

Université du Québec
INRS (Eau, Terre et Environnement)

**RELATIONS EMPIRIQUES DES DONNÉES
LASER AÉROPORTÉES (LiDAR) ET DES PARAMÈTRES
GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES AU SOL
GOLFE DU SAINT-LAURENT, BAIE DES CHALEURS, QUÉBEC**

MÉMOIRE DE MAÎTRISE

Présenté pour l'obtention
du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)
en sciences de la Terre (géoingénierie)

Par
Maude Boucher

Janvier 2007

Université du Québec
INRS (Eau, Terre et Environnement)

**RELATIONS EMPIRIQUES DES DONNÉES
LASER AÉROPORTÉES (LiDAR) ET DES PARAMÈTRES
GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES AU SOL
GOLFE DU SAINT-LAURENT, BAIE DES CHALEURS, QUÉBEC**

Par
Maude Boucher

Mémoire présenté
pour l'obtention
du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)
en sciences de la Terre (géoingénierie)

Jury d'évaluation

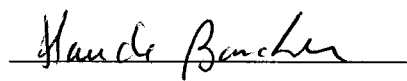
Examineur interne	Pierre Francus, INRS Eau, Terre et Environnement
Examineur externe	Michel Allard, Université Laval
Directeur de recherche	Bernard F. Long INRS Eau Terre et Environnement


© droits réservés de Maude Boucher, 2007

Résumé

L'étude faite dans la baie des Chaleurs a pour but d'étalonner les limites et le potentiel de la technique LiDAR pour la réalisation d'une cartographie morpho-sédimentologique de la zone côtière. Le second objectif est de déterminer une relation entre l'intensité du signal de retour LiDAR et les différents paramètres géologiques et géotechniques des sédiments retrouvés dans la zone. À fin d'étalonner l'intensité du signal de retour, une campagne de terrain a été effectuée sur les plages au même moment que le survol et des relations ont été établies pour les échantillons de sédiments. La teneur en eau joue un rôle important dans la variation de l'intensité du signal de retour LiDAR, particulièrement dans les environnements composés de sédiments fins. Cette dernière tend à diminuer avec l'augmentation de teneur en eau. D'autres paramètres géologiques côtiers tels que la distribution granulométrique, la porosité, la compaction et la rugosité de surface des sédiments meubles influencent également les variations de l'intensité du signal de retour. En effet, une augmentation de la moyenne granulométrique, de la porosité et de la rugosité de surface engendrera une augmentation de l'intensité LiDAR enregistrée tandis qu'une augmentation de la compaction du sédiment entraînera une diminution. La porosité et la compaction ont été évaluées qualitativement en laboratoire à partir de la technique de scanographie. L'intensité du signal de retour LiDAR a aussi été reliée aux paramètres géologiques des roches formant les falaises de la région et quelques enrochements. Contrairement aux sédiments meubles, une augmentation de la porosité à la surface de la roche, soit par la granulométrie des grains ou par l'altération du ciment dans les roches sédimentaires, occasionnera une diminution de l'intensité LiDAR. Une augmentation de la densité, soit par le type de roche ou par une altération de surface par oxydation, se résumera quant à elle par une augmentation de l'intensité du signal de retour enregistrée. Il a également été noté que l'intensité du signal de retour varie en fonction de la géométrie du système (angle de balayage du faisceau laser), de la température dans l'environnement immédiat de la source émettrice et de la morphologie et topographie du terrain étudié. La multitude de facteurs étudiés individuellement, ainsi que la présence de facteurs non étudiés tel la couleur, la minéralogie et la qualité de l'air, occasionne une difficulté dans la génération d'une équation unique applicable à la

cartographie côtière à partir de l'intensité du signal de retour laser enregistrée lors de survols LiDAR. Une étude plus exhaustive permettrait la détermination de différents coefficients qui reflèteront la relation entre l'intensité du signal de retour LiDAR et les paramètres retrouvés sur le littoral.


Étudiante


Directeur de recherche

Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de maîtrise Bernard F. Long sans qui je n'aurais pu réaliser ce mémoire. En me donnant un projet fort intéressant et en m'accordant sa confiance, il m'a permis de me développer, de me découvrir et de me dépasser. Il m'a donné la chance de présenter mes travaux dans le cadres de rencontres nationales et internationales.

Ce mémoire de maîtrise ne serait pas né si cela n'avait été du travail d'équipe dans le cadre du projet GEOIDE : « *Applications géomatiques adaptés à l'exploration des ressources et des risques naturels* ». Je tiens particulièrement à remercier mon principal allié, l'étudiant au doctorat dans le cadre du même projet, Régis Xhardé. Je désire également remercier l'assistant de recherche Jacques Labrie pour sa précieuse aide au niveau informatique ainsi que les équipes de terrain avec lesquelles j'ai eu la chance de travailler et qui étaient formées de Karine Nault, Caroline Richard, Suzanne Dufour, Francis Moore, Jean-François Crémer et Caroline Roberge. Un merci spécial à Don Forbes de la Commission Géologique du Canada à Halifax, pour sa gentillesse et son aide sur le terrain.

Je tiens à remercier le réseau GEOIDE, le ministère des Transports et la Commission Géologique du Canada pour le financement de ce projet. Un merci également à Lasermat Image Plus-GPR, particulièrement Pierre Rousseau, à Michel Michaud et Christian Poirier du ministère des Transports et à Christian Larouche de Geo-3D Inc pour leur support technique.

Finalement, le plus important, merci à ma famille et à mes amis de l'ÉIO, de l'université Laval et de l'INRS pour votre support moral à tout moment, bon ou mauvais, et vos encouragements. Un énorme merci à mon papa, Gaétan Boucher, mon meilleur critique et mon correcteur de toujours.

Tables des matières

Résumé	v
Remerciements	vii
Table des matières	ix
Liste des figures	xv
Liste des tableaux	xix
Introduction	1
Description des annexes	3
Chapitre 1. La baie des Chaleurs	5
1. La géologie régionale	5
2. La géologie de la baie des Chaleurs	6
2.1. Les roches sédimentaires	7
2.2. Les dépôts quaternaires	7
2.3. Le système côtier actuel	9
2.3.1. L'arrière plage	9
2.3.2. La plage	9
2.3.3. L'avant plage	10
3. Les différents environnements côtiers de la baie des Chaleurs	10
3.1. Les plages	11
3.1.1. Les matériaux formant une plage	11
3.1.2. Les types de plages	11
3.1.3. La morphologie des plages	12
3.1.4. La dynamique sédimentaire	13
3.2. Les marais	14
3.3. Les falaises et talus	14
3.4. Les enrochements	15
4. Le contexte hydrodynamique	15
4.1. Les marées	16

4.2. Les houles	17
4.3. Le système hydrique	18
5. Les conditions météorologiques	19
5.1. La température et les précipitations	19
5.2. Les vents	19
6. Conclusion	20
 Chapitre 2. Méthodologie	 21
1. Le principe du LiDAR	21
1.1. Le système LiDAR	22
1.1.1. Le laser	22
1.1.2. Le système différentiel de positionnement global	23
1.1.3. Le système inertiel	23
1.2. Les relevés aéroportés (LiDAR)	23
1.3. Le post-traitement	25
1.4. L'intensité du signal de retour LiDAR	25
2. L'étude de terrain	26
2.1. Le positionnement	26
2.2. L'échantillonnage	27
3. Les mesures effectuées en laboratoire	28
3.1. La teneur en eau	28
3.2. L'analyse granulométrique	29
3.2.1. La moyenne granulométrique	30
3.2.2. L'indice granulométrique (ou de classement)	31
3.2.3. Le coefficient d'asymétrie	31
3.2.4. Le coefficient d'acuité	32
3.2.5. Les modes (ou populations)	32
3.3. La scanographie	33
3.3.1. L'intensité scanographique	33
4. La méthodologie d'analyse des données	34
4.1. La variation due aux paramètres géologiques et géotechniques	34

4.2. La variation latérale due à l'angle d'ouverture du faisceau laser	35
4.3. La variation due à la morpho-topographie du littoral	35
4.4. La classification morpho-sédimentologique	35
5. Conclusion	36
 Chapitre 3. Description des sites	 37
1. Saint-Siméon et Bonaventure	37
1.1. L'environnement géographique	37
1.2. L'environnement géologique côtier	37
1.2.1. Les falaises et talus	38
1.2.2. L'arrière plage	39
1.2.3. La plage	39
1.3. L'environnement hydrodynamique	39
1.4. Les sites de prélèvements	40
2. Paspébiac	41
2.1. L'environnement géographique	41
2.2. L'environnement géologique côtier	42
2.2.1. Les falaises et talus	42
2.2.2. L'arrière plage	42
2.2.3. La plage	42
2.3. L'environnement hydrodynamique	43
2.4. Les sites de prélèvements	43
3. Cap d'Espoir et Anse-à-Beaufils	44
3.1. L'environnement géographique	44
3.2. L'environnement géologique côtier	45
3.2.1. Les falaises et talus	45
3.2.2. L'arrière plage	45
3.2.3. La plage	45
3.3. L'environnement hydrodynamique	46
3.4. Les sites de prélèvements	46

4. Barachois	48
4.1. L'environnement géographique	48
4.2. L'environnement géologique côtier	48
4.2.1. Les falaises et talus	49
4.2.2. L'arrière plage	49
4.2.3. La plage	49
4.3. L'environnement hydrodynamique	50
4.4. Les sites de prélèvements	50
5. Conclusion	51
 Chapitre 4. Résultats	 53
1. L'étude de terrain	53
1.1. Les plages	53
1.1.1. La teneur en eau	55
1.1.2. L'analyse granulométrique	56
1.1.2.1. La moyenne granulométrique	56
1.1.2.2. Les modes (ou populations)	57
1.1.3. L'intensité scanographique	58
1.2. Les falaises	59
1.2.1. L'intensité scanographique	60
2. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) sur les plages	61
2.1. L'influence de la teneur en eau	62
2.2. L'influence de la granulométrie	65
2.2.1. La moyenne granulométrique	65
2.2.2. Les modes (ou populations)	66
2.3. La relation avec l'intensité scanographique	67
2.4. L'influence de l'angle d'ouverture du faisceau laser	69
2.5. L'influence de la morpho-topographie du littoral	71
3. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) sur les faciès solides	73
3.1. En fonction de l'intensité scanographique	73

4. La variabilité de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) sur l'ensemble des milieux	75
5. Une classification morpho-sédimentologique	76
5.1. Une cartographie établie en fonction de la teneur en eau	77
5.1.1. L'environnement 1 : la plage	77
5.1.2. L'environnement 2 : les bancs de graviers et sable au large	78
5.1.3. L'environnement 3 : le marais tidal	80
5.2. Une cartographie établie en fonction de l'intensité scanographique	80
5.2.1. L'environnement 1 : la plage	81
5.2.2. L'environnement 2 : les bancs de graviers et sable au large	81
5.2.3. L'environnement 3 : le marais tidal	81
6. Conclusion	83
 Chapitre 5. Discussion	 85
1. L'influence des paramètres géologiques et géotechnique du matériel au sol sur l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL)	85
1.1. La teneur en eau	85
1.2. La granulométrie	86
1.3. La rugosité de surface	87
1.4. La compaction des sédiments	88
1.5. La porosité et l'altération de surface des roches	88
2. L'influence de facteurs physiques sur l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL)	89
2.1. L'angle d'ouverture du faisceau	89
2.2. La température de la source d'émission	90
2.3. La morpho-topographie du littoral	90
3. Conclusion	91
 Conclusion	 93
Références	97
▪ Sites internet	100

Annexe 1. Résultats généraux	101
Annexe 2. Teneur en eau	125
Annexe 3. Granulométrie	133
Annexe 4. Scanographie (format numérique)	153
Annexe 5. Intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) (format numérique)	155
Annexe 6. Variation latérale	157
Annexe 7. Morpho-topographie	177

Liste des figures

Figure 1.	Port de référence (blanc) et ports secondaires (noir) dans le Golfe du Saint-Laurent (Pêches et Océans Canada).	17
Figure 2.	Système LiDAR : laser, GPS et IMU (GPR-Lasermap Image Plus).	22
Figure 3.	Carte de la péninsule gaspésienne avec les zones de survol LiDAR (GPR-Lasrmap Image Plus).	24
Figure 4.	Exemple de courbes granulométriques : A, histogramme et courbe de fréquence; B, courbe cumulative; C, courbe cumulative à ordonnée de probabilité (F. Boulvain, 2005).	30
Figure 5.	Situation géographique des municipalités de Saint-Siméon, Bonaventure et Paspébiac	38
Figure 6.	Points d'échantillonnage sur le site de Saint-Siméon (site 8)	40
Figure 7.	Points d'échantillonnage sur le site de Bonaventure (sites 7, BOP et BO).	41
Figure 8.	Points d'échantillonnage sur le site de Paspébiac (site 5, 6 et PC).	43
Figure 9.	Situation géographique des municipalités de Cap-d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils.	44
Figure 10.	Points d'échantillonnage sur le site de Cap-d'espoir (site AB).	47
Figure 11.	Points d'échantillonnage sur le site de l'Anse-à-Beaufils (sites 3 et AB2).	48
Figure 12.	Situation géographique de la municipalité de Barachois.	49
Figure 13.	Points d'échantillonnages sur le site de Barachois Sud (site 2 et BA).	50
Figure 14.	Points d'échantillonnages sur le site de Barachois Nord (site 1 et BA2).	51
Figure 15.	Images scanographiques des différents faciès sédimentaires retrouvés dans la zone d'étude : sables moyens, graviers, mélange sable et galets, mélange sable et graviers.	56
Figure 16.	Images scanographiques des échantillons de Barachois : échantillons BA1-E8 (conglomérat), BA1-E10 (grès fin) et BA2-E3 (enrochement).	61

Figure 17. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur le site de Paspébiac Ouest – mai 2003.	63
Figure 18. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur le site de Barachois Sud – mai 2004.	64
Figure 19. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites d'échantillonnage – mai 2003 et mai 2004.	65
Figure 20. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la moyenne granulométrique (ϕ) sur tous les sites d'échantillonnage – mai 2003 et mai 2004.	66
Figure 21. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du mode granulométrique (ϕ) des échantillons (une population) de tous les sites – mai 2004.	67
Figure 22. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de l'intensité scanographique (HU) sur tous les sites d'échantillonnages – mai 2003 et mai 2004.	68
Figure 23. Profils sur lesquels la variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL), due à l'angle d'ouverture du faisceau laser, a été mesurée (Barachois Sud – mai 2004).	70
Figure 24. Variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL), due à l'angle d'ouverture du faisceau laser, en fonction de la distance au sol sur la largeur de la trace de la ligne de vol (Barachois Sud – mai 2004).	71
Figure 25. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et zone d'étude de la variation latérale en fonction de la morpho-topographie sur le site de Paspébiac.	72
Figure 26. Exemple de variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la morpho-topographie (flèche sableuse de Paspébiac), MH : marée haute; MB : marée basse.	73
Figure 27. Image d'intensité du signal de retour LiDAR du site de Saint-Siméon – mai 2003.	78
Figure 28. Carte de classification en fonction de la teneur en eau des sédiments sur le site de Saint-Siméon – mai 2003 (a : plage et bancs de graviers et sable émergeant à marée basse; b : marais tidal).	79

Figure 29. Carte de classification en fonction de l'intensité scanographique des sédiments sur le site de Saint-Siméon – mai 2003 (a : plage et bancs de graviers et sable émergeant à marée basse; b : marais tidal). 82

Liste des tableaux

Tableau 1.	Échelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée par Pettijohn et al. (1972) et Foucault et Raoult (1988). <i>Les unités ϕ sont des logatritmes de base 2 de l'inverse des dimensions des particules en mm. Les termes entre parenthèses correspondent aux appellations anglo-saxonnes des unités lithologiques.</i>	12
Tableau 2.	Variation du marnage dans la baie des Chaleurs (Pêches et Océans Canada).	16
Tableau 3.	Normales et moyennes climatiques entre 1971 et 2000 (minimum de 20 ans) à la station météorologique de New Carlisle (Environnement Canada).	19
Tableau 4.	Régime des vents à la station de New-Carlisle (d'après Renaud, 2001).	20
Tableau 5.	Protocole de l'analyse granulométrique en laboratoire.	29
Tableau 6.	Valeurs de l'indice granulométrique et degré de classement – échelle de Füchtbauer (1959).	31
Tableau 7.	Résultats généraux pour tous les sites d'échantillonnage (HP : haut de plage, MP : moyenne plage, BP : bas de plage).	54
Tableau 8.	Données d'intensité scanographique des échantillons des falaises de Percé (Cap d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils) et Barachois.	62
Tableau 9.	Variables et coefficients de confiance des fonctions polynomiales de second degré des courbes de variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL).	70
Tableau 10.	Données d'intensité scanographique et d'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du type de roche des falaises de Percé (Cap d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils) et Barachois.	75
Tableau 11.	Variabilité de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du type de faciès sédimentaire ou anthropique.	76

Introduction

Depuis plusieurs années, la cartographie effectuée à partir de la technique du laser aéroporté qu'est le LiDAR a été appliquée à la surveillance de l'érosion dans des régions côtières telles que les îles-barrière, les plages et les deltas (Brock et al., 2002; Stockdon et al., 2002; Webster et al., 2004). Le LiDAR permet d'obtenir des données d'altitude très précises, mais le système utilisé enregistre également l'intensité du signal laser de retour. Cette dernière donnée est reliée aux caractéristiques réfléchissantes du sol, comme les paramètres géologiques et géotechniques. Par contre, de telles données d'intensité n'ont pas été utilisées par le passé et sont ici quantifiées afin d'évaluer leur potentiel à des fins de cartographie morphologique des sites étudiés.

L'étude a été effectuée en Gaspésie, sur la rive nord de la baie des Chaleurs, afin d'évaluer les limites et le potentiel de la technique LiDAR pour la cartographie côtière en réalisant un étalonnage entre l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) et les différents paramètres géologiques et géotechniques du sol agissant sur cette intensité. Pour y arriver, un survol LiDAR ainsi qu'une campagne de terrain ont été effectués simultanément en 2003 et en 2004, sur le littoral sud de la péninsule gaspésienne.

La région sud de la péninsule gaspésienne présente des systèmes d'énergie hydrodynamique variables et plusieurs types d'environnements tels des plages, falaises, talus et marais tidaux. Afin de représenter cette diversité, huit zones d'études ont été choisies. Au sein de ces zones, plusieurs échantillons de plages, talus et roches ont été recueillis. Cette cueillette était accompagnée de mesures directes qui avaient pour but de caractériser le site du point de vue géologique et géotechnique. Les échantillons prélevés sur les sites ont par la suite subi des analyses effectuées en laboratoire.

Au cours de l'étude, des facteurs physiques, autres que géologiques et géotechniques, se sont rajoutés. En effet, la géométrie et l'environnement immédiat du système LiDAR ainsi que la morphologie et la topographie du terrain ont été identifiés comme des facteurs faisant varier l'intensité du signal de retour LiDAR.

À partir de toutes ces données, plusieurs paramètres, soit la teneur en eau, la granulométrie et l'intensité scanographique des sédiments au sol, l'angle d'ouverture du faisceau laser incident et la morpho-topographie du terrain, ont individuellement été mis en relation avec l'intensité du signal de retour LiDAR. Pour ce faire, une méthodologie d'analyse a été développée afin d'obtenir des résultats concluants et de pouvoir discuter du potentiel cartographique du système LiDAR.

Le premier chapitre présente la géologie locale, les différents environnements côtiers, le contexte hydrodynamique et les conditions météorologiques de la partie sud de la péninsule gaspésienne et de la baie des Chaleurs. Le second chapitre porte sur la méthodologie appliquée, tout au long de cette étude, sur le principe du LiDAR, l'étude de terrain, les mesures effectuées en laboratoire et lors de l'analyse des données recueillies. Le chapitre 3 présente chacune des régions étudiées, Saint-Siméon et Bonaventure, Paspébiac, Cap d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils, et Barachois. Pour chacune de ces régions, l'environnement géographique, géologique côtier et hydrodynamique ainsi que les sites de prélèvements sont décrits. Le chapitre 4 contient tous les résultats obtenus lors de l'étude de terrain et suite à l'analyse de l'intensité du signal de retour LiDAR sur les plages et sur les faciès solides. Une évaluation de la variabilité du signal de retour sur l'ensemble des milieux et une tentative de classification morpho-sédimentologique réalisée sur le site de Saint-Siméon à partir des données de teneur en eau et d'intensité scanographique sont également présentées dans ce chapitre. Finalement, le chapitre 5 discute de l'influence des paramètres géologiques et géotechniques du matériel au sol et des facteurs physiques pouvant faire varier l'intensité du signal de retour LIDAR.

Description des annexes

Les annexes présentées à la suite du présent mémoire contiennent toutes les mesures faites sur le terrain, en laboratoire ainsi que les résultats provenant de l'analyse de ces mesures. L'annexe 1 présente un tableau individuel pour les résultats de chacun des sites de prélèvements accompagné des graphiques de l'intensité du signal de retour LiDAR en fonction de la teneur en eau. Dans le même annexe, on retrouve par la suite un tableau général regroupant les résultats de tous les sites étudiés ainsi que les graphiques de comparaison de l'intensité du signal de retour avec, individuellement, la teneur en eau (les deux années regroupées, par année et par journée de survol), la moyenne granulométrique (pour les deux années), le mode granulométrique (par année), l'intensité scanographique (pour les deux années et par année), le mode scanographique (par année).

