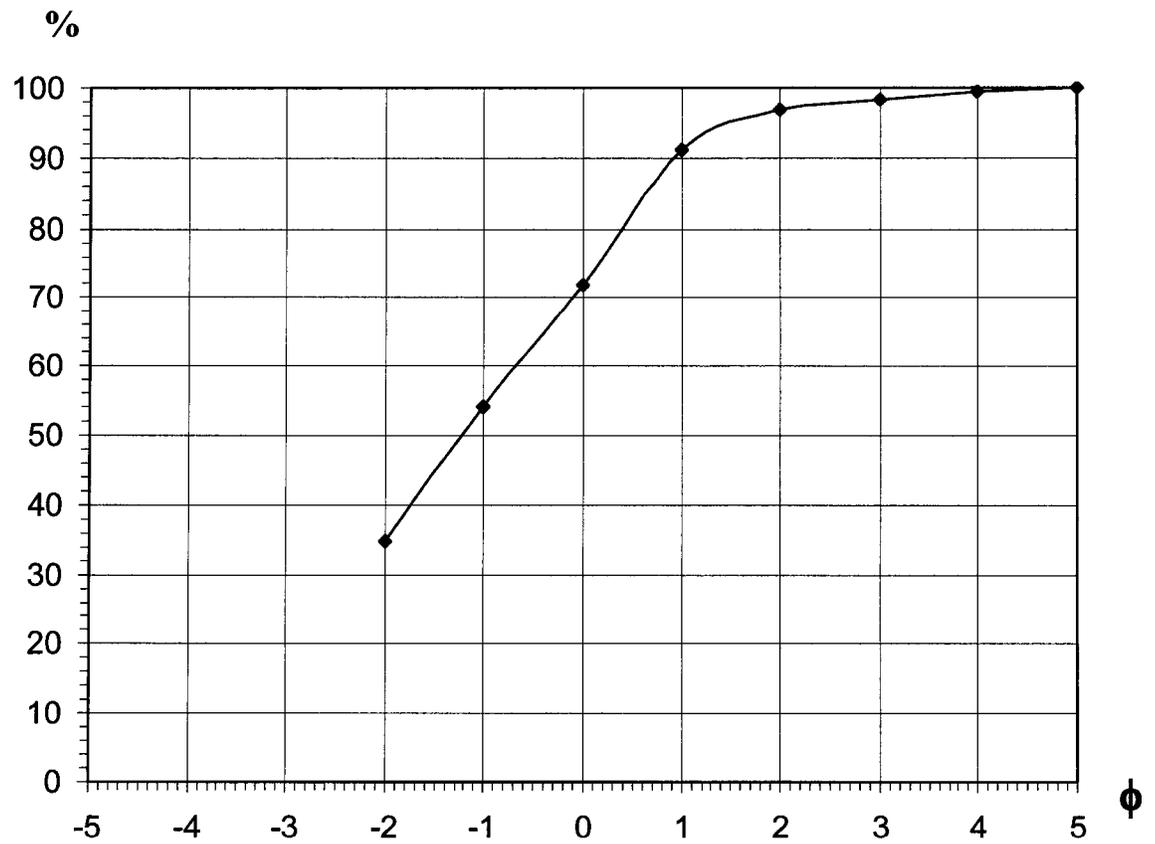


Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

Matrice du faciès Gm (galets)