Les annexes suivantes regroupent principalement les résultats obtenus au laboratoire. L'annexe 2 contient les tableaux des mesures de teneur en eau effectuées sur les échantillons de plage recueillis en 2003 et 2004. L'annexe 3 est composée des analyses granulométriques, tableaux de résultats et courbes granulométrique, pour tous les échantillons de sédiments. Ces analyses sont présentées par site étudié et par année. L'annexe 3 contient également les tableaux donnant les différents modes granulométriques et scanographiques déterminés avec les histogrammes et les courbes cumulatives provenant des résultats de laboratoire. L'annexe 4, en format numérique seulement, comprend tous les fichiers obtenus à partir du logiciel *Osiris* présentant les statistiques d'intensité scanographique pour chacun des échantillons de plage et de roche étudiés à l'aide du CAT-Scan.

L'annexe 5, contient les images d'intensité LiDAR des sites de prélèvements ainsi que les données d'intensité du signal de retour mesurées autour des points d'échantillonnage et ayant permis de calculer les valeurs d'intensité moyenne associées aux échantillons.

Finalement, les deux derniers annexes contiennent les données ayant permis d'évaluer des facteurs, autres que géologiques ou géotechniques, faisant varier l'intensité du signal

de retour LiDAR. L'annexe 6 présente les profils longitudinaux d'intensité LiDAR provenant des plages de Paspébiac et Barachois ayant permis de quantifier la fluctuation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR due à l'angle incident variable. L'annexe 7 contient des résultats de l'étude des variations de l'intensité du signal de retour LiDAR, engendrées par la morpho-topographie de la plage, obtenus sur des profils transversaux d'intensité LiDAR réalisés sur le site de Paspébiac.

Chapitre 1

La baie des Chaleurs

La description physique de la baie des Chaleurs passe tout d'abord par l'histoire géologique régionale de la péninsule gaspésienne. La géologie de la baie des Chaleurs en tant que tel est ensuite décrite au sein de ce chapitre ainsi que les différents environnements côtiers, le contexte hydrodynamique et les conditions météorologiques retrouvés dans la région. L'information contenue dans les trois dernières sections est essentiellement empruntée du rapport réalisé par Long et al. (2005) et présenté au Ministère des Transports du Québec : *Étude hydrodynamique, sédimentologique et biologique des sites de Maria, Saint-Siméon, Bonaventure, Newport et Cap d'Espoir dans la baie des Chaleurs, Québec, Canada* de Long et al. (2005).

1. La géologie régionale

La péninsule gaspésienne fait partie de la région géologique des Appalaches qui s'est formée au Paléozoïque durant trois périodes géologiques : le Cambro-Ordovicien, le Siluro-Dévonien et le Carbonifère (Bourque, 2005).

L'ensemble Cambro-Ordovicien (formations de Humber et de Dunnage), visible principalement sur la rive sud du Saint-Laurent et en quelques endroits dans la baie des Chaleurs, correspond à la première phase de formation des Appalaches (orogénèse taconienne). Cet ensemble est allochtone et est composé des roches sédimentaires et volcaniques métamorphisées (faciès des schistes verts) des groupes de Mictaw et Maquereau. Ces roches très plissées et faillées ont été formées par d'anciens dépôts dans un bassin océanique. Dans la baie des Chaleurs, les formations de Humber et de Dunnage affleurent respectivement dans la baie de Port-Daniel et à Belledune au Nouveau-Brunswick. Des orthogneiss et des amphibolites forment la bordure du groupe

de Maquereau tandis que les roches sédimentaires du groupe de Mictaw sont des mudstones, siltstones, grès, arkoses et conglomérats.

Le deuxième ensemble, datant du Silurien et Dévonien, constitue la seconde étape de formation des Appalaches (orogénèse acadienne). Constituant le cœur de la péninsule gaspésienne, cet ensemble s'est développé directement sur l'allochtone taconien. Dans la baie des Chaleurs, cet ensemble est représenté par les groupes d'Honorat, de Matapédia et des Chaleurs. Ces formations sont composées de roches sédimentaires formées à partir de dépôts terrigènes (conglomérats, grès et schistes sédimentaires fluviatiles et littoraux) et carbonatés. Elles n'affleurent que très rarement le long de la baie des Chaleurs : à Percé (groupe de Matapédia), à Port-Daniel (groupe des Chaleurs) et à l'est de New Richmond (groupe des Chaleurs).

Le dernier ensemble, déposé lors de l'ultime phase de formation des Appalaches (orogénèse appalachienne), est très peu déformé et constitue les couches sédimentaires d'âge Carbonifère de la région de Percé et de la rive québécoise de la baie des Chaleurs. La formation de Bonaventure (grès rouges fluviatiles et deltaïques) est visible sur tout le littoral étudié. Ces roches, formées en milieu terrestre et reposant sur les deux ensembles précédents, sont composées de dépôts de milieux arides provenant de l'érosion de la chaîne de montagnes. Elles sont composées principalement de clastites grossières de couleur rouge (conglomérats, grès, siltstones et mudstones).

2. La géologie de la baie des Chaleurs

L'environnement géologique de la baie des Chaleurs est composé principalement de deux séquences majeures qui représentent deux aires géologiques distinctes soit les roches sédimentaires du Paléozoïque et les sédiments non consolidés de la phase finale du Quaternaire.

2.1. Les roches sédimentaires

Les roches visibles sur la zone étudiée du littoral de la rive nord de la baie des Chaleurs appartiennent principalement aux roches de l'orogénèse appalachienne (Jutras et al., 2003), plus précisément de la formation de Bonaventure. Les sites de Saint-Siméon, Bonaventure, Cap-d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils présentent les roches sédimentaires de cette formation. Par contre, à l'embouchure de la rivière Bonaventure, la formation de la Pointe Sawyer, déposée en discontinuité sur la formation de Bonaventure, affleure. Plus à l'est, les falaises de Paspébiac sont composées de la formation de Saint-Jules, déposée précédemment à la formation de Bonaventure. Les successions similaires de clastites continentales rouges ont eu pour conséquence que cette formation a auparavant été interprétée comme faisant partie de la formation de Bonaventure (Jutras et Prichonnet, 2002).

Les roches qui affleurent sur le littoral de la baie des Chaleurs, principalement au sein des falaises, sont des roches litées horizontalement et formées principalement de clastites grossières de couleur rouge, *i.e.* des conglomérats, grès, silstones et mudstones.

La bordure littorale de la baie des Chaleurs est peu élevée, généralement inférieure à 150 mètres. Les falaises ont une hauteur moyenne d'environ 5 m, mais peuvent atteindre 50 m, par exemple dans les régions de Paspébiac et Percé.

2.2. Les dépôts quaternaires

Au Quaternaire, la topographie de la péninsule gaspésienne a grandement été remodelée par la succession de plusieurs calottes glaciaires continentales qui ont occasionné érosion, charriage et déposition d'une importante quantité de matériaux meubles (Hocq et Martineau, 1994). Les dépôts quaternaires retrouvés dans la baie des Chaleurs témoignent des mouvements relatifs du niveau moyen au cours de l'Holocène.

Les mouvements du niveau marin à long terme peuvent avoir plusieurs origines. Les variations dépendent des mouvements eustatiques au sein des océans, soient les phénomènes qui affectent le niveau général des océans et des mers de façon uniforme sur toute la planète (accrétion au niveau des dorsales et expansion du lit marin, variations dans le volume de l'eau de mer en liaison avec les cycles de glaciation et de déglaciation et en liaison avec des modifications de la salinité et de la température) ou de façon ponctuelle (déformation de la surface du géoïde). La position du niveau de la mer est aussi affectée par des variations de l'équilibre isostatique des continents (affaissement et soulèvement provoqués par la présence et le retrait d'épaisses calottes glaciaires sur les continents, l'ajout ou l'enlèvement d'une tranche d'eau sur le lit marin, l'érosion des terres émergées et le transfert des matériaux détritiques sur la côte). Les continents sont également le siège de mouvements tectoniques (extension, compression) et de compaction par tassement des sédiments meubles ayant pour effet de déplacer la position relative du niveau de la mer.

Dans le cadre de l'étude, les variations du niveau marin modélisées par Quinlan et Beaumont (1992) montrent que le golfe du Saint-Laurent présente toutes les étapes d'un mouvement eustatique. Par exemple, la partie est de l'Île-du-Prince-Édouard a subi la remontée marine de l'Holocène tandis que la région de Rimouski a subi un rebond isostatique provoquant une baisse relative du niveau marin de plus de 140 m. La baie des Chaleurs se situant entre ces deux régions constitue un stade intermédiaire comparable au côté ouest de l'Île-du-Prince-Édouard. Ce dernier site met en évidence qu'entre 12 ka BP et 8 ka BP, le rebond eustatique qui a suivi la fonte de la dernière calotte glaciaire a généré une baisse relative du niveau marin entre +15 m et -20 m. Ce rebond a été suivi, entre 8 et 4 ka BP, par une remontée marine de -20 à -2 m et ensuite par une stabilisation pour atteindre le niveau marin relatif actuel.

Sur la péninsule gaspésienne, la limite de l'invasion marine date de 13,2 ka. Elle est située à + 100 m dans la partie interne de la baie des Chaleurs. Dans la partie proximale de la baie, elle se situe à + 67 m et date de 12,4 ka BP (Rampton et al., 1984) et à + 46 m au milieu de la baie en arrière de Bonaventure (Gray, 1987). Au nord-est du Nouveau-

Brunswick le niveau maximal atteint par la mer est situé à + 60 m en 13,5 ka BP, à -18 m en 8,5 ka BP, à - 4 m en 4 ka BP avant d'atteindre le niveau actuel (Thomas et al., 1973).

Ces fluctuations du niveau marin relatif ont eu pour conséquences de déposer différents types de sédiments et de modifier l'agencement des différents faciès sédimentaires en zone littorale.

2.3. Le système côtier actuel

Le système côtier actuel de la baie des Chaleurs est formé de dépôts de haut niveau marin et de régression. Ces dépôts visibles à l'ouest du site de Maria et au sud-ouest du site de Cap d'Espoir sont constitués de dépôts fluvio-glaciaires. Ces sédiments meubles subissent également une érosion et alimentent la formation des cordons, les barachois et le littoral de Maria et Bonaventure. Les unités géomorphologiques du littoral sont le reflet des sédiments disponibles. Les dépôts présents en mer sont majoritairement des sédiments grossiers de la surface de transgression.

2.3.1. L'arrière plage

Les faciès sédimentaires sont souvent absents sur l'arrière plage retrouvé au sud de la péninsule gaspésienne. Lorsqu'ils sont présents, ils sont formés de sédiments fluvioglaciaires hétérogènes (silts, sable et graviers) ou par des cordons de matériaux grossiers (sable et galets). La proportion de sable reste toujours très faible et aucune plage ou dune sableuse importante ne forme l'arrière plage. Les sables fluviaux actuels ne constituent pas une source sédimentaire significative puisque les rivières se jetant dans la baie des Chaleurs ne charrient qu'une faible quantité de sédiments.

2.3.2. La plage

La plage typique retrouvée dans la région d'étude est généralement très étroite et constituée d'un mélange de sable et galets en surface et d'une base de galets. La

couverture sableuse est généralement discontinue et ne dépasse pas quelques centimètres d'épaisseur. Une description plus détaillée des différentes parties formant une plage est faite dans la section suivante.

2.3.3. L'avant plage

L'avant plage est la partie de la plage qui est toujours submergée et où se forment des rides d'oscillation et de courant ainsi que des barres parallèles ou obliques au trait de côte. La hauteur de ces dernières est d'ordre métrique et leur longueur se mesure généralement en centaines de mètres. Leur nombre, leur taille, leur forme et leur position sont variables dans le temps (Paskoff, 1998) et sont fonction de l'énergie des houles.

Dans la baie des Chaleurs, l'avant-plage ou plage marine est composée de sable et de galets provenant de l'érosion du littoral et de la couche sédimentaire de remaniement mise en place lors de la remontée marine. Dans les milieux de faible à moyenne énergie tels Maria et Bonaventure, l'avant-plage est souvent colonisée près de la côte par des pelouses de zostères qui se développent dans les sédiments sableux et graveleux. En plus grande profondeur, ce sont des champs de laminaires qui se développent sur les faciès grossiers et sur le substratum rocheux. La zone colonisée constitue une zone de rétention qui limite le transport sédimentaire.

3. Les différents environnements côtiers de la baie des Chaleurs

Le sud de la péninsule gaspésienne présente plusieurs types d'environnements côtiers en région côtière et formés sous différentes conditions hydrodynamiques, climatiques physiques, chimiques et anthropiques. Les principaux environnements de la baie des Chaleurs sont les plages, les marais, les talus et falaises.

3.1. Les plages

Les plages étant un des environnements le plus fréquemment retrouvés dans la baie des Chaleurs et sur lesquels porte la majeure partie de la présente étude, une plus grande attention y est portée. Tout d'abord, les matériaux caractéristiques d'une plage sont présentés. Ensuite, les différents types de plages, associés à des exemples de plage de la région sud de la péninsule gaspésienne, sont expliqués brièvement. Puis, vient une courte description de la morphologie typique d'une plage. Finalement, un aperçu rapide de ce qu'est la dynamique sédimentaire est fourni.

3.1.1. Les matériaux formant une plage

Les sédiments d'une plage sont caractérisés par leur mobilité perpendiculaire au rivage sous l'action des vagues et à leur mobilité parallèle sous l'action de la dérive littorale. Il existe des plages composées uniquement de sable ou exclusivement de galets. Ces dernières sont généralement appelées grèves. Le tableau 1 présente les classes granulométriques des sédiments de plage ainsi que l'unité rocheuse s'y rattachant.

3.1.2. Les types de plages

Les plages en arc de cercles, par exemple la plage de l'anse du Cap à Cap d'Espoir, sont généralement retrouvées dans le fond des baies ou des golfes et ne sont formées que par des dépôts locaux (talus fluvio-glaciaires).

Lorsque le stock sédimentaire est suffisant et l'énergie des houles est de modérée à importante, une dérive littorale active se produit; les sédiments charriés se déposent en partie pour former de longues plages ouvertes sur la mer, par exemple la plage qui longe les municipalités de Saint-Siméon et Bonaventure. Les plages ouvertes s'appuient sur des pointes rocheuses et isolent fréquemment des lagunes par l'édification de cordons dunaires.

Une flèche se forme lorsque la dérive littorale est importante. Cette flèche s'allonge alors dans la direction de cette dernière. Certaines flèches barrent l'entrée d'estuaire lorsque l'énergie des houles est plus importante que l'énergie fluviale, par exemple à Barachois, et d'autres sont le prolongement de plages. La plage de Paspébiac est un exemple de la formation d'une saillie triangulaire formée par la rencontre de deux dérives littorales.

Tableau 1. Échelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée par Pettijohn et al. (1972) et Foucault et Raoult (1988). *Les unités phi (ϕ) sont des logatrithmes de base 2 de l'inverse des dimensions des particules en mm. Les termes entre parenthèses correspondent aux appellations anglo-saxonnes des unités lithologiques.*

Dimensions en mm		Dimensions en fraction de mm		Dimensions en unité phi		Classe de taille de Wentworth	Unités
>	256	>	256	-12	-8	Blocs	Rudites (Gravel)
256	64	256	64	-8	-5	Galets	
64	4	64	4	-5	-2	Graviers	
4	2	4	2	-2	-1	Granules	
2	1	2	1	-1	0	Sables très grossiers	Arénites (Sand)
1	0,5	1	½	0	1	Sables grossiers	
0,5	0,25	½	¼	1	2	Sables moyens	
0,25	0,125	¼	1/8	2	3	Sables fins	
0,125	0,063	1/8	1/16	3	4	Sables très fins	
0,063	0,032	1/16	1/32	4	5	Silts grossiers	Lulites (Silt) (Clay)
0,032	0,016	1/32	1/64	5	6	Silts moyens	
0,016	0,008	1/64	1/128	6	7	Silts fins	
0,008	0,004	1/128	1/256	7	8	Silts très fins	
0,004	0,00006	1/256	1/16364	8	14	Argiles	

3.1.3. La morphologie des plages

La pente d'une plage varie en fonction des sédiments qui la compose et des caractéristiques des vagues déferlantes. Lorsqu'elle est formée de sédiments grossiers, la pente est plus forte car la nappe de retrait est affaiblie par l'infiltration d'une grande quantité d'eau. Une plage pentue tend à réfléchir les vagues tandis qu'une plage moins pentue favorise la dissipation de l'énergie des vagues (Short, 1993).

La plage est divisée en trois sections: le haut de plage, la moyenne plage et le bas de plage. Le haut de plage est la partie de l'estran qui est recouverte exceptionnellement par l'eau lors de surcotes de tempête. Il est formé par l'accumulation de matériaux par les mers les plus hautes, par les vagues de tempêtes et par la poussée des glaces en hiver (bourrelet de haute plage).

La moyenne plage est la zone couverte par les hautes marées normales moyennes (estran). Généralement, lorsqu'une plage est constituée de sables et de galets, les éléments grossiers sont accumulés dans la partie haute de l'estran et les sédiments fins dans la partie basse. La limite entre le haut et la moyenne plage est le siège des croissants de plage qui se forment dans la zone du jet de rive.

Sur le bas de la zone intertidale se forment des rides de plage ainsi qu'une alternance de bancs et de gouttières dans lesquelles l'eau subsiste à marée basse.

3.1.4. La dynamique sédimentaire

Sur le littoral, le sable de plage est remis en mouvement par l'action de la houle. Selon le degré d'énergie de la houle, les sédiments d'une plage sont remaniés et montrent une distribution granulométrique variable. Une distribution symétrique entre les parties fine et grossière est caractéristique d'un stock sédimentaire d'une plage en équilibre. Lorsqu'il y a érosion, les éléments fins sont entraînés, un déséquilibre de la distribution se crée et seuls les éléments grossiers auront tendance à rester en place. La nouvelle plage est donc composée majoritairement des éléments grossiers non transportés tandis que l'accumulation des éléments fins exportés hors de la plage forme une nouvelle plage ayant une nouvelle distribution granulométrique plus fine.

Selon la source sédimentaire, un environnement côtier possédant un régime à forte énergie peut présenter des sédiments grossiers et bien triés, tandis qu'un environnement à faible énergie peut pour sa part présenter des sédiments fins mal triés, lorsque proche de la source (zone érodée), ou bien triés, lorsque loin de la source.

3.2. Les marais

Les marais sont de basses étendues littorales abritées, périodiquement submergées, qui sont le siège d'une sédimentation fine de type vase. Ces environnements se retrouvent sur les bords d'estuaire, comme à Barachois et à Bonaventure, en arrière de flèches, comme à Saint-Siméon, sur les rives de lagunes, comme à Paspébiac, ou à l'abri de chaînes d'îles-barrières.

Le marais maritime est composé de deux parties, l'une inférieure et sans végétation, la slikke (*tidal flat*), et l'autre, légèrement plus élevée et couverte de végétation herbacée, appelée schorre (*salt marsh*). La slikke est inondée à chaque marée et sillonnée de chenaux de différentes tailles. La slikke et le schorre peuvent être séparés par une microfalaise ou par la haute slikke. Cette dernière n'est pas submergée à chaque marée et les chenaux s'y font plus rares tandis que la végétation fait son apparition. Le schorre est inondé seulement lors des grandes marées de vives eaux. Le schorre est troué par des chenaux et des mares et en dehors de ceux-ci, il est couvert d'une végétation basse et dense.

3.3. Les falaises et talus

Les falaises et les talus sont des formes d'érosion littorale, les falaises étant formées de matériaux cohérents (calcaires, grès, roches volcaniques, granitiques ou métamorphiques) et les talus de sédiments meubles (sables, limons, argiles). Il s'agit de parois plus ou moins verticales attaquées par la mer.

Les caractéristiques physiques des falaises et talus dépendent des conditions topographiques et structurales et des processus morphogéniques marins et subaériens. La hauteur de la paroi est fonction du volume de relief attaqué par la mer. La nature des roches détermine la morphologie des falaises. Une formation meuble présente un recul plus rapide et un profil moins raide que dans des matériaux cohérents. Les falaises et les talus peuvent alimenter des éboulis et être le siège de ravinements et de glissements.

Sur la côte sud de la péninsule gaspésienne, le versant des falaises recule généralement parallèlement à lui-même, laissant devant lui une rampe d'érosion rocheuse faiblement inclinée vers la mer qui se prolonge en mer jusqu'à - 10 m (Long et al., 2005). Une falaise est vive lorsqu'elle est régulièrement attaquée par la mer et présente un escarpement raide. Elle est stabilisée quand elle est atteinte par les vagues seulement lors de tempêtes exceptionnelles. Le pied de la falaise est alors protégé par une accumulation de débris souvent couvert de végétation. Une falaise est morte lorsque le rivage s'en est éloigné par suite d'alluvionnement ou de baisse du niveau marin et elle subit principalement une érosion due aux conditions climatiques.

3.4. Les enrochements

Les enrochements sont des apports de blocs de roche dense ou de béton mis en place par l'Homme au pied des murs de soutènement, directement au pied des talus et falaises ou le long de constructions humaines devant être protégées. En Gaspésie, des enrochements sont présents le long du talus formant l'arrière plage entre Saint-Siméon et Bonaventure, au pied des falaises dans le secteur de l'Anse-à-Beaufils, le long de la voie ferrée qui passe sur l'île-barrière à Barachois.

4. Le contexte hydrodynamique de la baie des Chaleurs

La baie des Chaleurs constitue le quatrième estuaire en importance de l'est du Canada (Syvitski, 1992). Cet estuaire s'étire sur une longueur de 180 km et sur une largeur maximale de 38 km couvrant ainsi une superficie totale de 5670 km². La profondeur maximale atteinte dans la baie des Chaleurs, à la limite externe, est de 135 m (Renaud, 2001).

4.1. Les marées

Les marées de la baie des Chaleurs sont mixtes, de type semi-diurne et sont influencées par la position des deux points amphidromiques situés au sud des îles-de-la-Madeleine (onde semi-diurne) et au large de l'île-du-Sable (onde diurne). L'étude des sédiments et des assemblages micro faunistiques a mis en évidence que les conditions océanographiques actuelles de la baie des Chaleurs sont les mêmes que celles qui prévalaient il y 5 000 ans (Syvitski, 1992).

Durant le flot, les courants sont plus intenses sur la rive nord alors que durant le jusant ils sont plus intenses sur la rive sud. La vitesse des courants générés par la marée est de l'ordre de 15 à 20 cm/s, qui est au-dessus du seuil de transport des particules sableuses. Ces courants peuvent atteindre 40 cm/s dans certaines zones et même exceptionnellement 1 m/s au niveau des passes (Renaud, 2001). Ces informations expliquent les remaniements sédimentaires observés dans les passes et les entrées des barachois ainsi que la formation de deltas de jusant à l'embouchure des petits ruisseaux (Saint-Siméon et Bonaventure).

Les données de marées à l'intérieur de la baie des Chaleurs (tableau 2) sont obtenues à partir des données de Pêche et Océans Canada (Table des marées et courants du Canada 2003 et 2004, volume 2, golfe du Saint-Laurent). Le port de référence est celui de Pointe Saint-Pierre, situé à l'extérieur de la baie, près de Percé (figure 1).

Tableau 2. Variation du marnage dans la baie des Chaleurs (Pêches et Océans Canada).

Port	Marnage marée moyenne (m)	Marnage grande marée (m)
Carleton	1,9	2,7
Black Cape	1,7	2,5
Paspébiac	1,5	2,2
Port-Daniel	1,3	2,0
Grande-Rivière	1,1	1,8
Pointe Saint-Pierre	1,1	1,7

La marée s'amplifie au fur et à mesure qu'elle avance dans la baie des Chaleurs (tableau 2). Le marnage, ou l'amplitude, de la marée moyenne est de 1,1 m au port de référence de Pointe Saint-Pierre et de 1,9 m au port secondaire de Carleton (partie ouest à l'intérieur de la baie des Chaleurs). Lors de la période de grande marée, le marnage peut atteindre respectivement 1,7 et 2,7 m.



Figure 1. Port de référence (blanc) et ports secondaires (noir) dans le Golfe du Saint-Laurent (Pêches et Océans Canada).

4.2. Les houles

À l'est, la baie des Chaleurs subit l'influence du régime des houles contrôlant le golfe du Saint-Laurent. En pénétrant dans la baie, l'influence provient de plus en plus des houles locales. À l'entrée de la baie, la hauteur significative de la houle de tempête est de 2,1 mètres et sa période est de 9 secondes. Lors de tempêtes exceptionnelles, les houles extrêmes peuvent atteindre des valeurs respectives de 4,9 m et 9 secondes (Syvitski, 1992). Lors de trois tempêtes tropicales majeures (janvier 2000 : 951 hPa, octobre 2000 : 979 hPa et novembre 2001 : 958 hPa) qui sont remontées le long des provinces Atlantiques, des surcotes respectives de 2,0, 1,5 et 2,2 m ont été observées. Ces surcotes étaient accompagnées de houles significatives de 7 m et de 13,3 secondes de période (Forbes et al., 2004). De plus, à l'occasion d'une étude précédente (Long et al., 2005),

des mesures ponctuelles ont été effectuées à l'entrée de la baie (Anse-à-Beaufils). Une hauteur significative de plus de 5 m et une période de 10,5 secondes ont été enregistrées lors d'une tempête à l'automne 2002. L'étude exhaustive effectuée par Forbes et al. (2004) sur les variations du niveau marin relatif dans la partie sud de la baie des Chaleurs depuis le début du siècle montre qu'en moyenne 5 surcotes par an ont été mesurées depuis 1950, où 10 surcotes par an ont été observées 14 fois et 15 surcotes par an l'ont été deux fois. Ces surcotes peuvent atteindre 1,3 m mais sont généralement comprises entre 0,6 et 0,9 m.

4.3. Le système hydrique

Plusieurs rivières et ruisseaux, suivant des vallées depuis le centre de la péninsule, débouchent dans la baie des Chaleurs. Les principaux bassins versants sont, d'ouest en est, ceux des rivières Matapédia, Restigouche, Nouvelle, Cascapédia et Bonaventure. Les sites étudiés dans ce projet sont généralement localisés hors d'atteinte de l'influence de ces cours d'eau, excepté pour les sites de Bonaventure et de Barachois. Les données de débit utilisées proviennent de l'annuaire hydrologique du Québec (1981-1982).

La partie orientale du site de Bonaventure est influencée par la sortie de la rivière Bonaventure. Cette dernière a un débit maximum instantané de 502 m³/s, un débit maximum journalier de 487 m³/s et un débit d'étiage de 6,06 m³/s. Son module est de 59,7 m³/s. Le débit d'automne (376 m³/s) est du même ordre de grandeur que le débit de printemps (487 m³/s). À ce débit s'ajoute le prisme de marée important qui se forme dans le barachois et qui double le volume d'eau qui transite en période de jusant par le chenal externe. Il en résulte la formation au large d'un vaste delta de jusant sableux.

5. Les conditions météorologiques de la baie des Chaleurs

5.1. La température et les précipitations

Les moyennes mensuelles de températures et précipitations dans la région sud de la péninsule gaspésienne, plus précisément à la station météorologique de New Carlisle d'Environnement Canada, sont présentées dans le tableau 3. La température moyenne varie entre -11,3 °C, au mois de janvier, et 17,6 °C, en juillet tandis que les précipitations mensuelles moyennes totales sont minimales en janvier et maximales août, avec des valeurs respectives de 56,5 et 108,2 mm.

Tableau 3. Normales et moyennes climatiques entre 1971 et 2000 (minimum de 20 ans) à la station météorologique de New Carlisle (Environnement Canada).

	janv	févr	mars	Avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Température												
Moyenne (°C)	-11,3	-10	-4,3	1,6	8,1	12	17,6	17,2	12,0	6,0	0,3	-7,3
Écart-type (°C)	1,9	1,9	1,8	1,1	1,2	1,5	1,2	1,0	1,0	0,9	1,5	2,3
Précipitations												
Pluie (mm)	28,3	10,2	37,8	59,7	95,1	99,2	97,8	108,2	88,4	104,5	72,6	37,8
Neige (cm)	60,8	46,3	42,4	23,8	1,0	0	0	0	0	1,0	18,7	61,7
Total (mm)	89,5	56,5	80,8	83,5	96,1	99,2	97,8	108,2	88,4	105,5	91,3	99,5

5.2. Les vents

Les données de vent utilisées pour cette étude proviennent de la station météorologique de New-Carlisle (tableau 4) qui est située au centre de la baie des Chaleurs. La majorité des vents dominants (58%) proviennent de l'ouest et du nord-ouest avec des vitesses moyennes maximales de plus de 20 km/h.

Ces valeurs ne sont pas totalement représentatives de l'ensemble de la baie car un effet de couloir modifie grandement les vents à l'intérieur de la baie. À l'intérieur de la baie, les vents dominants proviennent de l'ouest et du nord-ouest pendant plus de la moitié de l'année (58%). Les vents importants qui sont à l'origine de l'érosion côtière de la rive gaspésienne de la baie proviennent de l'est et du sud-est. Ces vents ont une fréquence de

14% et possèdent une intensité suffisante pour générer des vagues de 1,5 m de hauteur significative et de plus de 3 secondes de période. Lors des tempêtes extrêmes, ces vagues peuvent atteindre 2,5 m de hauteur significative et 7 secondes de période. Ces vagues ont la capacité de remanier le fond marin jusqu'à une profondeur de 5 m.

Tableau 4. Régime des vents à New Carlisle (Renaud, 2001).

Directions	Secteurs	Vitesse (km/h)	Pourcentage
337,5 – 22,5	N	9,93	10,6
22,2 – 67,5	NE	10,85	8,09
67,5 – 112,5	E	9,06	8,74
112,5 – 157,5	SE	9,88	5,03
157,5 – 202,5	S	9,94	4,76
202,5 – 247,5	SO	9,83	4,11
247,5 – 292,5	O	20,49	36,98
292,5 – 337,7	NO	10,64	21,41

En plus de la formation des vagues, l'action des vents provoque la formation de courants de cisaillement à la surface de l'eau. La vitesse du courant produit par les vents est estimée à 3% de la vitesse du vent et jusqu'à 5% en zone littorale. Ainsi, un vent qui atteint une vitesse supérieure à 15 km/h peut créer un courant susceptible d'entraîner des sédiments sableux.

6. Conclusion

Le sud de la péninsule gaspésienne présente plusieurs types d'environnements côtiers dépendant de la géologie régionale, que ce soit au niveau des formations rocheuses et des dépôts quaternaires datant de la dernière glaciation, du contexte hydrodynamique à l'intérieur de la baie des Chaleurs, ainsi que des conditions climatiques de la région. Des environnements de hautes et de faibles énergies hydrodynamiques sont retrouvés dans ce secteur. Les sites choisis pour cette étude présentent bien cette variabilité du littoral gaspésien.

Chapitre 2

Méthodologie

Le présent chapitre traite des différentes étapes réalisées afin d'obtenir les résultats présentés au chapitre 5. Premièrement, l'utilisation du LiDAR pour cette étude entraîne un retour sur l'histoire du développement de cette technologie, une description du système utilisé, un retour sur la prise de données lors des relevés aéroportés et sur le post-traitement réalisé ainsi qu'un commentaire sur les données d'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL). Puis, les techniques employées lors de l'étude de terrain et des analyses en laboratoire sont décrites. Finalement, le déroulement de l'analyse des résultats est expliqué.

1. Le principe du LiDAR

Le LiDAR (*Light Detection And Ranging*) est une méthode active de télédétection. Cette technique aéroportée basée sur un laser permet de recueillir rapidement et précisément une grande quantité de données topographiques. Les principes de base ont été discutés par de nombreux auteurs (Krabill et al., 1995; Baltsavias, 1999a; Baltsavias, 1999b; Blair et al., 1999; Brock et al., 2002; Krabill et al., 2002; Stockdon et al., 2002; Webster et al. 2004). Le système LiDAR est composé d'un laser de balayage monté sur un petit avion qui émet vers le sol et à grande vitesse (jusqu'à 100 kHz, impulsions par seconde) de courtes impulsions laser de longueurs d'onde du visible ou de l'infrarouge proche (IR) et mesure le temps de parcours, aller-retour, de chaque impulsion. Les systèmes LiDAR plus développés peuvent mesurer et enregistrer le temps de parcours et l'intensité de plusieurs signaux de retour produits par la multi-réflexion sur différents éléments au sol d'une unique impulsion émise.

Le LiDAR a généralement été appliqué à l'évaluation des changements côtiers (îles-barrières, plages et estuaires). Il permet d'effectuer rapidement la cartographie topographique aérienne de grande superficie à partir de rayons lumineux (laser).

1.1. Le système LiDAR

Le système utilisé est monté à bord d'un avion de type *Navajo* appartenant à la compagnie *GPR-Lasermap Image Plus*. L'espace restreint permet à un ou deux techniciens d'opérer le système. Trois composantes forment le LiDAR (figure 2), soit un laser, un système de positionnement global (GPS) et un système inertiel (IMU).

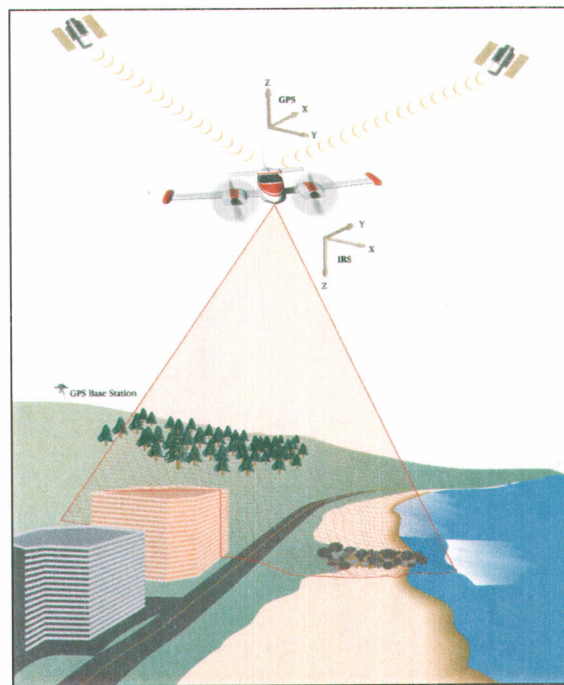


Figure 2. Système LiDAR : laser, GPS et IMU (GPR-Lasermap Image Plus).

1.1.1. Le laser

Pour cette étude, le laser *ALTM-2050* d'*Optech* a été utilisé. Cet appareil est composé d'un laser infrarouge de longueur d'onde de 1064 nm, émettant des impulsions d'une durée de 6 ns à une fréquence d'émission de 50 kHz (50 000 mesures par seconde).

1.1.2. Le système différentiel de positionnement global

Le positionnement de l'avion est obtenu à l'aide d'un système de positionnement satellitaire (GPS, *Global Positioning System*), le 4000 SSI de Trimble fonctionnant à 2 Hz. Les données de 2003 sont corrigées en post-traitement à l'aide des stations fixes de la Garde Côtière canadienne (1 Hz), tel la station d'Escuminac. En 2004, une station privée RTK est utilisée pour la correction des données.

À partir du positionnement de l'avion, il est possible d'obtenir les coordonnées XYZ des points de mesure LiDAR au sol.

1.1.3. Le système inertiel

L'attitude de la plate forme d'acquisition (un *Navajo*) est corrigée grâce à une centrale inertielle (IMU, *Inertial Measurement Unit*), l'*Applanix* fonctionnant à une fréquence de 200 Hz. Les erreurs moyennes de 0.005° pour le tangage, de 0.005° pour le roulis et de 0.015° pour le mouvement en lacet de l'appareil mènent à une précision horizontale de la position au sol de 7 cm.

1.2. Les relevés aéroportés (LiDAR)

Les deux relevés aéroportés effectués par *GPR-Lasermapping Image Plus* ont été réalisés à une année d'intervalle. La première année (2003), le survol a été effectué sur deux jours au mois de mai. Une seule ligne de vol parallèle à la côte a été effectuée sur 8 zones choisies selon le degré d'érosion par rapport à la route régionale (route 132) (figure 3).

Au mois de mai 2004, le second survol a également été réalisé en deux jours au-dessus des mêmes zones. Un premier passage a été effectué sur la même ligne de vol que l'année précédente et, au-dessus des falaises, un second a été réalisé à 200 m plus au large afin de couvrir les falaises sous un angle oblique. Des lignes de vols perpendiculaires à la côte ont également été rajoutées aux parallèles au-dessus de sites

d'échantillonnage afin de déterminer le coefficient de dispersion latérale de l'intensité du signal de retour.

La campagne de terrain devait se faire au moment le plus propice de l'année, c'est-à-dire lorsque la présence de végétation ou de neige au sol est minimale. Les relevés se sont également déroulés lors d'une période de grande marée et à marée basse afin d'avoir une plus grande surface de la plage libre d'eau. Lors du relevé de 2003, un deuxième équipement était monté à bord : la vidéogrammétrie. La compagnie *Geo-3D* a effectué une couverture vidéo verticale et oblique qui a permis d'appuyer qualitativement l'interprétation des données de signal de retour LiDAR.



Figure 3. Carte de la péninsule gaspésienne avec les zones de survol LiDAR (GPR-Lasrmap Image Plus et Ministère des Transports du Québec).

Afin d'assurer une couverture dense de la zone côtière, une vitesse de balayage du faisceau laser de 17 hertz, un angle d'ouverture du miroir de 15°, une altitude et une vitesse de vol de, respectivement, 800 et 70 mètres par seconde ont été prédéterminés. Ces paramètres de mesure ont permis de bien couvrir plus de 120 km de côte sur un

corridor de 600 m de largeur, avec une densité de mesure de trois données par mètre carré. L'espacement des points au sol est de 30 cm le long d'une ligne de balayage et de 150 cm entre deux lignes de balayage. L'empreinte du laser sur la surface des sédiments a un diamètre de 16 cm.

1.3. Le post-traitement

Le post-traitement des données consiste à améliorer la précision des coordonnées GPS et à classer les données LiDAR brutes. Un total de 15 gigabits (Gb) de données a été recueilli lors des survols effectués sur deux ans. La position horizontale est donnée en MTM (*Modified Transverse Mercator*) zone 5 ou 6, basé sur l'ellipsoïde NAD83 et l'altitude est référée au Niveau Moyen de la Mer (NMM). À l'aide du logiciel *Terradscan*, les données LiDAR brutes sont classées en deux catégories de points, celles qui représentent le sol et celles qui représentent le haut du couvert végétal.

Dans le cadre d'une autre étude effectuée sur les mêmes données (Xhardé et al., 2006), les fichiers LiDAR des données représentant le sol sont analysés avec le logiciel *ArcView* 8.3 afin de produire pour chaque site les réseaux irréguliers de triangulation (RIT ou TIN, *Triangulated Irregular Networks*), les modèles numériques de terrain (MNT) et les modèles numériques d'intensité (MNI) avec un maillage de 0,3 x 0,3 mètre.

1.4. L'intensité du signal de retour LiDAR

Le système d'enregistrement du LiDAR donne une quatrième valeur en plus des données topométriques (coordonnées de longitude, de latitude et d'altitude), soit la valeur d'intensité du signal de retour du laser (ISRL). L'évaluation de ce paramètre fait l'objet de la présente étude. L'intensité du signal de retour laser varie en fonction des caractéristiques du sol en surface (pénétration de l'ordre du μm) tels que la distribution granulométrique, la teneur en eau, le type de roche, la porosité, la densité et la couleur ainsi qu'avec différents facteurs externes tels l'effet de l'angle d'ouverture du faisceau laser lors du balayage et la température de la source qui fait varier l'intensité d'émission.

Les données filtrées sont utilisées afin d'estimer l'intensité du signal de retour LiDAR sur les différentes zones de la plage. Du fait de l'impossibilité d'avoir un point d'échantillonnage sur une trace LiDAR au sol, il a fallu développer une stratégie particulière d'analyse. À partir des coordonnées de positionnement des échantillons prélevés sur les sites d'études, une moyenne des données d'intensité mesurées à proximité est calculée sur un rayon de 1,5 mètre. Ce rayon a été choisi afin d'avoir un nombre suffisant de mesures pour calculer la valeur moyenne. La valeur d'intensité mesurée la plus près du point DGPS est également notée, mais finalement non utilisée puisque similaire à la valeur moyenne calculée. Cette moyenne peut ensuite être comparée à chacun des différents paramètres géologiques et géotechniques mesurés sur les échantillons terrestres.

2. L'étude de terrain

Afin de prélever les échantillons nécessaires à l'évaluation de l'influence des paramètres géologiques et géotechniques du sol sur le signal de retour LiDAR, une campagne de terrain a été réalisée sur la zone côtière lors des deux relevés aéroportés effectués au sud de la péninsule de la Gaspésie. Cette région est caractérisée par plusieurs types d'environnement, incluant les plages, les falaises, les talus et les marais tidaux. Le choix des zones d'études s'est effectué en fonction de la diversité au niveau du degré d'énergie du système côtier, de la granulométrie des sédiments littoraux et des faciès sédimentaires. Des échantillons de sédiments de plage, de talus et de marais ainsi que de roches dans les falaises et sur les enrochements ont donc été prélevés.

2.1. Le positionnement

Durant la campagne d'échantillonnage, le positionnement des prélèvements est obtenu à l'aide d'un système différentiel de positionnement mondial (DGPS, *Differential Global Positioning System*), le *Pathfinder Pro XRS* de *Trimble*. Les coordonnées sont en format MTM et utilisent la référence NAD 83. La correction DGPS est effectuée en

temps réel à partir des bases fixes de la Garde côtière. La résolution horizontale est de l'ordre du décimètre et la résolution verticale de l'ordre du demi-mètre. Le système est portable et permet à l'opérateur de placer l'antenne GPS directement au-dessus du point de mesure. Le carnet de terrain enregistre la position XYZ des points de mesure.

2.2. L'échantillonnage

L'échantillonnage s'est déroulé en plusieurs phases étalées sur les étés 2003 et 2004. Durant la première phase, l'échantillonnage s'est concentré sur les plages afin de mesurer la teneur en eau des sédiments non consolidés au moment du passage de l'avion. Lors du survol réalisé en mai 2003, des prélèvements ont été faits sur 8 sites au sein des municipalités de Saint-Siméon, Bonaventure, Paspébiac, Cap d'Espoir, Anse-à-Beaufils et Barachois. Le relevé se faisant sur deux jours, quatre sites ont été survolés par jour et une personne par site a recueilli 7 échantillons de teneur en eau ainsi que 7 carottes sur une même ligne allant du bas au haut de plage. Les carottes ont permis d'échantillonner les sédiments de surface jusqu'à une profondeur d'une quinzaine de centimètres et avait un diamètre de 10 centimètres.

Durant l'été 2003, une campagne de terrain s'est également déroulée au mois d'août. Cette campagne avait pour but de caractériser les falaises de la côte sud de la péninsule gaspésienne et d'échantillonner les roches en place si elles présentent une surface visible suffisante pour le LiDAR. Aussi, seul le bas et/ou le haut des falaises ont été échantillonnées selon l'accès disponible à marée basse où au niveau de ruisseaux qui ont érodé le haut des falaises et ainsi découvert la roche. Des échantillons des talus, marais, arrières plages et enrochements de la région ont également été réalisés.