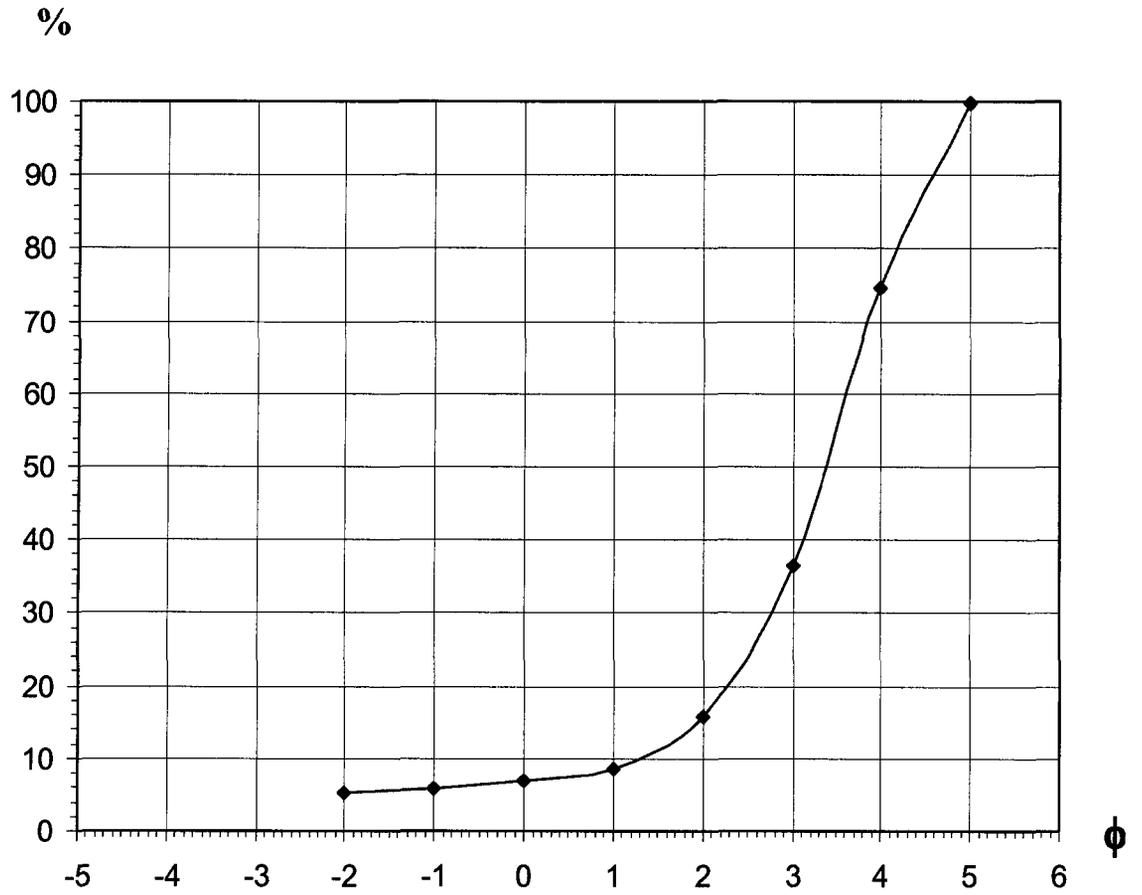


Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

Faciès Gp

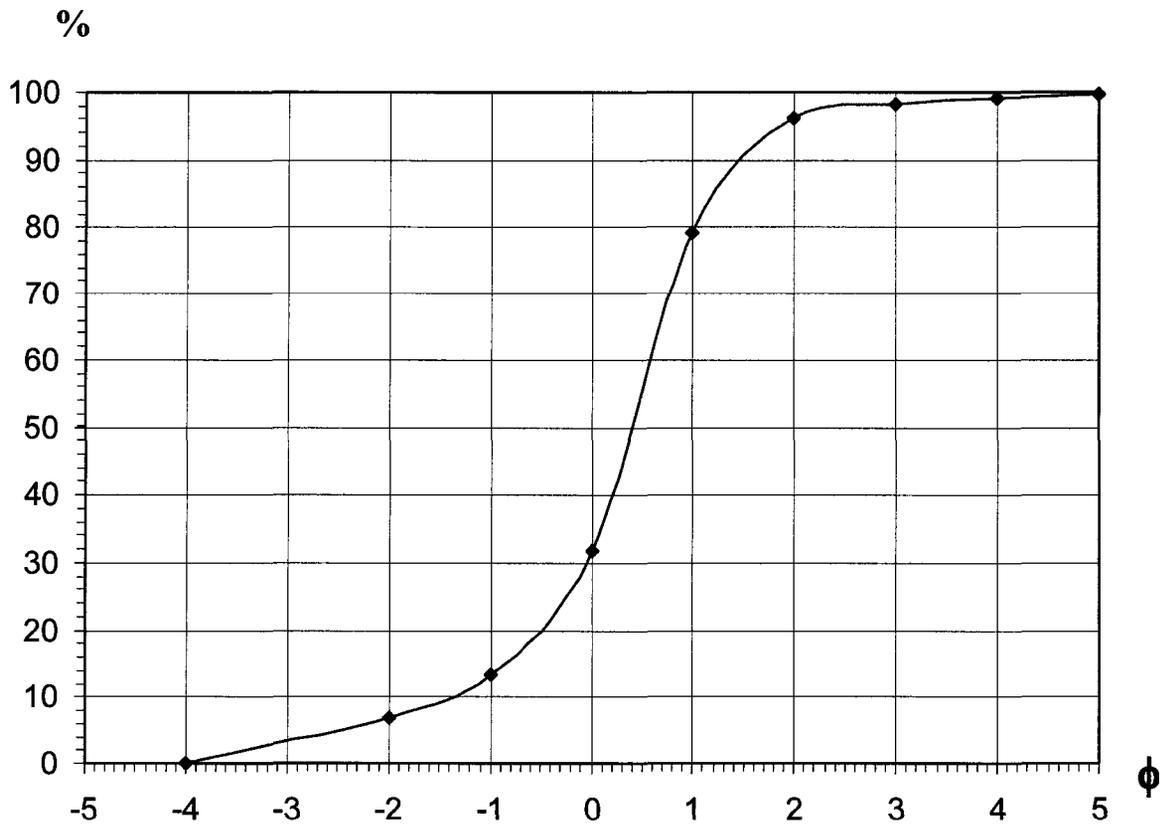
Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