Lors du second survol LiDAR, en mai 2004, 8 autres sites d'échantillonnage ont été sélectionnés sur les plages des mêmes municipalités qu'en mai 2003. Étant donné que les équipes étaient alors formées de deux personnes, un minimum de 23 prélèvements de teneur en eau et de 15 échantillons de sédiments de surface ont été effectués sur chaque site lors du passage de l'avion. Un quadrillage de la plage a donc été réalisé en couvrant

le haut, la partie centrale et le bas de plage. Au niveau du bas de plage, trois mesures de teneur en eau ont été faites au moment de trois passages rapprochés de l'avion, soit lors du passage parallèle à la côte et lors des deux passages perpendiculaires à la côte, afin d'évaluer les fluctuations rapides de la teneur en eau dues à la marée. Les lignes de vols perpendiculaires à la côte et l'échantillonnage sur un même niveau de plage ont été réalisées afin de mesurer les variations latérales des données d'intensité LiDAR dues à un effet de l'angle de balayage du faisceau laser. Quelques échantillons de talus, falaises, enrochements et marais ont également été prélevés.

3. Les mesures effectuées en laboratoire

Plusieurs techniques en laboratoire sont utilisées pour déterminer les caractéristiques des échantillons recueillis. Une première est la technique de scanographie qui est à la base une méthode d'imagerie médicale. Durant la dernière décennie, cette technique a été utilisée dans différents champs d'étude de la géologie. Elle sert aujourd'hui une application spéciale sur un environnement géologique côtier. Les autres techniques de laboratoires utilisées sont plus conventionnelles et consistent en des mesures de teneur en eau et des analyses granulométriques.

3.1. La teneur en eau

Le calcul de la teneur en eau des échantillons prélevés sur les sites d'étude a été effectué selon le protocole standard (Reading, 1980). Le pourcentage massique d'eau contenu dans le contenant d'échantillonnage a été déterminé en mesurant la masse humide et la masse sèche après passage dans une étuve pendant plus de 24 heures à une température d'environ 70° C.

3.2. L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été effectuée sur les échantillons de sédiment de plage sec par tamisage. En laboratoire, un protocole préalablement établi (tableau 5) a été suivi.

Les tamis utilisés ont une ouverture de maille allant de 63 μm (limite entre le sable et le silt) à 16 mm (classe des petits galets ou cailloux). L'échelle utilisée pour étudier les résultats est en unité phi (ϕ). Cette échelle logarithmique correspond au logarithme de base 2 de l'inverse des dimensions de particules exprimés en mm. Dans l'échelle phi, les valeurs limites mentionnées précédemment équivalent respectivement à 4 ϕ et -4 ϕ .

Tableau 5. Protocole de l'analyse granulométrique en laboratoire.

Étapes	Manipulations	But
1	Prélever un volume de sédiment.	
2	Laver le sédiment dans un bac en plastique.	Éliminer le sel et les autres débris (algues, bois, etc.).
3	Laisser décanter quelques minutes.	Séparer l'eau du sédiment.
4	Enlever le surplus d'eau.	Éliminer l'eau sale.
5	Répéter un minimum de trois (3) fois le lavage.	Obtenir une eau claire.
6	Transférer le sédiment dans un bol.	Mettre l'échantillon à l'étuve.
7	Placer dans l'étuve à une température d'environ 70°C pendant 24 heures ou plus.	Faire sécher complètement l'échantillon.
8	Peser le sédiment total brut.	Obtenir la masse totale (bol et sédiments).
9	Tamiser le sédiment pendant 10 minutes.	Séparer les classes granulométriques.
10	Peser le bol vide.	Obtenir la masse du bol.
11	Vider le refus du premier tamis dans un grand bol placé sur la balance.	Obtenir la masse du refus.
12	Récupérer les derniers grains à l'aide d'une brosse, mais sans pousser les grains à travers les mailles	Ne pas agrandir le diamètre du maillage.
13	Répéter l'étape 11 pour le second tamis (dans le même bol).	Obtenir la masse des deux refus.
14	Répéter les étapes précédentes pour tous les tamis.	Obtenir la masse cumulative.

Le traitement statistique des données s'effectue à partir des courbes de fréquence et des courbes cumulatives (figure 4). Pour décrire et caractériser les courbes granulométriques, des paramètres graphiques construits à partir de certain percentiles sont utilisés. Les valeurs indicatives sont les diamètres des particules correspondant aux fréquences pondérales de 5, 16, 25, 50, 75, 84 et 95%. Ils permettent de déterminer les paramètres suivants établis par Folk et Ward (1987) : la taille moyenne des grains (moyenne graphique), l'indice de classement (écart-type), le coefficient d'asymétrie (skewness) et le coefficient d'acuité (kurtosis). Le logiciel *MatLab* est utilisé pour calculer les différents paramètres.

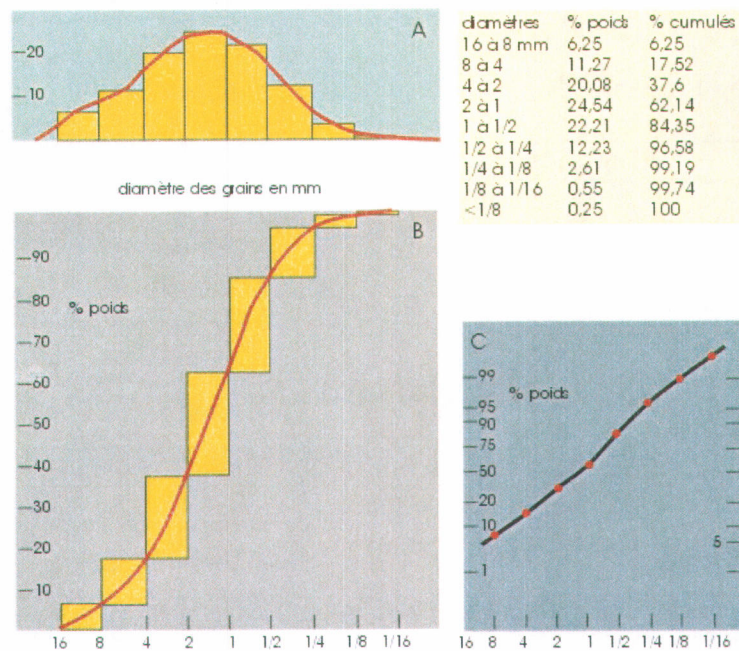


Figure 4. Exemple de courbes granulométriques : A, histogramme et courbe de fréquence; B, courbe cumulative; C, courbe cumulative à ordonnée de probabilité (F. Boulvain, 2005).

3.2.1. La moyenne granulométrique

La moyenne granulométrique correspond à la moyenne de la distribution logarithmique ou arithmétique des valeurs de variables indépendantes. Cette moyenne simplifiée est calculée à partir de la formule de Ward et Folk :

$$M_{\phi} = \frac{Q_{16} + Q_{50} + Q_{84}}{3},$$

où Q est en unités phi.

3.2.2. L'indice granulométrique (ou de classement)

L'indice granulométrique (ou de classement) correspond à l'écart-type et permet d'évaluer l'étalement des échantillons. Pour cette étude, l'équation permettant de calculer l'indice de Folk et Ward a été utilisée :

$$\sigma_{\phi} = \frac{Q_{84} - Q_{16}}{4} + \frac{Q_{95} - Q_5}{6.6}.$$

Un indice granulométrique ayant une valeur de 0.5 montre un classement parfait de l'échantillon (tableau 6). Plus la valeur est élevée, plus le classement est mauvais.

Tableau 6. Valeurs de l'indice granulométrique et degré de classement – échelle de Füchtbauer (1959).

Indice granulométrique	Degré de classement
$\sigma_{\phi} < 1.23$	très bon
$1.23 < \sigma_{\phi} < 1.41$	Bon
$1.41 < \sigma_{\phi} < 1.74$	Moyen
$1.74 < \sigma_{\phi} < 2$	Mauvais
$2 < \sigma_{\phi}$	très mauvais

3.2.3. Le coefficient d'asymétrie

Le coefficient d'asymétrie (skewness) permet de déterminer si la distribution est asymétrique en favorisant les éléments grossiers ou fins. Le coefficient d'asymétrie de Folk et Ward se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$Sk_{\phi} = \frac{Q_{16} + Q_{84} - 2Q_{50}}{2(Q_{84} - Q_{16})} + \frac{Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}}{2(Q_{95} - Q_5)}.$$

Le coefficient d'asymétrie exprime la symétrie de l'histogramme (courbe de fréquence) par rapport à la médiane :

$Sk_{\phi} < 1$, le classement est maximum vers les fines;

$Sk_{\phi} = 1$, la symétrie est parfaite;

$Sk_{\phi} > 1$, le classement est maximum vers les grossiers.

3.2.4. Le coefficient d'acuité

Le coefficient d'acuité (kurtosis) permet de déterminer l'homogénéité ou l'hétérogénéité de l'échantillon. La formule de Folk et Ward suivante permet de calculer le coefficient d'acuité :

$$K_{\phi} = \frac{Q_{95} - Q_5}{2.44(Q_{75} - Q_{25})}.$$

Lorsque qu'il y a deux populations en proportions égales, une courbe platykurtique est obtenue. Si une des populations prédomine, la courbe est plutôt leptokurtique.

3.2.5. Les modes (ou populations)

Les sédiments d'une plage peuvent être composés d'un seul mode, par exemple un sable fin ou des graviers, ou être composés de deux ou plusieurs modes, par exemple sable fin et graviers. À partir des courbes de fréquence et cumulatives résultantes des données granulométriques mesurées en laboratoire ainsi qu'à partir des résultats d'intensité scanographique mesurée sur les échantillons de sédiment, le nombre de modes peut être déterminé. Sur la courbe de fréquence, un sédiment possédant un seul mode sera

représenté par une simple cloche (figure 4a) tandis qu'un sédiment ayant deux ou plusieurs modes donnera une courbe avec un nombre équivalent de cloches. La courbe cumulative d'un échantillon ayant un mode unique aura une allure continue (figure 4b) tandis qu'un échantillon de sédiments multimodal présentera une courbe avec un nombre de paliers correspondant au nombre de modes.

3.3. La scanographie

Le système utilisé pour l'analyse de l'intensité scanographique est un *Somatom Volume Access CAT-Scan* de *Siemens*. Le scanographe permet d'obtenir l'image radiographique nette d'un plan de coupe partielle d'un objet, les autres couches sous-jacentes et sus-jacentes étant estompées. La scanographie permet donc d'analyser des échantillons de sédiments ou de roches de façon non destructive en produisant des images d'une tranche mince d'épaisseur minimale de 0,5 mm qui peuvent être explorées par tranches successives (Kenter J.A.M., 1989; Crémer et al., 1996; Ketcham et Carlson, 2001).

3.3.1. L'intensité scanographique

Des valeurs d'intensité sont obtenues en unité Hounsfield (HU, *Hounsfield Units*) et par convention, l'air a une valeur de -1000 HU tandis que l'eau a une valeur de 0 HU. Généralement, l'intensité des sédiments et des roches varie entre 900 et 2900 HU. Par exemple, la valeur du quartz est d'environ 1500 HU. L'intensité scanographique reflète la porosité, la densité ou le degré d'altération de la surface des échantillons.

Le scanographe a donc été utilisé afin de mesurer l'intensité scanographique à la surface des échantillons de sédiments non consolidés et de roches. Le logiciel *Osiris* est utilisé pour visualiser les images d'intensité scanographique. Ce logiciel permet de mesurer l'intensité moyenne et l'écart-type sur une aire précise à l'aide de la fonction ROI (*Region Of Interest*). Des fichiers textes des données d'intensité scanographique sont ainsi obtenus. Les carottes de sédiments de la campagne de terrain de mai 2003 ayant été analysées au scanographe en position couchée, l'intensité moyenne et l'écart type sont

mesurés sur les premières images prises sur un plan vertical. Lors de l'échantillonnage des carottes, un bouchon hermétique mis à l'intérieur de la carotte a permis d'empêcher le mouvement des sédiments lors du transport et des analyses en laboratoire. L'intensité scanographique et l'écart-type des prélèvements de surface de mai 2004 sont établis à partir de sédiment brut placé sur un porte échantillon. Les valeurs sont mesurées dans la partie supérieure de l'image d'intensité de trois coupes verticales effectuées au centre de l'échantillon.

Afin d'évaluer l'intensité scanographique à la surface des échantillons de roche, la valeur moyenne et l'écart-type sont mesurés dans la partie supérieure, le plus près de la surface possible, d'une série d'images verticales qui traversent la roche.

Les images d'intensité scanographique de surface sont également utilisées pour compléter l'analyse granulométrique des échantillons de sédiment. À partir des fichiers de données d'intensité, l'histogramme et la courbe cumulative d'intensité sont obtenus pour chaque échantillon et mettent en évidence les différents modes.

4. La méthodologie d'analyse des données

4.1. La variation due aux paramètres géologiques et géotechniques

La valeur moyenne d'intensité du signal de retour LiDAR est comparée à différents paramètres géologiques et géotechniques mesurés sur les échantillons terrestres et influençant l'intensité du signal. Ainsi, l'intensité du signal de retour est analysée en fonction de la teneur en eau, de la moyenne granulométrique et de l'intensité scanographique du sédiment.

À partir des comparaisons effectuées entre les données LiDAR et les paramètres géologiques et géotechniques mentionnés plus haut, il est également possible d'établir une échelle de classes d'intensité LiDAR correspondant à des intervalles présélectionnés de valeur d'un des paramètres. Cette échelle est ensuite appliquée aux modèles

numériques d'intensité, ou images d'intensité, pour réaliser des cartes de classifications sommaires des paramètres évalués individuellement.

4.2. La variation latérale due à l'angle d'ouverture du faisceau laser

Divers artéfacts peuvent s'introduire dans la valeur de l'intensité du signal de retour LiDAR. Une variation latérale a été observée et attribuée à l'effet de l'angle d'ouverture du faisceau laser lors du balayage. L'évaluation de cette variation latérale est effectuée à partir des images d'intensité obtenues à partir des lignes de vol effectuées perpendiculairement à la côte en 2004. Ces mesures ont été effectuées tant au niveau de la plage qu'à la surface de l'eau le long de profils parallèles à la côte.

4.3. La variation due à la morpho-topographie du littoral

Par ailleurs, l'évaluation quantitative de l'effet de la morpho-topographie sur l'intensité du signal de retour LiDAR se fait à partir de profils d'altitude mesurés perpendiculairement à la côte. Lors d'une autre étude (Xhardé et al., 2006), 35 profils d'altitude ont été effectués à l'aide du logiciel *ArcGIS* afin d'évaluer la perte ou le gain de sédiments, d'une année à l'autre, sur la flèche de Paspébiac (annexe 7). De ces 35, une dizaine ont été utilisés afin de comparer le profil d'altitude au profil d'intensité du signal de retour LiDAR correspondant.

4.4. La classification morpho-sédimentologique

Les relations générales obtenues en 2003 entre l'intensité du signal de retour LiDAR et différents paramètres géologiques (teneur en eau et intensité scanographique) sont utilisées afin d'évaluer le potentiel cartographique des données LiDAR. N'ayant pu obtenir une équation unique, des classes de valeurs sont préétablies à partir de chacune des équations et sont ensuite appliquées à l'image d'intensité LiDAR du site étudié.

5. Conclusion

Le LiDAR étant une technologie assez récente, les méthodes utilisées pour analyser les résultats obtenus lors des survols ont principalement été développés afin d'évaluer plusieurs paramètres pouvant influencer l'intensité du signal de retour LiDAR. Les paramètres géologiques ont principalement été choisis avant le commencement de l'étude tandis que d'autres paramètres physiques et morpho-topographiques ont été rajoutés en cours d'étude, soit lorsqu'ils se sont révélés influents sur l'intensité LiDAR enregistrée.

Il est à noter que les paramètres choisis ne sont pas les seuls pouvant faire varier l'intensité du signal de retour LiDAR. Une étude plus exhaustive permettra de peaufiner le choix des paramètres géologiques en éliminant certains paramètres jugés peu ou non influençant ou en rajoutant d'autres paramètres tels la couleur du matériel réflecteur au sol, la composition minéralogique des sédiments et des roches, l'indice de rugosité de surface, le degré d'altération des roches, la perte de signal dans l'atmosphère (qualité de l'air), la température près de la source émettrice du signal LiDAR, etc.

Chapitre 3

Description des sites

Les régions survolées au nord de la baie des Chaleurs ont été choisies dans le cadre d'une étude parallèle, demandée par le Ministère des Transports du Québec, portant sur l'érosion côtière pouvant mettre en danger les infrastructures routières (route 132) du sud de la péninsule gaspésienne (Long et al. 2005). Les sites de prélèvements visant à évaluer les paramètres pouvant influencer l'intensité du signal de retour LiDAR ont été choisis sur des environnements côtiers variés faisant partie de ces régions survolées.

Au cours de ce chapitre, une description plus exhaustive des sites étudiés dans la région gaspésienne est faite. La description comprend l'environnement géographique, l'environnement géologique côtier, l'environnement hydrodynamique ainsi que la localisation des points de prélèvements d'échantillons des régions de Saint-Siméon et Bonaventure, Paspébiac, Cap d'Espoir et Anse-à-Beaufils et finalement, de Barachois.

1. Saint-Siméon et Bonaventure

1.1. L'environnement géographique

Les municipalités de Saint-Siméon et de Bonaventure sont situées dans la partie nord-ouest de la baie des Chaleurs, dans la MRC de Bonaventure. Le site d'étude LiDAR est formé d'une côte orientée SE-NO plus ou moins rectiligne sur une longueur d'environ 15 km (figure 5).

1.2. L'environnement géologique côtier

La zone survolée est limitée à l'ouest par la Pointe Rouge et ses falaises d'une hauteur d'environ 12 mètres qui s'étendent sur 3 km. Vers l'est, les falaises laissent place à un

talus d'une hauteur de 10 m et ayant un gradient de dénivellation élevé. La hauteur du talus diminue ensuite progressivement jusqu'à l'embouchure de la rivière Petite Bonaventure. À la limite entre les deux municipalités, la côte est interrompue par un marais. À l'est du marais de Bonaventure, l'arrière plage est caractérisée par un talus argileux d'une hauteur variant de 1.5 à 3 m. Au-delà, le long de la flèche sableuse qui abrite la marina située dans l'estuaire de la rivière Bonaventure, la plage est plus large, et l'arrière plage est colonisée par la végétation (herbacée). Finalement, le barchois situé dans l'estuaire de la rivière Bonaventure constitue la limite est de la zone d'étude.

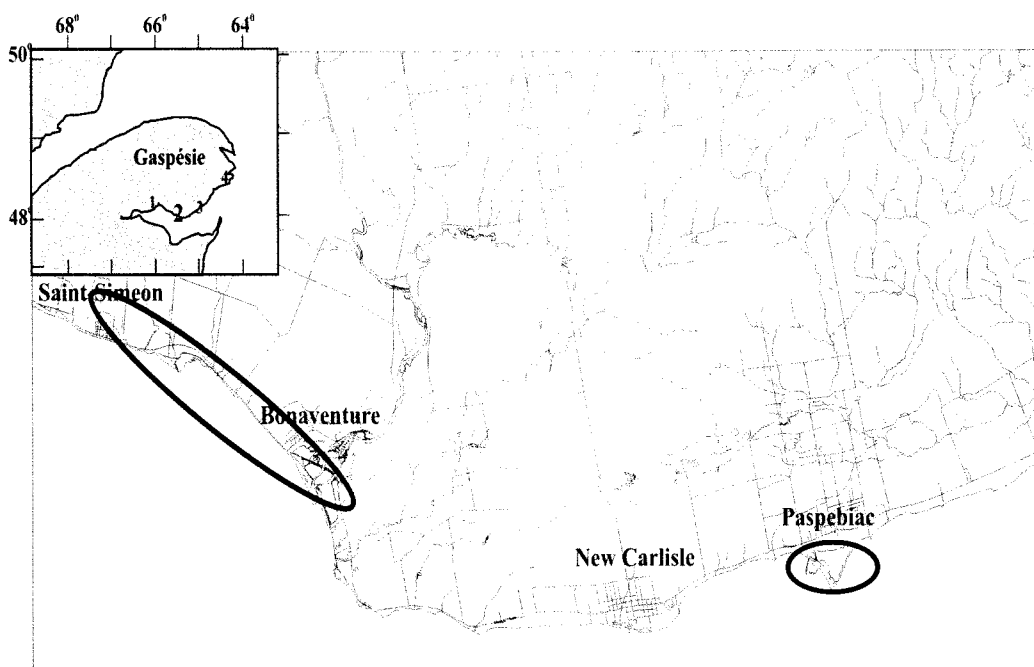


Figure 5. Situation géographique des municipalités de Saint-Siméon, Bonaventure et Paspébiac

1.2.1. Les falaises et talus

Les falaises de Saint-Siméon font partie de la formation de Bonaventure et sont composées de grès, mudstones et conglomérats. Le talus qui longe le reste de la zone d'étude est formé de dépôts fluvioglaciaires et est marqué par un grand nombre de loupes de glissement qui témoignent de l'instabilité du terrain.

1.2.2. L'arrière plage

La route 132 est construite sur l'arrière plage formée d'une ancienne plaine deltaïque d'épandage dont les vestiges apparaissent dans la partie sommitale de sondages effectués le long de la route (Cloutier, 2003). Cette formation sableuse a une épaisseur inférieure à 5 m et englobe des sédiments de la taille des graviers et des galets.

1.2.3. La plage

Au pied des falaises et talus, la morphologie de la plage est caractérisée par une bande étroite où le haut de plage est inexistant. La plage est composée de sédiments fluvioglaciaires provenant de l'érosion des falaises et talus et de l'apport sédimentaire des différentes rivières se jetant dans la baie des Chaleurs au niveau de Saint-Siméon et Bonaventure.

La plage située sur la flèche à l'ouest de la rivière Bonaventure présente un granoclassement du haut au bas de plage. Le haut de plage présente un mélange de graviers et sable très grossier tandis que le bas de plage est composé de sable fin.

Le barachois situé dans l'embouchure de la rivière Bonaventure présente un haut de plage de granules et graviers, un milieu de plage de sable grossier et un bas de plage de sable fin. Les sédiments formant cette plage ont une couleur plus foncée tirant sur le noir et non sur le rouge caractéristique des sédiments de la région de la baie des Chaleurs.

1.3. L'environnement hydrodynamique

Cette région possède une énergie hydrodynamique moyenne et est dominée par un régime d'houles de l'ouest (O-SO). Les sédiments disponibles, particulièrement la fraction sableuse provenant de l'érosion des petits deltas qui occupent l'embouchure des quelques cours d'eau, transitent alors en direction du sud-est et participent à la formation de la flèche sableuse à l'embouchure de la rivière Bonaventure. Par contre, cette dernière

contribue faiblement à la stabilité de la majeure partie du système, puisqu'elle est située dans la partie orientale de la zone d'étude.

1.4. Les sites de prélèvements

Trois zones d'échantillonnage de la région de Saint-Siméon et Bonaventure ont été sélectionnées. La première est située à la limite des deux municipalités sur une plage séparant le marais en formation à l'est et la baie à l'ouest (site 8 – points jaunes) (figure 6). À cet endroit, de nombreux bancs composés de graviers et sable émergent dans la baie à marée basse. Les échantillons prélevés sur cette plage ont donné des résultats seulement pour l'année 2003 car des coordonnées de positionnement erronées ont rendu les échantillons de 2004 inutilisables.

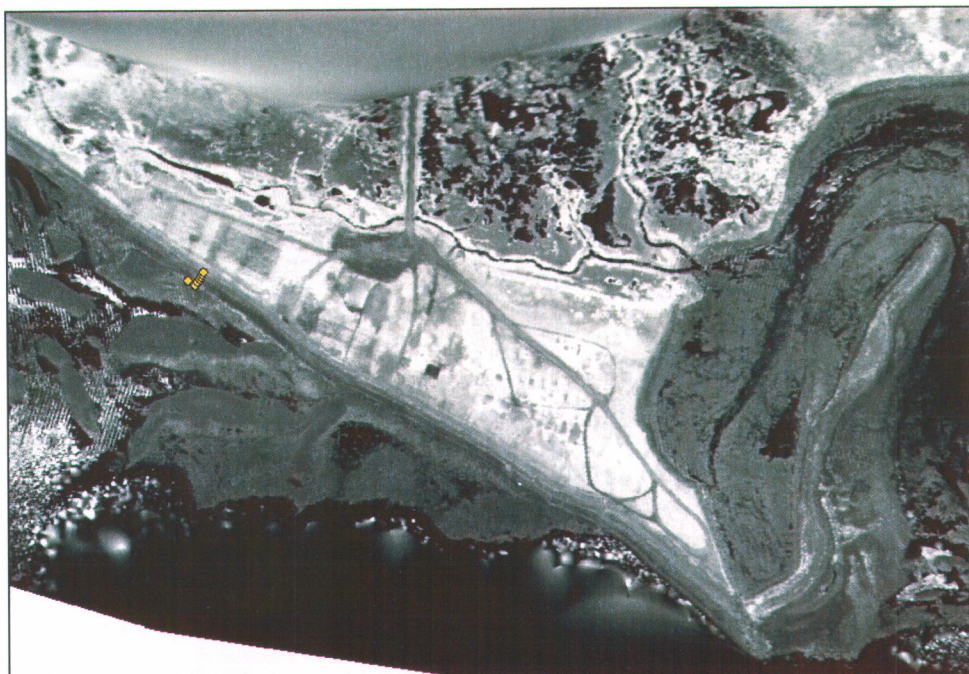


Figure 6. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et points d'échantillonnage dans le secteur de Saint-Siméon, sur le site 8 (points jaunes).

Les deux autres sites de prélèvement se situent de part et d'autre de l'embouchure de la rivière Bonaventure (figure 7). Au sein de ces sites, des résultats ont été obtenus à partir des prélèvements effectués en 2003, sur la plage au sud du barachois (site 7 – points jaunes), et en 2004, sur la plage de la flèche au nord (site BOP – points rouges) et sur le barachois situé dans l'embouchure de la rivière (site BO – points rouges).

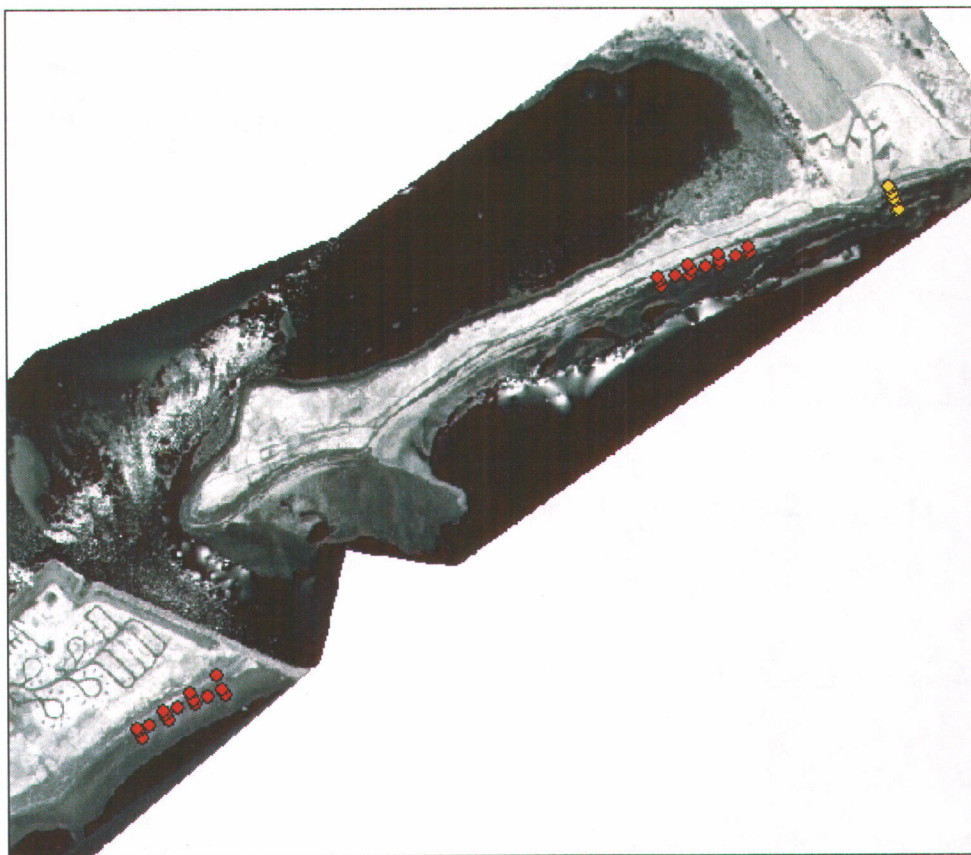


Figure 7. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et points d'échantillonnage dans le secteur de Bonaventure, sur le site 7 (points jaunes) et les sites BOP et BO (points rouges).

2. Paspébiac

2.1. L'environnement géographique

La municipalité de Paspébiac est située à une vingtaine de kilomètres à l'est de Bonaventure. La zone d'étude LiDAR se concentre sur les falaises de la région et au

centre, sur le Banc-de Paspébiac, pointe de sable triangulaire de 1.5 km qui s'allonge dans la baie des Chaleurs (figure 5). La route régionale, orientée est-ouest, passe sur le haut des falaises.

2.2. L'environnement géologique côtier

Le Banc-de-Paspébiac est formé de deux flèches sableuses qui se rejoignent pour encadrer une lagune marécageuse. Une route permet de rejoindre le port de pêche situé sur la première flèche, orientée NO-SE. La route donne également accès à la plage de la seconde flèche, orientée SO-NE et tronquée par une passe de marée.

2.2.1. Les falaises et talus

Les falaises de Paspébiac font partie de la formation de Saint-Jules. Les roches qui composent cette formation, *i.e.* principalement des conglomérats et quelques grès et siltstones, ont été déposées au Dévonien tardif - début Mississippien (Jutras et Prichonnet, 2002).

2.2.2. L'arrière plage

Le long des falaises de Paspébiac, l'arrière plage est absente. Sur la flèche orientée SO-NE, l'arrière plage est composé de sédiments grossiers (galets) et en pente descendante vers la lagune marécageuse limitée par les deux flèches. Un marais colonisé par la végétation (schorre) ainsi qu'un marais non colonisé (slikke) sont présents dans la lagune.

2.2.3. La plage

Les flèches de Paspébiac sont composées de dépôts provenant d'un ancien système deltaïque en érosion situé plus à l'est (Renaud, 2001). Le haut de plage de la flèche orientée SO-NE est composée de graviers et galets ayant un diamètre supérieur à 5 cm.

Une végétation plus ou moins dense s'y retrouve. La plage étudiée est sensiblement homogène et composée de sable fin à très grossier.

2.3. L'environnement hydrodynamique

Le secteur de Paspébiac subit une très forte érosion due à une énergie hydrodynamique forte et est dominé par un régime d'houles de l'est provenant du golfe du Saint-Laurent. Une dérive littorale opposée a permis la création de cette saillie triangulaire formée des deux flèches sédimentaires.



Figure 8. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et points d'échantillonnage dans le secteur de Paspébiac, sur les sites 5 et 6 (points jaunes) et le site PC (points rouges).

2.4. Les sites de prélèvements

La flèche sableuse de Paspébiac orientée NE-SO a fait l'objet d'un échantillonnage en trois points : à l'ouest en 2003 (site 6) et 2004 (site PC) ainsi qu'à l'est en 2003 (site 5). La figure 8 présente, pour chacun des sites, la zone d'étude et les points de mesures sur la

plage, les points jaunes représentant les mesures faites en 2003 et les points rouges ceux de 2004.

3. Cap d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils

3.1. L'environnement géographique

Le littoral étudié dans la région de Percé est orienté NNE-SSO. Le survol LiDAR s'est effectué sur environ 15 km entre la plage de l'anse du Cap à Cap d'Espoir, au sud, et le Cap Blanc à Percé, au nord (figure 9). La route régionale (route 132) passe quelques fois à moins de 10 mètres du bord de la falaise.

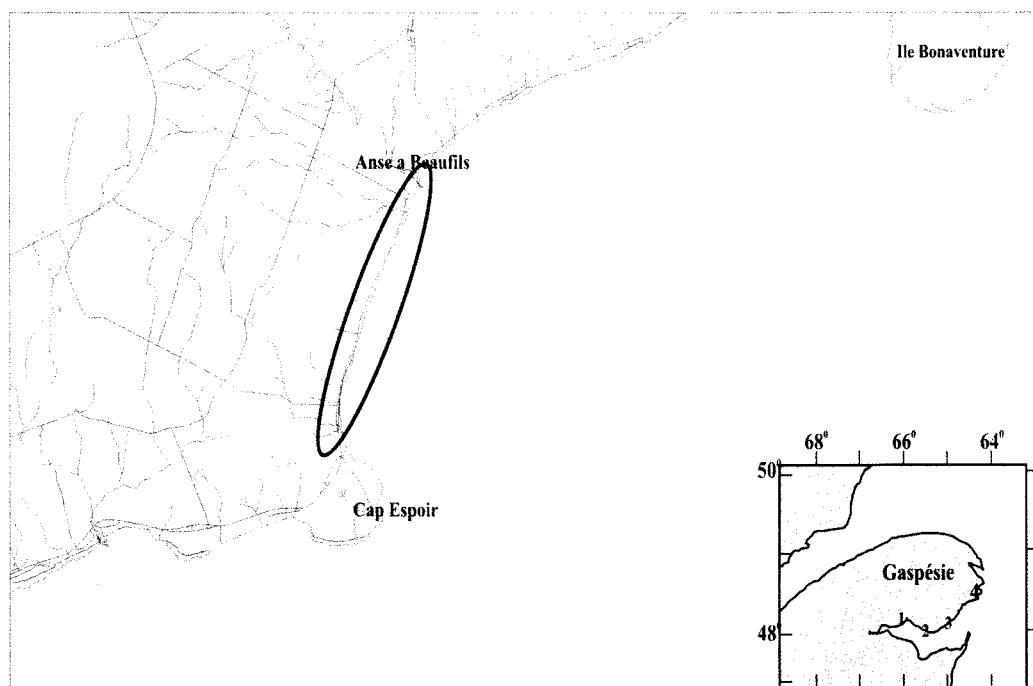


Figure 9. Situation géographique des municipalités de Cap-d'Espoir et l'Anse-à Beaufils.

3.2. L'environnement géologique côtier

Les falaises constituent la majorité du système côtier actuel de la région de Cap-d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils, sauf au niveau de la plage de sable fin de l'anse du Cap (Cap d'Espoir) et des plages situées de part et d'autre de l'embouchure de la rivière de l'Anse-à-Beaufils, où se trouve un havre de pêche.

3.2.1. Les falaises et talus

Les falaises composées de roches Paléozoïques de l'orogénèse appalachienne (grès, mudstones et conglomérats) dominent la côte entre Cap d'Espoir et Percé. Au sud du site d'étude, la plage de l'anse du Cap est adossée à un talus fluvioglaciaire ayant une hauteur de 5 à 6 m. Vers le nord, les falaises, d'une hauteur variable de 20 à 30 m, s'étendent sur environ 5 km, entre la plage de l'anse et le ruisseau Pete Ferguson. Entre le ruisseau et le havre de pêche à l'embouchure de la rivière de l'Anse-à-Beaufils, un talus fluvioglaciaire surmonte une falaise basse, l'ensemble culminant entre 12 et 12,5 m. Le secteur entre l'Anse-à-Beaufils et le Cap Blanc à Percé est formé par des falaises s'étendant sur une dizaine de kilomètres et pouvant atteindre une hauteur de 50 m.

3.2.2. L'arrière plage

L'arrière plage est inexistante le long des falaises de la région. Sur la plage de l'anse du Cap et à l'embouchure de la rivière de l'Anse-à-Beaufils, l'arrière plage est présente et est composée de sédiments fluvioglaciaires hétérogènes, soit de silts, sable, graviers et galets.

3.2.3. La plage

Sur la plage étroite au pied des falaises, le haut de plage est rarement existant ou formé par des empilements de blocs rocheux tombés des falaises. Ces blocs sont friables et subissent une érosion rapide causée par les vagues déferlantes et par les variations

climatiques. Des blocs se retrouvent également sur le bas de plage et s'y désagrègent sous l'action des houles. Le sable en résultant est à l'origine de l'alimentation sédimentaire de l'avant côte. La plage est donc formée d'une couche sédimentaire de faible épaisseur composée de sédiments très hétérogènes qui reflètent les différentes étapes de désagrégation des blocs détachés des falaises.

La plage de l'anse du Cap est située au fond d'une petite baie et son sable moyen à très grossier provient de l'érosion du talus sur lequel elle est adossée, lui-même composé de sédiments fluvioglaciaires, et de l'érosion des falaises situées de part et d'autre de la baie. Néanmoins, ces dernières sont plutôt à l'origine d'une alimentation grossière.

L'apport de sédiments par la rivière de l'Anse-à-Beaufils et l'érosion des talus fluvioglaciaires situés à proximité ont généré la formation de la plage plus large présente de part et d'autre de l'embouchure de la rivière. Cette plage est composée, en proportion plus ou moins égale, de granules et sable moyen.

3.3. L'environnement hydrodynamique

Les falaises entre Cap d'Espoir et Percé sont ouvertes sur le golfe du Saint-Laurent, à l'extrémité orientale de la baie des Chaleurs. L'environnement hydrodynamique du littoral étudié se rapproche donc de celui des rives du Saint-Laurent. Cette région à énergie hydrodynamique élevée dominée par l'action des houles est ouverte aux tempêtes majeures du golfe du Saint-Laurent et de l'océan Atlantique. L'apport hydrique est négligeable sur le littoral s'étendant entre Cap-d'Espoir et Percé. Seule la rivière de l'Anse-à-Beaufils a un apport continu qui alimente les plages de la région.

3.4. Les sites de prélèvements

Deux sites de prélèvements ont été choisis dans cette région au sein des principales baies sableuses situées dans le secteur ouest, *i.e.* sur la plage de l'Anse du Cap et à l'embouchure de la rivière de l'Anse-à-Beaufils, où se situe le port.

Pour les données de mai 2003, le site d'échantillonnage situé à l'ouest de Cap d'Espoir, sur la plage de l'Anse du Cap, est tout juste à l'extérieur de la zone de survol LiDAR (site 4 – points jaunes) (figure 10). Par conséquent, aucun échantillon de ce site n'a été analysé pour la première année. Les résultats présentés pour ce site d'échantillonnage proviennent donc de mai 2004 (site AB – points rouges) (figure 10).

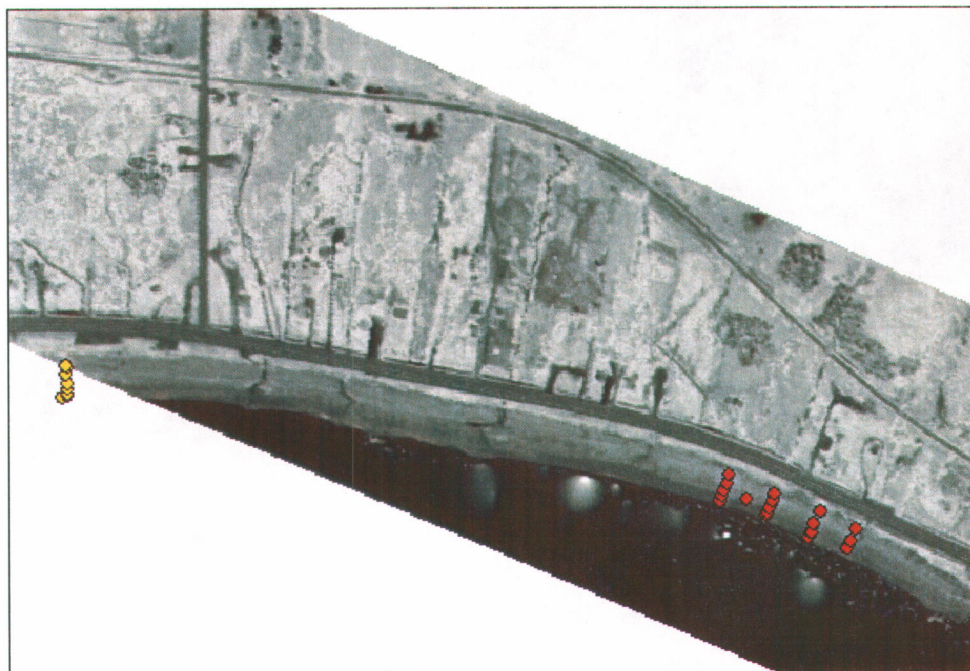


Figure 10. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et points d'échantillonnage dans le secteur de Cap d'Espoir, sur le site 4 (points jaunes) et le site AB (points rouges).

La plage située au sud de l'embouchure de la rivière de l'Anse-à-Beaufils a quant à elle été échantillonnée au cours des deux survols, soit en 2003 et en 2004 (site 3 – points jaunes, et site AB2 – points rouges) (figure 11).



Figure 11. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et points d'échantillonnage dans le secteur de l'Anse-à-Beaufils, sur le site 3 (points jaunes) et le site AB2 (points rouges).

4. Barachois

4.1. L'environnement géographique

Le village de Barachois se trouve à une vingtaine de kilomètres de Percé (figure 12) et à l'extrémité nord d'un cordon sableux long de 10 km, sur lequel s'est concentré le survol LiDAR.

4.2. L'environnement géologique côtier

La zone d'étude du littoral se trouve sur l'île-barrière (ou barachois) qui referme l'estuaire des rivières Malbaie, Beattie, Portage et Murphy. Au sud, le survol LiDAR

début sur un talus pour ensuite suivre l'île-barrière en direction du nord et se terminer sur la plage et le talus en érosion situés au nord de la passe de marée (goulet).

4.2.1. Les falaises et talus

La plage située au nord de la passe de marée est adossée à un talus de plus de 20 mètres de hauteur composé de sédiments fluvioglaciaires. À l'extrémité nord, le talus surmonte un affleurement rocheux qui se transforme en falaise composée de conglomérats et grès. À cet endroit, le substratum rocheux forme un platier rocheux au niveau de la plage et de l'avant plage.

4.2.2. L'arrière plage

L'arrière plage est constituée par un cordon dunaire formant une île-barrière sur laquelle une route de terre et une ligne de chemin de fer ont été construites. Sur les parties non construites, une végétation de graminées assez importante pousse. L'arrière plage forme une pente descendante vers la lagune marécageuse de l'estuaire.

4.2.3. La plage

Le cordon dunaire qui obstrue le barachois s'est formé par l'apport sédimentaire de l'érosion fluviale des stocks sédimentaires fluvioglaciaires provenant des bassins versants des rivières Malbaie, Beattie, Portage et Murphy. Ces sédiments forment un delta de jusant en avant de la passe de marée et sont repris sous l'effet de la dérive littorale. Le haut de plage est occupé par une ligne de chemin de fer protégée, du côté mer, des houles de tempêtes par un enrochement. Le secteur de la plage étudiée est uniforme et composé de sable moyen et de granules en quantité plus ou moins égale.

4.3. L'environnement hydrodynamique

Cette région, qui est ouverte aux tempêtes majeures du golfe du Saint-Laurent et de l'océan Atlantique, est soumise à une énergie hydrodynamique élevée.

4.4. Les sites de prélèvements

Dans le secteur de Barachois, le survol s'est effectué au-dessus de l'île-barrière orientée nord-sud qui fait plusieurs kilomètres de long et sur lequel se trouve une voie ferrée.

Deux sites choisis de prélèvements ont été échantillonnés en 2003 et en 2004. Le premier se situe au centre de l'île-barrière, sur la plage côté Golfe (site 2 et site BA - figure 13), tandis que le second se trouve au nord de la passe de marée, au pied d'un talus de plusieurs mètres de hauteur (site 1 et site BA2 - figure 14).