Faciès Sm



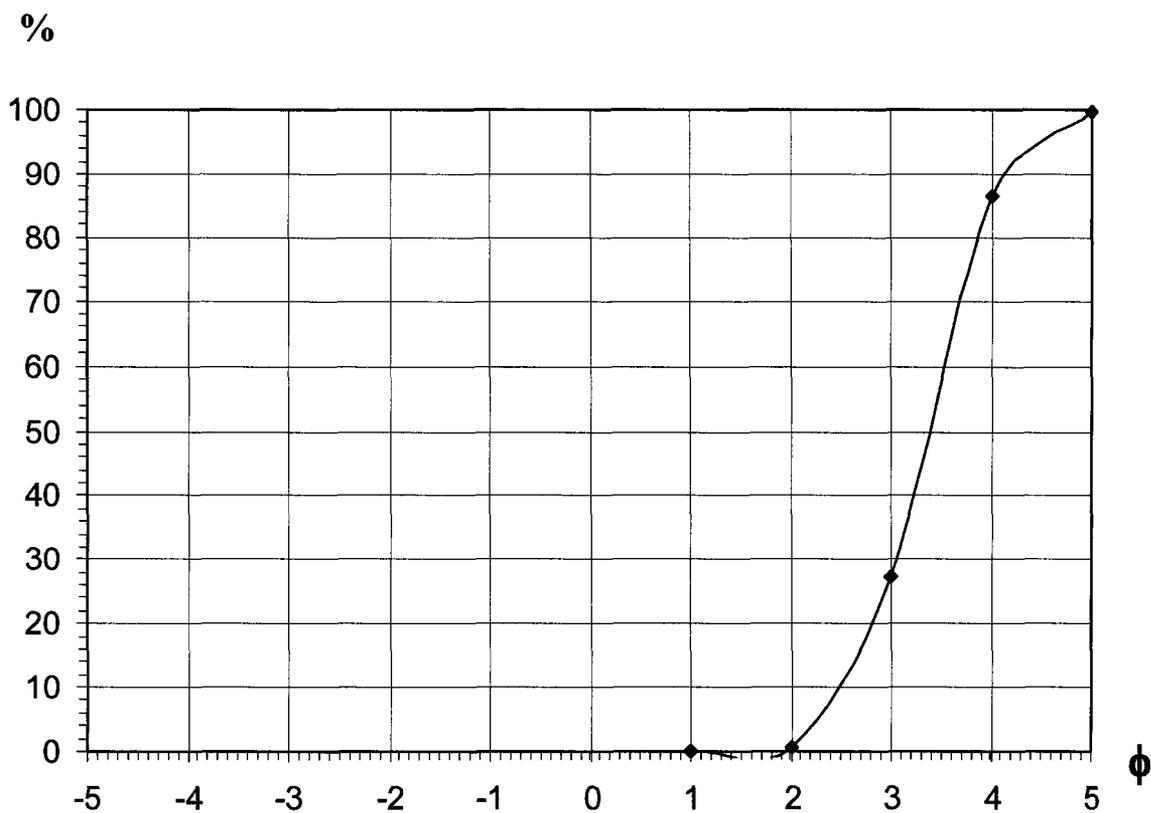
Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

Faciès Sp



Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	

Faciès Sr



Gravier	Gran- ule	Sable			Boue
		Grossier	Moyen	Fin	