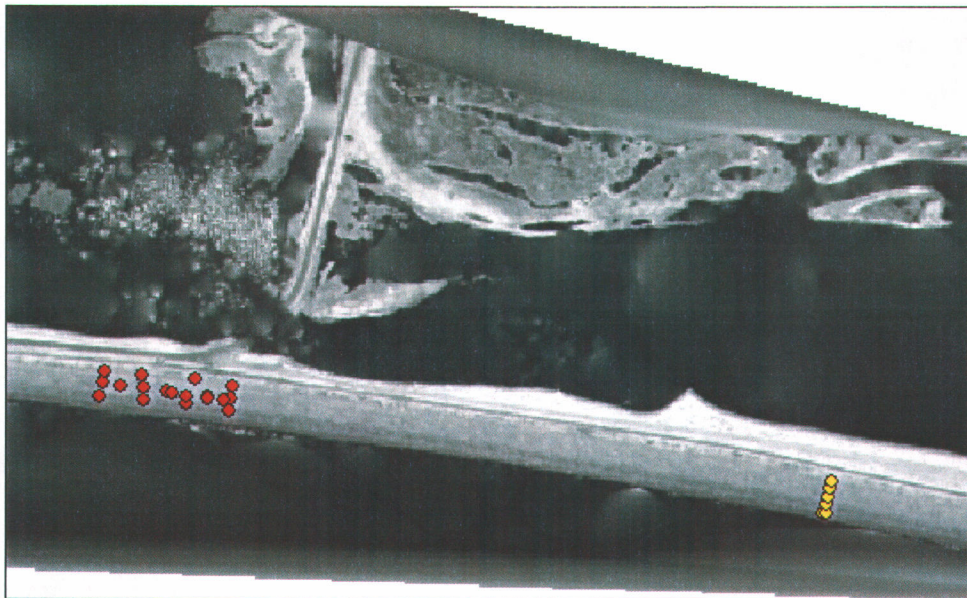


Figure 13. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et points d'échantillonnage dans le secteur de Barachois Sud, au site 2 (points jaunes) et au site BA (points rouges).

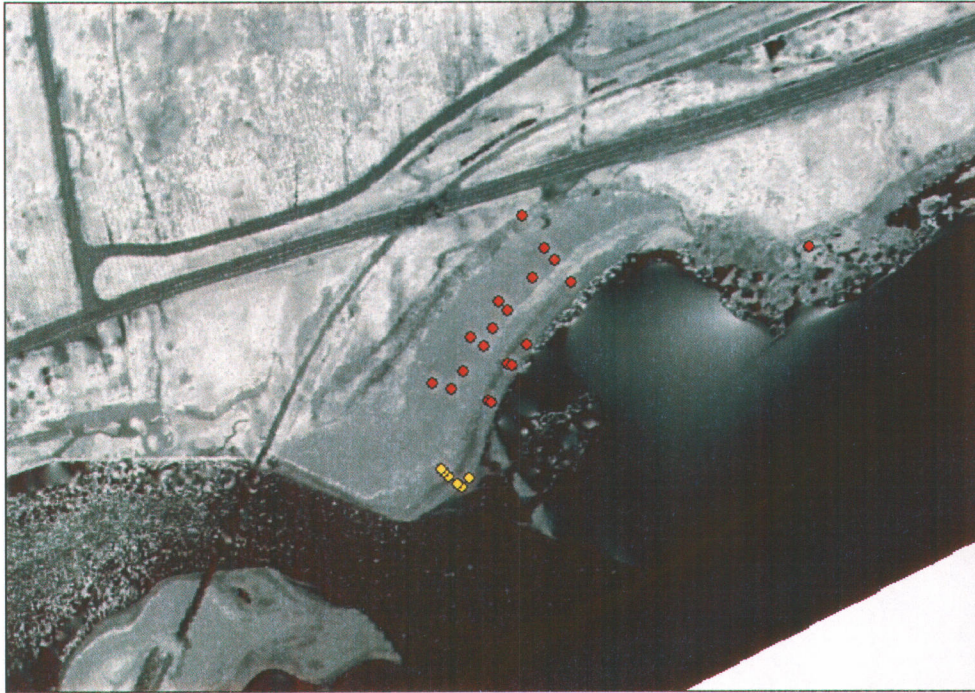


Figure 14. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et points d'échantillonnage sur le site de Barachois Nord (sites 1 et BA2).

5. Conclusion

Le choix des sites d'échantillonnages s'est révélé adéquat pour effectuer l'évaluation des paramètres géologiques et géotechniques côtiers pouvant faire varier l'intensité du signal de retour LiDAR enregistré lors des survols effectués en mai 2003 et mai 2004. Les sites homogènes de Paspébiac ouest et de Barchois sud ont également permis de bien évaluer des facteurs physiques, autres que géologiques ou géotechniques, jouant sur la variabilité de l'intensité du signal de retour.

Chapitre 4

Résultats

Les résultats provenant de l'étude de terrain effectuée lors des campagnes de 2003 et 2004 ainsi que les données d'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) sont ici présentés selon les différents types d'environnement côtier rencontrés dans la région de la baie des Chaleurs. Un résumé de la variabilité de l'intensité du signal de retour sur l'ensemble des milieux est ensuite développé et finalement, une classification morpho-sédimentologique est réalisée sur deux des sites étudiés.

1. L'étude de terrain

Le but de cette étude est d'évaluer l'influence des paramètres géologiques, tels que la teneur en eau, la granulométrie et le degré de compaction, des sédiments de la plage sur l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL). Les différents facteurs influencent différemment l'intensité LiDAR; ils sont tous isolés et analysés individuellement.

1.1. Les plages

Les résultats généraux de l'étude de terrain effectué sur les plages de la région de la baie des Chaleurs, soit les valeurs moyennes de teneur en eau, de granulométrie et d'intensité scanographique des échantillons de sédiments non consolidés provenant des plages sont présentés pour les 14 sites de prélèvements dans le tableau 7. Les résultats détaillés pour chaque échantillon sont présentés dans les annexes 1 (résultats généraux), 2 (teneur en eau), 3 (granulométrie), 4 (scanographie) et 5 (intensité LiDAR).

Tableau 7. Résultats généraux pour tous les sites d'échantillonnage
(HP : haut de plage, MP : moyenne plage, BP : bas de plage).

Année du survol	Position sur la plage	Teneur en eau (%)	Moyenne granulométrique (ϕ)	Intensité scanographique (HU)	Intensité Lidar (valeur codée)
ST-SIMÉON - flèche limitant marais et mer					
2003	HP	6,3	2,1	952,5	77,9
(site 8)	MP	12,5	0,2	1132,6	47,4
	BP	47,3	2,0	532,8	98,0
BONAVENTURE OUEST - flèche entre estuaire de la rivière Bonaventure et mer					
2004	HP	2,6	-0,3	769,6	77,6
(site BOP)	MP	5,9	1,8	696,8	72,0
	BP	8,8	2,7	678,8	72,7
BONAVENTURE EST - barachois refermant l'estuaire de la rivière Bonaventure					
2003	HP	5,2	0,4	996,5	61,9
(site 7)	MP	21,5	0,6	1395,4	24,0
	BP	24,1	2,3	1248,9	20,3
2004	HP	7,2	-2,0	1081,6	49,6
(site BO)	MP	16,2	0,5	747,6	36,7
	BP	18,4	1,9	590,0	63,0
PASPÉBIAC OUEST - partie ouest de la flèche entre lagon (marais) et mer					
2003	HP	1,2	1,6	752,9	83,5
(site 6)	MP	3,9	0,7	829,7	63,6
	BP	23,5	2,8	1141,7	49,2
2004	HP	5,8	2,6	452,9	125,4
(site PC)	MP	8,1	-0,2	942,2	101,8
	BP	4,8	-1,2	803,0	115,1
PASPÉBIAC EST - partie est de la flèche entre lagon (marais) et mer					
2003	HP	19,3	2,6	1136,5	46,2
(site 5)	MP	19,1	2,5	1133,2	49,9
	BP	22,4	2,3	1144,6	45,8
CAP D'ESPOIR - plage dans l'anse du Cap					
2004	HP	1,7	-0,1	799,6	118,0
(site AB)	MP	6,5	1,1	558,8	116,8
	BP	5,4	0,3	725,6	92,4
ANSE-À-BEAUFILS - plage à l'embouchure de la rivière de l'Anse-à-Beaufils					
2003	HP	0,9	1,6	773,2	93,3
(site 3)	MP	6,0	0,2	951,5	55,9
	BP	7,9	-1,0	961,7	46,8
2004	HP	2,4	1,2	636,2	107,0
(site AB2)	MP	7,7	1,0	619,8	83,6
	BP	5,4	0,3	725,6	92,4
BARACHOIS SUD – île-barrière entre l'estuaire et la mer					
2003	HP	0,8	-0,8	871,7	91,4
(site 2)	MP	11,1	0,3	1101,5	57,7
	BP	17,2	-0,2	1467,8	38,3
2004	HP	0,5	1,3	795,7	130,0
(site BA)	MP	1,1	-0,2	803,7	103,1
	BP	12,9	1,7	587,1	87,5
BARACHOIS NORD - plage à l'embouchure de la rivière (passe de marée)					
2003	HP	0,8	0,3	899,0	93,2
(site 1)	MP	5,4	-0,1	937,7	73,3
	BP	6,2	-1,2	1078,5	64,7
2004	HP	0,3	0,3	739,4	138,2
(site BA2)	MP	1,2	0,4	706,1	135,9
	BP	8,5	0,3	732,6	130,8

1.1.1. La teneur en eau

Les résultats de teneur en eau mesurée sur les sédiments non consolidés diffèrent d'une année à l'autre, d'une journée à l'autre et d'un site à l'autre (tableau 7). Ceci est premièrement dû aux variations des faciès sédimentaires et des conditions hydrodynamiques (niveau de la nappe phréatique dans la plage) et climatiques au moment des relevés aéroportés. Par exemple, pour un même site, la teneur en eau (degré d'humidité) peut grandement varier entre les deux survols. Ceci est très visible pour le site de Paspébiac Ouest, où la valeur de teneur en eau pour le bas, milieu et haut de plage varie respectivement de 24, 4 et 1% en 2003 (site 6) et de 5, 8 et 6% en 2004 (site PC).

De manière générale, la teneur en eau est maximale sur le bas de plage, où la nappe phréatique est en contact avec la surface de la plage, tandis qu'elle est minimale sur le haut de plage, où le niveau de la nappe phréatique est situé au-dessous de la surface de la plage. Pour les sites où la moyenne granulométrique est plus ou moins constante du haut au bas de plage, comme le site de Barachois Nord en 2004 (site BA2), cette relation est très visible. Par contre, certains sites, comme ceux de Paspébiac Ouest, Anse-à-Beaufils et Cap d'Espoir, présentent des résultats de teneur en eau qui diffèrent de cette généralité. À Paspébiac Ouest, le peu de variation enregistré entre les valeurs de teneur en eau en 2004 (site PC) pour les différents niveaux de plage peut s'expliquer par les conditions météorologiques pluvieuses lors du prélèvement. Pour ce qui est de la faible valeur de la teneur en eau sur le bas de plage en 2004 (site PC, 4,8%) par rapport à 2003 (site 6, 23,5%), elle est attribuable à la composition du lieu d'échantillonnage, les sédiments grossiers favorisant l'écoulement de l'eau par rapport aux sédiments fins. En 2004, le prélèvement s'est fait sur un banc de granules (moyenne granulométrique de $- 1.2 \phi$) émergé à marée basse, tandis qu'en 2003 le bas de plage était formé d'un sable fin ($2,8 \phi$). Pour les sites de Cap d'Espoir et de l'Anse-à-Beaufils (sites AB et AB2), les teneurs en eau plus élevées de la moyenne plage (respectivement 6,5 et 7,7%) par rapport au bas de plage (5,4) s'expliquent aussi par une différence de granulométrie, soit des sédiments plus grossier en bas de plage ($0,3 \phi$) qu'en milieu de plage ($1,0 \phi$). À Paspébiac Est (site 5), les teneurs en eau élevées sur l'ensemble de la plage (19,1 à 22,4%) s'explique par le

faible écoulement de l'eau à travers les sables fins ($2,3$ à $2,6 \phi$) de cette plage complètement immergée à marée haute.

1.1.2. L'analyse granulométrique

1.1.2.1. La moyenne granulométrique

La moyenne granulométrique des faciès sédimentaires rencontrés sur les zones d'étude est très hétérogène. En effet, la moyenne granulométrique varie entre $3,3 \phi$, sable très fin, et $-3,3 \phi$, galets (annexe 3). De plus, les sédiments ne sont pas homogènes sur un même site et il est possible de rencontrer des sables moyens uniformes, des graviers, des mélanges de sables et galets ou des mélanges de graviers et galets (figure 15).

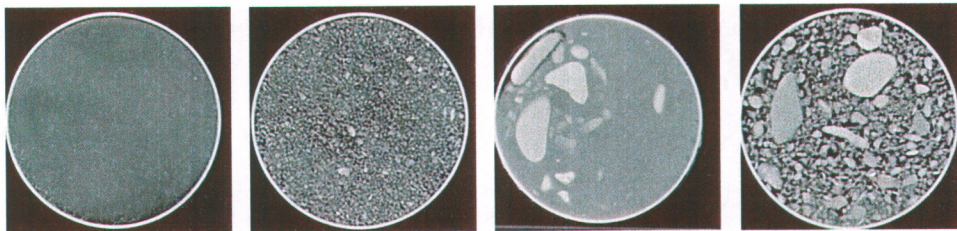


Figure 15. Images scanographiques des différents faciès sédimentaires retrouvés dans la zone d'étude : sables moyens, graviers, mélange sable et galets, et mélange sable et graviers.

L'analyse granulométrique des échantillons prélevés lors des campagnes de terrain effectuées au moment des deux relevés aéroportés a permis d'observer des aires en érosion et des aires en sédimentation à l'échelle locale sur les plages étudiées. Le soubassement étant constitué de sédiments grossiers (graviers et galets), la perte des sédiments fins de surface fait apparaître les sédiments grossiers sous-jacents et il y a alors une augmentation de la taille moyenne des grains qui montre une érosion locale. Une diminution de la taille des grains indique plutôt une sédimentation locale (tableau 7). Le site de Bonaventure Est a subi une érosion de son sable grossier ($0,4 \phi$) formant le haut de plage en 2003 (site 7), ce qui a dégagé les sédiments sous-jacents présents en surface en 2004 (site BO), soit des graviers ($- 2,0 \phi$). Le bas de plage de Paspébiac Ouest est un

autre exemple d'érosion locale avec une moyenne granulométrique qui a varié du sable fin ($2,8 \phi$) en 2003 (site 6) à des granules ($- 1,2 \phi$) en 2004 (site PC). Une sédimentation a été observée sur le bas de plage de l'Anse-à-Beaufils, où les granules ($- 1,0 \phi$) présents en 2003 (site 3) ont été recouverts par le sable grossier ($0,3 \phi$) trouvé en surface en 2004 (site AB2). Les sites d'échantillonnages de Barachois Sud et Nord montrent également une sédimentation locale entraînant une diminution de la taille des grains entre 2003 et 2004. En effet, la moyenne granulométrique des sédiments de Barachois Sud (site 2 et BA) varie entre $- 0,8$ et $1,3 \phi$ sur le haut de plage et entre $- 0,2$ et $1,7 \phi$ sur le bas de plage. Sur le site de Barachois Nord, seulement le bas de plage montre une sédimentation locale avec une moyenne granulométrique variant de $- 1,2 \phi$ en 2003 (site 1) à $0,3 \phi$ en 2004 (site BA2).

1.1.2.2. Les modes (ou populations)

L'évaluation des modes granulométriques des différents échantillons étudiés à partir des courbes granulométriques et des courbes d'intensité scanographique a permis de séparer les échantillons formés d'une seule population et les échantillons multimodaux.

À partir des 47 analyses granulométriques effectuées sur les échantillons prélevés en 2003, 30 échantillons ont présenté une population, 14 en ont présenté deux et trois échantillons en ont présenté trois. Pour les mêmes échantillons analysés à l'aide du CAT-Scan, les courbes d'intensité scanographiques ont permis d'identifier 39 échantillons ayant une population unique et 8 ayant deux populations.

Les 101 analyses granulométriques effectuées sur les échantillons de 2004 ont donné 54 échantillons ayant une seule population, 44 échantillons ayant deux populations et trois en ayant trois. La détermination du nombre de populations à partir des courbes d'intensité scanographique de 102 prélèvements a mis en évidence 63 échantillons présentant une population et 39 en présentant deux.

1.1.3. L'intensité scanographique

D'importantes variations d'intensité scanographique existent entre les différents sites et les différents niveaux de plage (tableau 7). L'intervalle des moyennes scanographiques, qui varie de 530 à 1400 HU, représente en première approximation des variations de masse volumique de 1,5 à 2,4 g/cm³. En présence de sédiments de taille égale ou supérieure au sable moyen, l'intensité scanographique est généralement proportionnelle à la moyenne granulométrique, l'intensité scanographique étant fonction du voxel analysé qui contient des grains et des vides. Les échantillons de la plage de l'Anse-à-Beaufils (site 3), qui passent du sable moyen (1,6 ϕ) en haut de plage à des granules (- 1,0 ϕ) en bas de plage, possèdent en 2003 des valeurs d'intensité scanographique qui augmentent vers la mer, de 773 à 962 HU. Le site de Bonaventure Nord de 2003 (site 1) présente aussi des valeurs d'intensité scanographique qui augmentent, de 899 à 1079 HU, entre le haut de plage, composé de sable grossier (0,3 ϕ), et le bas de plage, composé de granules(-1,2 ϕ). L'inverse est visible sur le site de Bonaventure Est échantillonné en 2004 (site BO) avec une intensité scanographique qui diminue, du haut au bas de plage, de 1082 à 590 HU, pour une granulométrie qui passe de graviers (- 2,0 ϕ) à sable moyen (1,9 ϕ).

Des sédiments de taille moindre que le sable moyen ont l'effet inverse sur l'intensité scanographique et celle-ci devient inversement proportionnelle à la moyenne granulométrique. Ce phénomène est dû au fait que lors de l'analyse scanographique sur les sédiments fins, un voxel contient un grand nombre de grains et la porosité entre les grains diminue avec la taille des grains. L'intensité scanographique devient essentiellement fonction de la compaction au sein du voxel. Le site de Paspébiac Ouest échantillonné en 2003 (site 6) est un bon exemple de ces deux relations inverses. Du haut au milieu de plage, l'intensité scanographique (respectivement 753 et 830 HU) est proportionnelle à la moyenne granulométrique, qui varie de sable moyen (1,6 ϕ) à sable grossier (0,7 ϕ); tandis que du milieu au bas de plage, l'intensité scanographique (830 et 1142 HU) est inversement proportionnelle à la taille des grains qui passe de sable grossier (0,7 ϕ) à sable fin (2,8 ϕ). Le site de Bonaventure Est de 2003 (site 7), qui présente des

valeurs d'intensité scanographique de 1395 et 1249 HU, appuie également cette double relation avec des valeurs de moyenne granulométrique opposée de 0,6 et 2,3 ϕ .

La teneur en eau semble également jouer un rôle sur l'intensité scanographique des échantillons. Mais, elle est beaucoup plus difficile à évaluer et quantifier. En effet, les échantillons sur lesquels ont été faites les mesures d'intensité scanographique ne sont pas les mêmes que ceux sur lesquels la teneur en eau a été calculée, ces derniers ayant été prélevés dans des bouteilles hermétiques. De plus, les échantillons ayant été passés au scanographe n'ont pas été prélevés de la même manière en 2003 (carottes longues de 10 à 15 cm) et en 2004 (prélèvement de surface dans des sacs à échantillons). Les carottes sont normalement étanches, mais dû à des difficultés lors de l'échantillonnage, les résultats obtenus à partir d'échantillons stockés dans des sacs hermétiques en 2004 sont préférables pour évaluer l'influence de la teneur en eau sur l'intensité du signal de retour. Donc, en observant les sites échantillonnés en 2004, l'intensité du signal de retour semble inversement proportionnelle à la teneur en eau. Par exemple, les échantillons du site de Bonaventure Ouest (site BOP) donnent, pour des valeurs de teneur en eau qui augmentent vers le bas de plage, de 2,6 à 8,8%, des valeurs d'intensité scanographique qui diminuent, de 770 à 679 HU. Par contre, sur ce site, la taille des grains diminue également vers le bas de plage, ce qui pourrait expliquer la diminution de l'intensité scanographique. De plus, lorsqu'un site homogène comme celui de Barachois Nord en 2004 (site BA2) est observé, malgré une teneur en eau qui augmente vers le bas de plage, il est possible de voir que la granulométrie constante sur toute la plage (0,3-0,4 ϕ), donne une intensité scanographique qui est elle aussi constante (706-739 HU). Néanmoins, la variation de 33 HU pourrait être attribuée en partie à la teneur en eau.

1.2. Les falaises

Des échantillons de roches ont été prélevés au sein des falaises de la région de Percé (Cap d'Espoir et Anse-à-Beaufils) et de Barachois en août 2004. Ces échantillons ont été observés macroscopiquement afin de déterminer leur type de roche (pétrographie) et ensuite analysés à l'aide du scanographe. L'annexe 1 présente dans un tableau les

résultats généraux pour chaque échantillon recueilli (coordonnées de position, intensité scanographique, intensité LiDAR et description macroscopique).

Les falaises de cette région présentent des roches faisant partie de la formation de Bonaventure, soit principalement des grès, des conglomérats, des siltstones et des mudstones de couleur rouge.

Dans les falaises situées entre Cap d'Espoir et Percé, 5 échantillons ont été prélevés dans les falaises accessibles par la base et une douzaine d'échantillons ont été recueillis sur le haut des falaises, au niveau de ruisseaux ayant découvert la roche.

À Barachois, deux échantillons ont été prélevés au niveau d'un affleurement sur la plage au nord du site. Le premier échantillon est un conglomérat composé de galets et d'une matrice à grains fins (échantillon BA1-E8) et le second est un grès fin rouge (échantillon BA1-E10). L'enrochement protégeant le chemin de fer passant sur l'île-barrière de Barachois et situé sur le haut de plage a également été échantillonné (échantillon BA2-E3). La figure 16 présente trois exemples d'image d'intensité obtenue au scanographe, soit celles des échantillons recueillis à Barachois.

1.2.1. L'intensité scanographique

L'intensité scanographique reflète la densité (ou porosité), la minéralogie et le degré d'altération des roches. L'intensité scanographique est évaluée en surface et à l'intérieur des échantillons car l'altération de surface fait augmenter l'intensité scanographique. En effet, les valeurs obtenues à la surface des échantillons sont plus élevées que celles mesurées à l'intérieur (tableau 8). Pour les échantillons recueillis, l'intensité scanographique varie entre 1422 et 2626 HU à la surface et entre 778 et 2197 HU à l'intérieur. Un exemple plus spécifique d'altération de surface est le cas de l'échantillon BA2-E3 de Barachois, prélevé au sein de l'enrochement longeant le chemin de fer sur l'île-barrière. Une observation effectuée à l'œil nu montre une minéralisation noire en

surface de la roche. Cette dernière induit une intensité scanographique de surface (2626 HU) supérieure à son intensité interne (1610 HU).

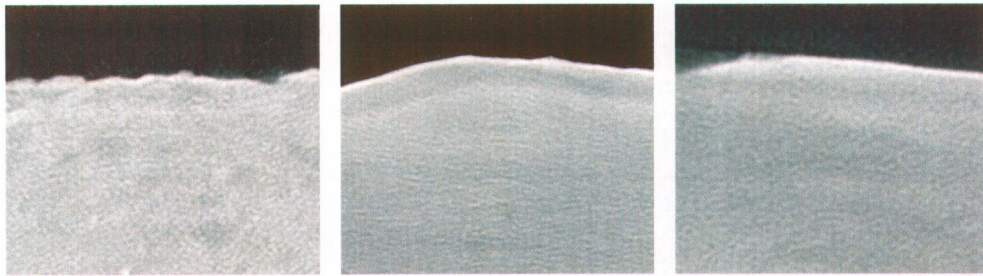


Figure 16. Images scanographiques des échantillons de Barachois : échantillons BA1-E8 (conglomérat), BA1-E10 (grès fin) et BA2-E3 (enrochement).

Plus la densité de l'échantillon de roche est élevée, plus l'intensité scanographique est élevée. Par exemple, un conglomérat (échantillon PE4-E4), composé de gros fragments de roche et présentant des vides à leur limite avec la matrice fine, augmentant ainsi la porosité, va posséder une intensité scanographique moindre (1353 HU) qu'un grès massif, comme l'échantillon PE4-E2 (1792 HU). La fracturation à l'intérieur de la roche est aussi un facteur qui fera diminuer l'intensité scanographique mesurée, puisqu'elle fait diminuer la densité de la roche en augmentant sa porosité.

2. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) sur les plages

Les valeurs moyennes d'intensité du signal de retour LiDAR pour les différents niveaux de plage sur tous les sites échantillonnés sont également présentées dans le tableau 7. L'annexe 4 présente les fichiers contenant les valeurs d'intensité du signal de retour LiDAR mesurées autour des points d'échantillonnages ayant permis d'obtenir les valeurs d'intensité moyenne. L'annexe 1 présente un tableau général contenant tous les résultats pour chaque échantillon ainsi que des tableaux individuels pour chaque site.

Les différents paramètres mentionnés plus haut, soit la teneur en eau, la granulométrie et le degré de compaction, provoquent d'importante variation de l'intensité du signal de retour LiDAR (20 à 140). Ces agents n'influencent pas les valeurs d'intensité LiDAR de

la même manière et ont donc dû être isolés pour les étudier. De plus, d'autres paramètres doivent être pris en considération comme les paramètres liés à la géométrie du système de mesure LiDAR ainsi que la morphologie et la topographie du milieu étudié.

Tableau 8. Données d'intensité scanographique des échantillons des falaises de Percé (Cap d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils) et Barachois.

Numéro échantillon	Type de roche	Intensité scanographique en surface (HU)		Intensité scanographique à l'intérieur (HU)	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
PERCÉ – pied de falaise					
AB3-E1A	Grès	1422	206	778	165
AB3-E2A	Mudstone	2340	172	1295	224
AB3-E2B	Mudstone	2241	211	2197	208
AB3-E4	Grès	2359	249	1902	79
AB3-E5	Grès	1950	213	1624	90
PERCE – sommet de falaise					
PE1-A	Grès	2155	310	1706	132
PE1-B	Grès	2272	191	1868	85
PE3-E1	Grès	2125	212	1737	120
PE3-E2	Grès	2056	175	1873	46
PE4-E1	Grès	2173	135	1688	108
PE4-E2	Grès	2341	106	1793	83
PE4-E3	Enrochement	2352	259	2117	88
PE4-E4	Conglomérat	2462	236	1353	132
PE4-E5	Grès	2480	217	1673	137
PE5-E1	Grès	2145	97	1852	84
PE5-E2	Grès	2347	175	1744	72
PE5-E3	Grès	2499	179	1969	108
BARACHOIS NORD					
BA1-E8	Conglomérat	1934,37	182	1705	138
BA1-E10	Grès fin	2148,8	149	1779	120
BA2-E3	Enrochement	2626,15	222	1610	151

2.1. L'influence de la teneur en eau

De façon générale, la teneur en eau des sédiments de plage augmente en se rapprochant de l'eau. Les échantillons prélevés au niveau du bas de plage, où la nappe phréatique est en contact avec la plage, sont saturés. Sur le haut de plage, les sédiments sont mieux

drainés et ont alors une teneur en eau plus faible. L'observation des résultats de plages plutôt homogènes comme celles de Paspébiac et Barachois Sud (figure 17 et 18), met en évidence que l'intensité du signal de retour LiDAR est inversement proportionnelle à la teneur en eau des sédiments. En effet, les échantillons sableux saturés présentent généralement des valeurs d'intensité LiDAR moyenne inférieures aux échantillons prélevés sur le haut de plage qui sont mieux drainés.

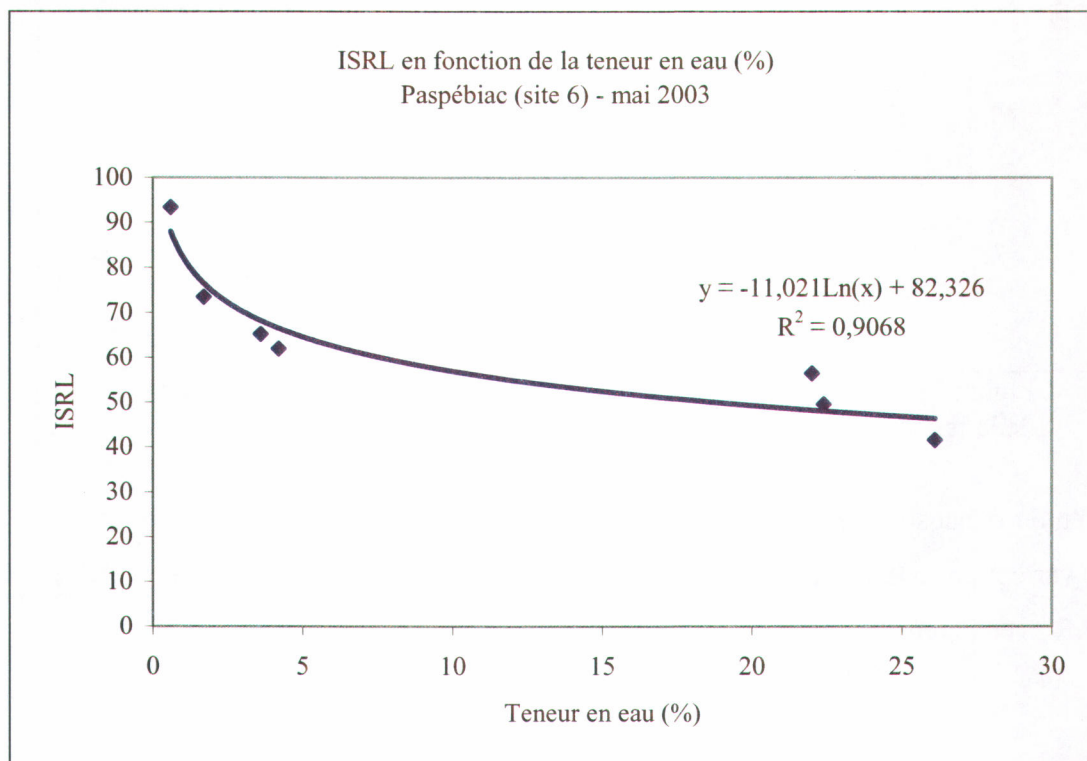


Figure 17. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur le site de Paspébiac Ouest – mai 2003.

Dans le cas des sédiments grossiers (diamètre supérieur à 2 mm), la teneur en eau ne semble plus affecter l'intensité LiDAR. En effet, l'intensité du signal de retour devient plutôt inversement proportionnelle à la valeur scanographique. La surface des sédiments grossiers est assez grande pour que l'intensité du signal LiDAR réponde à d'autres critères, telle la composition minéralogique.

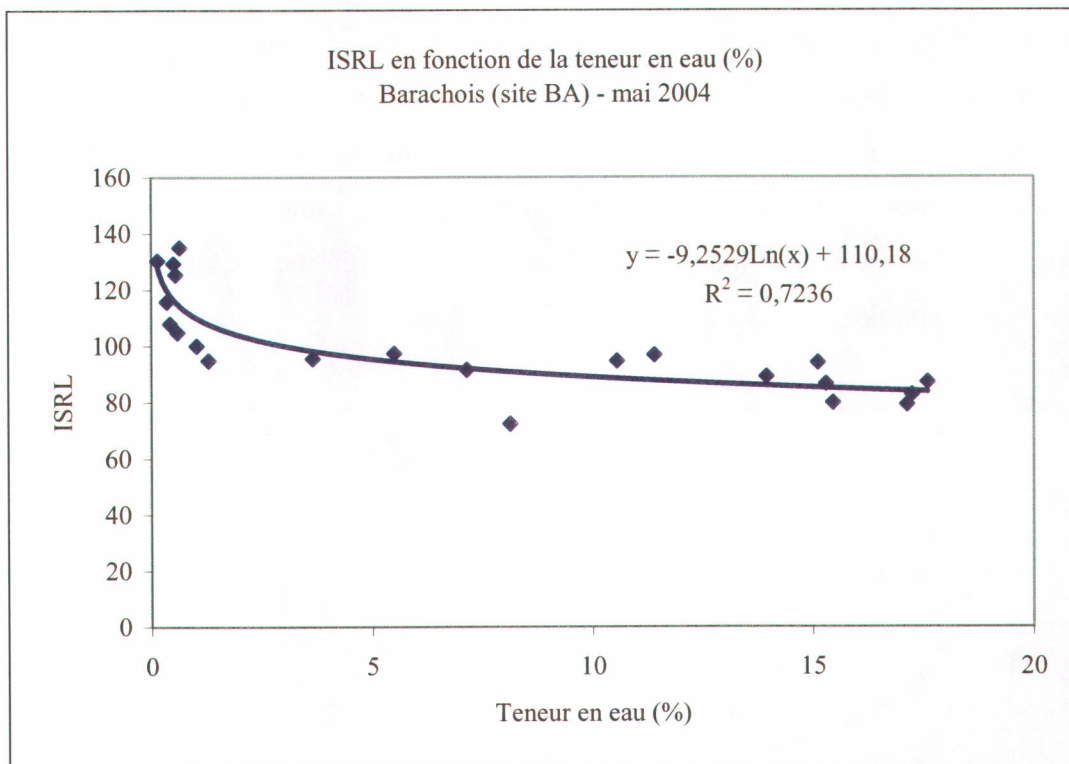


Figure 18. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur le site de Barachois Sud – mai 2004.

Une étude exhaustive menée sur les résultats de 2003 montre que les teneurs en eau de 2003 varient entre 0,3 et 26,1% (figure 19). La relation de l'intensité du signal de retour LiDAR avec la teneur en eau des sédiments donne l'équation suivante :

$$y = -14,519\ln(x) + 84,679$$

où x est la teneur en eau et y , l'intensité du signal de retour LiDAR. La relation est inversement proportionnelle lorsque la teneur en eau est élevée, soit supérieure à 10%. Pour des valeurs se rapprochant de 10%, la relation est directe dans tous les types d'environnement. Au-dessous de 10%, la relation est moins claire car d'autres facteurs interviennent.

Une même étude des valeurs de teneur en eau obtenues en 2004 montre qu'elles varient entre 0,2 et 23,4%. La relation entre les deux valeurs est très similaire :

$$y = -14,983\ln(x) + 117,93.$$

La diminution de l'intensité LiDAR est toujours fonction de l'augmentation de la teneur en eau, par contre le coefficient de confiance est beaucoup plus faible. Ce phénomène laisse présager que d'autres facteurs influencent l'intensité du signal de retour LiDAR.

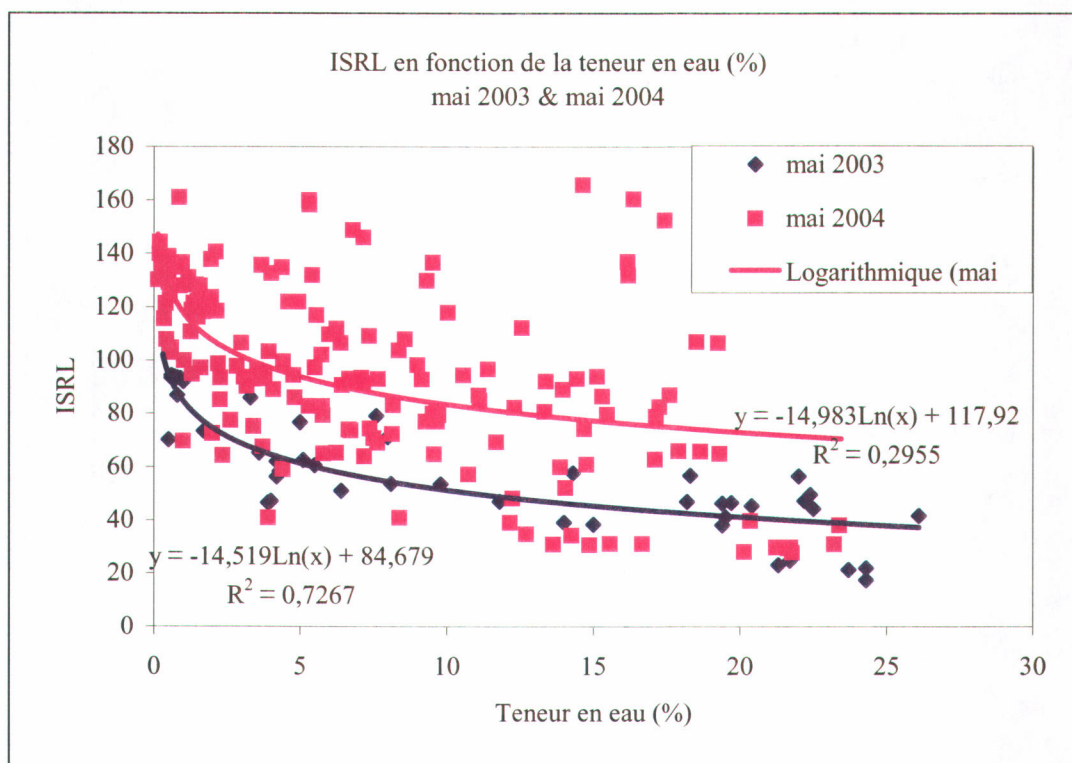


Figure 19. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites d'échantillonnage – mai 2003 et mai 2004.

2.2. L'influence de la granulométrie

2.2.1. La moyenne granulométrique

En première approximation, aucune relation n'est obtenue entre l'intensité du signal de retour LiDAR et la moyenne granulométrique (figure 20). La moyenne granulométrique ne constitue pas un facteur primaire car les sédiments rencontrés ne sont pas homogènes et présentent plusieurs populations. L'intensité du signal de retour dépend probablement

plutôt de l'association de différents faciès. Une étude plus exhaustive devrait être entreprise en utilisant les modes et la moyenne granulométrique des sédiments constituant chaque population pour apprécier le rôle du faciès sédimentaire sur l'intensité du signal de retour.

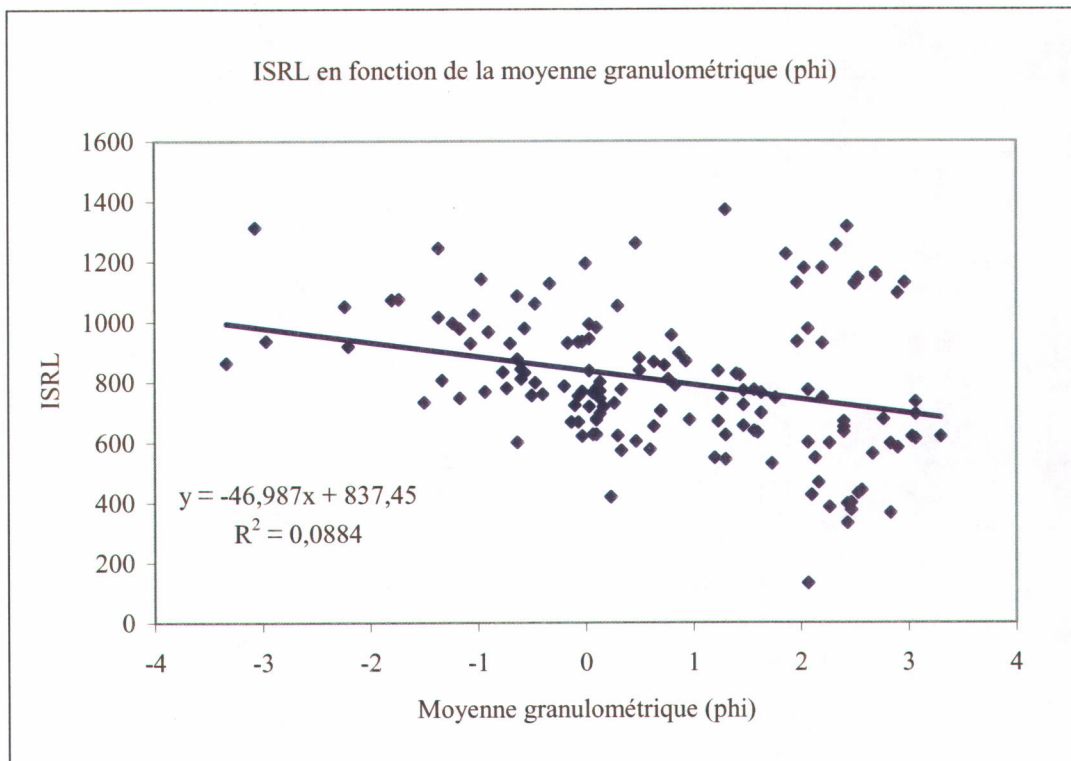


Figure 20. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la moyenne granulométrique (ϕ) sur tous les sites d'échantillonnages – mai 2003 et mai 2004.

2.2.2. Les modes (ou populations)

L'hétérogénéité des sédiments ne permet pas d'utiliser la moyenne granulométrique comme indice sédimentaire. À partir des échantillons présentant une seule population sur les courbes granulométrique, il est possible de voir que plus la valeur du mode tend vers les fines plus un étalement des valeurs d'intensité du signal de retour LiDAR se produit (figure 21). Ceci montre à nouveau que d'autres facteurs entrent certainement en ligne de compte dans la variation de l'intensité enregistré, tel la teneur en eau. Les échantillons multimodaux sont difficilement comparables avec l'intensité du signal de retour

enregistré aux points de prélèvements. En effet, une approche différente devrait être entreprise afin de déterminer l'indice de rugosité et l'indice de porosité à partir de la taille des particules.

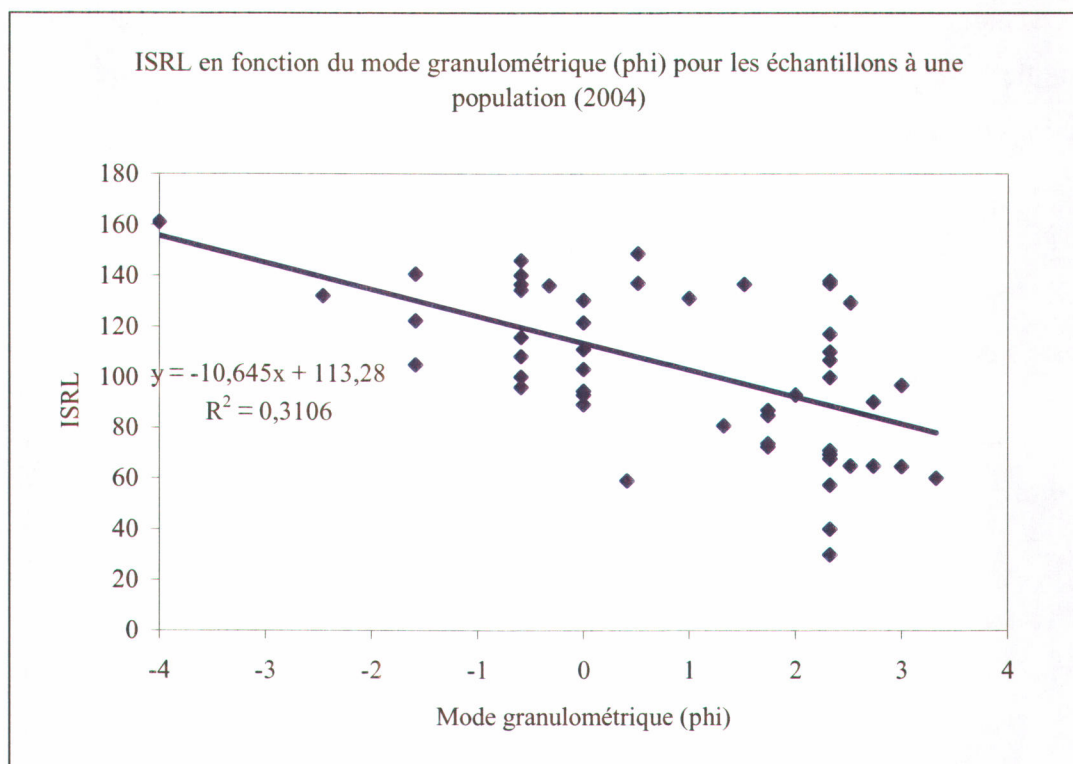


Figure 21. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du mode granulométrique (ϕ) des échantillons (une population) de tous les sites – mai 2004.

2.3. La relation avec l'intensité scanographique

L'intensité scanographique représente la densité de l'échantillon prélevé sur le site d'étude et analysé à l'aide du scanographe. Elle reflète la compaction, la porosité, la minéralogie et la teneur en eau. Les valeurs des échantillons prélevés varient entre 330 et 1565 HU. Ce qui correspond en première approximation à des densités variant respectivement de sédiments très peu compactés à des roches (Crémer et al., 1996). De plus, l'intensité scanographique augmente avec la teneur en eau et avec la compaction. La granulométrie influence également l'intensité scanographique. Dans les sédiments littoraux fins à grossiers, l'intensité scanographique diminue avec l'augmentation de la

moyenne granulométrie et par conséquent de la porosité. Par contre, la présence de gros galets, présentant une grande surface de mesure et une porosité plus faible qu'un sable, peut avoir l'effet inverse et causer une augmentation de l'intensité scanographique. La comparaison de l'intensité du signal de retour LiDAR sur une plage et de l'intensité scanographique met en évidence une relation inversement proportionnelle (figure 22). La relation de l'intensité du signal de retour LiDAR avec l'intensité scanographique donne l'équation suivante :

$$y = 172,24e^{-0,001x}$$

où x est l'intensité scanographique et y , l'intensité du signal de retour LiDAR.

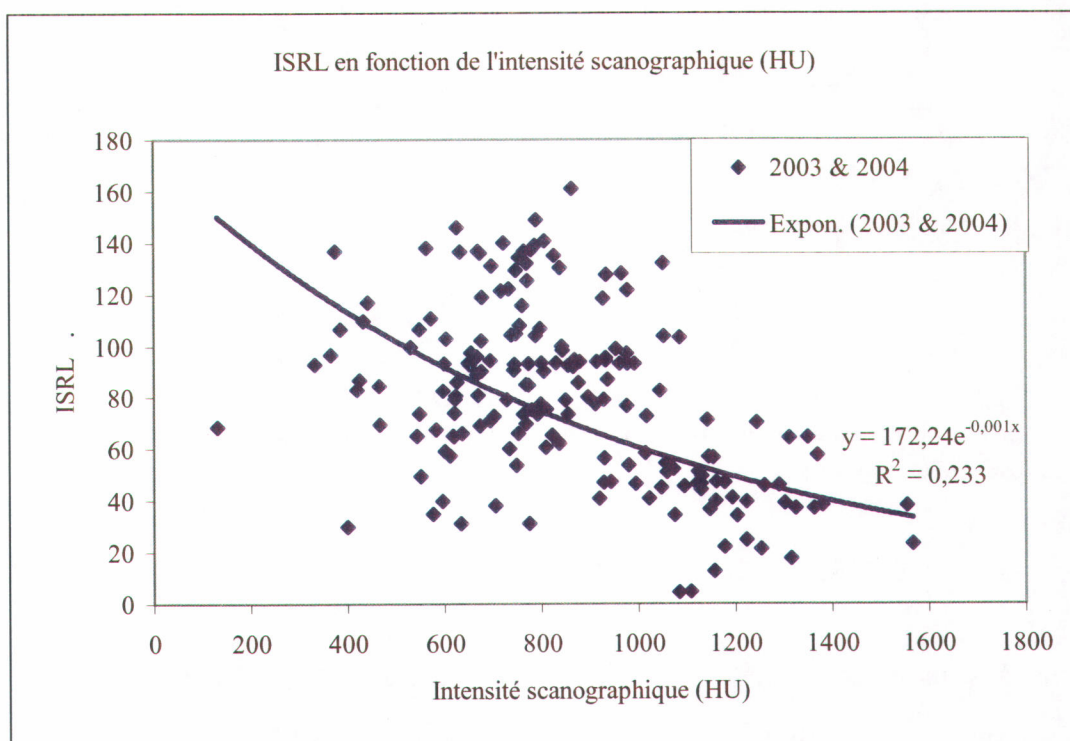


Figure 22. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de l'intensité scanographique (HU) sur tous les sites d'échantillonnages – mai 2003 et mai 2004.

L'intensité LiDAR moyenne diminue lorsque l'intensité scanographique augmente. Il est donc possible de conclure qu'une augmentation de la granulométrie, donc de la porosité

des sédiments littoraux fins à grossiers entraînent une augmentation de l'intensité du signal de retour LiDAR tandis qu'une augmentation de la teneur en eau, de la compaction et la présence de galets feront diminuer l'intensité de retour LiDAR.

2.4. L'influence de l'angle d'ouverture du faisceau laser

Une variation de l'intensité du signal de retour LiDAR est observée latéralement à partir du centre vers les côtés de l'empreinte de la ligne de vol au sol. Cette variation est attribuable à l'effet de l'angle d'ouverture du faisceau laser lors du balayage de ce dernier et donc de l'angle d'incidence du rayon au niveau du sol.

Les courbes acquises à partir des profils mesurés sur les images d'intensité du signal de retour LiDAR sur les sites de Barachois et Paspébiac ont permis d'obtenir des fonctions polynomial de second degré (annexe 6) :

$$y = - Ax^2 + Bx + C.$$

Le site de Barachois donne un bon exemple de cette variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR. Les profils d'intensité mesurés sur l'île-barrière (figure 23), les profils 1 à 5 allant du haut vers le bas de plage et les profils eau-1 à eau-3 étant situés à la surface de l'eau, ont donné des courbes caractérisées par une fonction polynomiale de second degré (figure 24). La variable A est constante sur la plage sèche (profils 1 à 3) avec une valeur de 2×10^{-4} , elle diminue à 1×10^{-4} près de l'eau (profil 4) et à $0,5 \times 10^{-4}$ dans les vagues déferlantes (profil 5) (tableau 9). La variable B diminue également en se rapprochant de l'eau en passant de 0,11 sur le haut de plage à 0,04 sur le bas de plage. Dans la zone de déferlement (profil 5) la surface de l'eau est rugueuse. Il en résulte que l'atténuation du signal est faible. Ceci se traduit par une diminution des valeurs des variables A et B. Par contre, au large alors que la surface marine est plane, les valeurs des variables A et B sont très élevées et constantes sur les trois profils, avec des valeurs moyennes respectives de 8×10^{-4} et 0,49. La variable C représente la valeur d'intensité du

signal de retour. Cette valeur diminue à partir du profil situé sur le haut de plage vers le profil près du rivage.

Tableau 9. Variables et coefficients de confiance des fonctions polynomiales de second degré des courbes de variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL).

Profils	A	B	C	R ²
1	0,0002	0,108	99,938	0,3622
2	0,0002	0,0935	95,362	0,2926
3	0,0002	0,0796	92,117	0,2991
4	0,0001	0,0744	80,879	0,2444
5	0,00005	0,0392	61,334	0,088
Eau-1	0,0008	0,4994	-21,828	0,5428
Eau-2	0,0009	0,5411	-24,334	0,4673
Eau-3	0,0008	0,4434	-13,566	0,4161

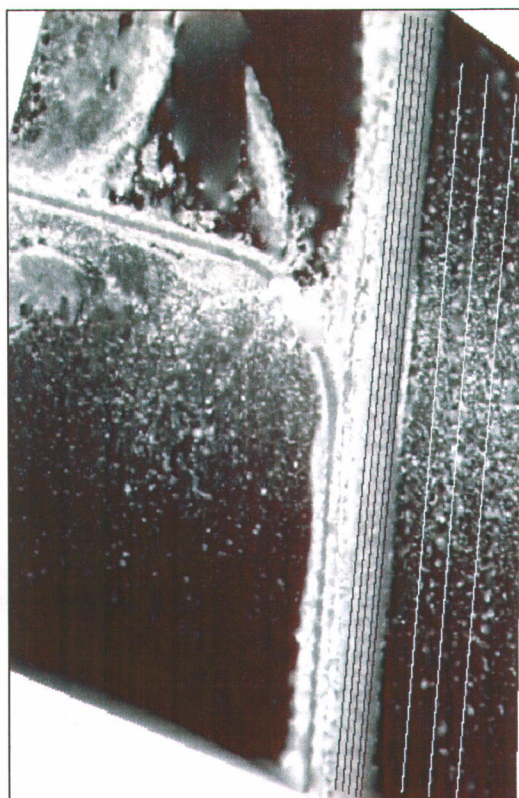


Figure 23. Profils sur lesquels la variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL), due à l'angle d'ouverture du faisceau laser, a été mesurée (Barachois Sud – mai 2004).

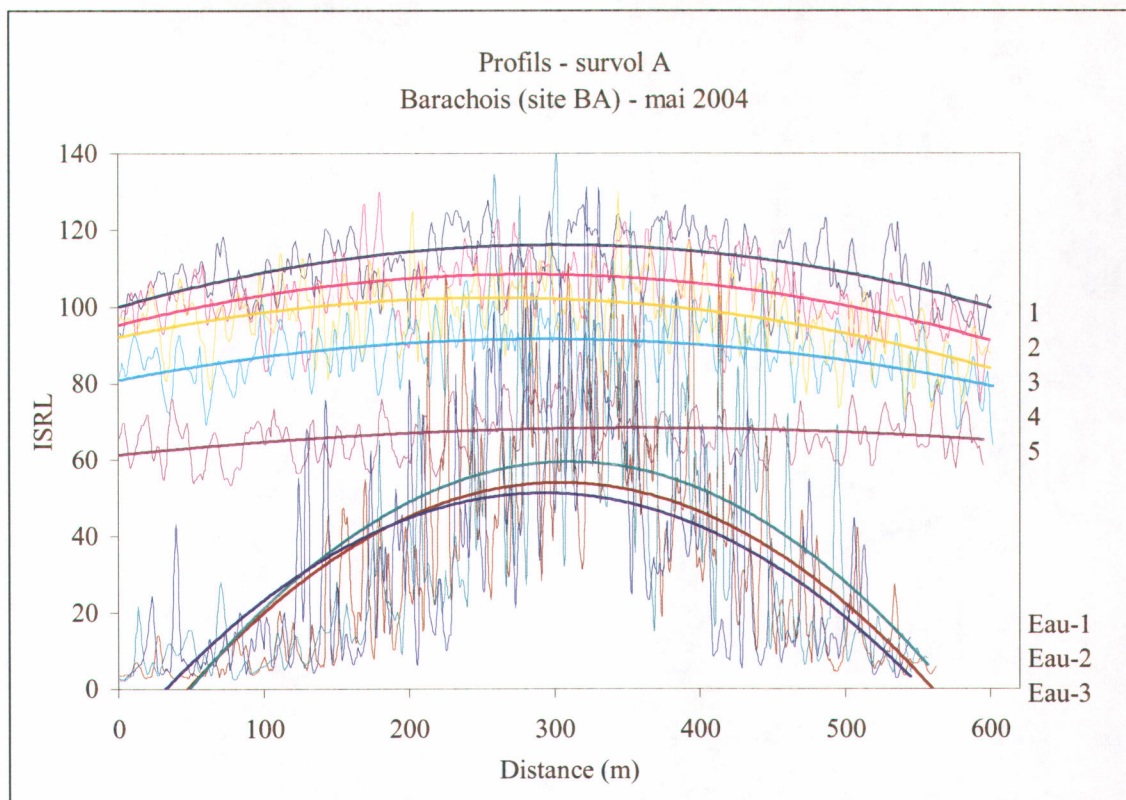


Figure 24. Variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL), due à l'angle d'ouverture du faisceau laser, en fonction de la distance au sol sur la largeur de la trace de la ligne de vol (Barachois Sud – mai 2004).

2.5. L'influence de la morpho-topographie du littoral

La variation latérale de l'intensité du signal de retour due à la morpho-topographie du littoral est évaluée à partir de profils d'altitude et d'intensité LiDAR effectués perpendiculairement à la plage. Le site étudié est celui de la flèche de Paspébiac qui sépare le lagon marécageux et la baie des Chaleurs (figure 25). L'annexe 7 contient l'ensemble des graphiques présentant l'altitude et l'intensité du signal de retour pour 2003 et 2004 le long de huit profils ainsi que les coordonnées de la position de chacun de ces profils.

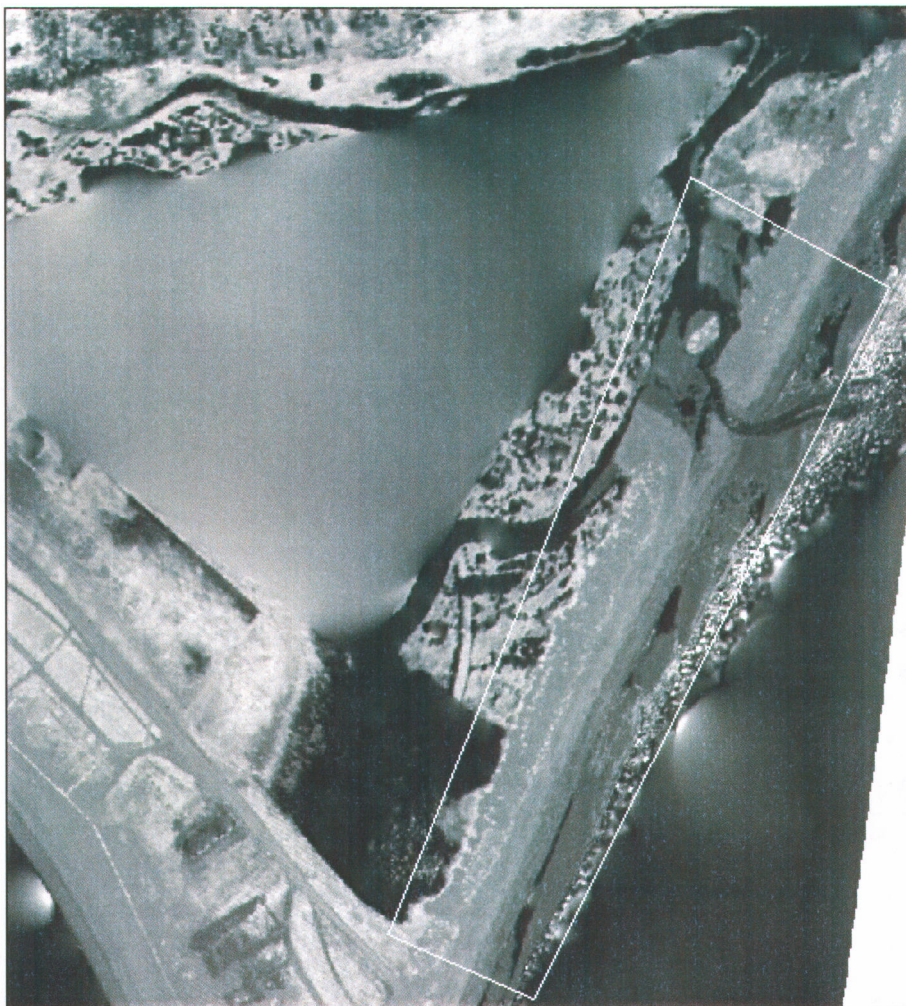


Figure 25. Image d'intensité du signal de retour LiDAR et zone d'étude de la variation latérale en fonction de la morpho-topographie sur le site de Paspébiac.

Les profils d'altitude reflètent bien la topographie de la flèche tandis que les profils d'intensité LiDAR permettent de voir l'effet de la morphologie sur l'intensité du signal de retour. La figure 26 présente un exemple d'un de ces profils (profil 27) avec ses différentes sections qui sont la surface de l'eau, la plage, l'arrière plage formée d'une dune et la végétation du marais présent dans le lagon. Sur la surface de l'eau, il est possible de voir une importante fluctuation de la valeur d'intensité du signal de retour, mais cette fluctuation n'est pas significative. Sur la plage, l'intensité du signal de retour est proportionnelle à l'altitude du littoral. Ceci s'explique par la variation de la teneur en eau ainsi que par le grano-classement naturel de la plage de Paspébiac. En effet, la teneur

en eau qui diminue et la granulométrie des sédiments qui augmente avec l'altitude font augmenter l'intensité du signal de retour. L'intensité LiDAR élevée sur la dune de la flèche de Paspébiac est quant à elle due aux galets qui la composent. Au niveau du marais, la présence ou non de végétation provoque une variation notable de l'intensité du signal de retour de l'ordre de 70 unités ISRL.

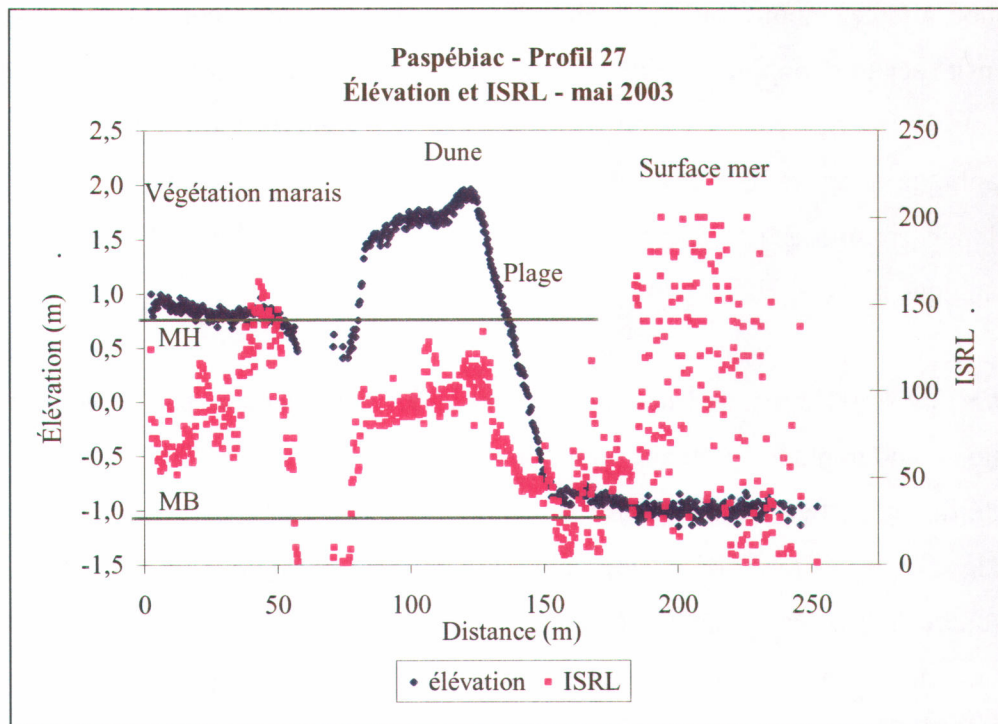


Figure 26. Exemple de variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la morpho-topographie (flèche sableuse de Paspébiac), MH : marée haute; MB : marée basse.

3. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) sur les faciès solides

3.1. L'influence de l'intensité scanographique

L'évaluation de l'intensité du signal de retour LiDAR au niveau des points d'échantillonnage des roches a été difficile à réaliser pour plusieurs raisons. En premier lieu, les échantillons ont été prélevés en pied de falaise, soit directement dans la paroi rocheuse ou à partir de blocs de roches provenant de plus haut dans la falaise. Donc, une

incertitude en ce qui a trait à la provenance exacte des roches était présente. Ensuite, la mesure de l'intensité du signal de retour LiDAR à partir des données de survols a été à toute fin pratique infaisable en raison du manque de points de mesures d'intensité LiDAR directement dans la paroi rocheuse verticale.

Les valeurs d'intensité scanographique mesurées à l'intérieur des roches, soit sur une couche non altérée, montre qu'une roche plus poreuse comme le conglomérat possède une intensité scanographique, 1530 HU, plus faible qu'une roche moins poreuse comme le grès ou le mudstone. Ces dernières donnent eux-mêmes une valeur d'intensité scanographique plus faible, respectivement 1710 et 1745 HU, que l'enrochement échantillonné composé de roches ignées plus denses qui donnent une intensité scanographique de 1860 HU.

Cependant, puisque le signal laser incident du LiDAR ne pénètre pas dans la roche, l'intensité scanographique retenue pour évaluer l'influence de cette dernière sur l'intensité du signal de retour LiDAR est celle mesurée en surface. Tel que mentionné plus tôt, les mesures d'intensité scanographique faites en surface donnent des valeurs plus élevées que celles faites à l'intérieur des échantillons de roche. Cette augmentation de l'intensité peut s'expliquer en partie par l'altération par oxydation présente à la surface des roches. Par contre, les mesures faites en surface sont également influencées par un phénomène connu sous le nom de « beam hardening ». En raison du changement rapide de densité entre l'air et la roche, les mesures d'intensité scanographique faites à la surface de cette dernière sont faussées. Une étude plus exhaustive permettra d'évaluer l'ordre d'influence de ce phénomène.

Quelques valeurs d'intensité moyenne du signal de retour LiDAR et d'intensité scanographique sont tout de même présentées au tableau 10 pour différents types de roche rencontrés. L'intensité du signal de retour LiDAR mesurée aux points d'échantillonnage montre que cette dernière, qui varie entre 81 et 124, est proportionnelle à l'intensité scanographique, qui varie entre 2175 et 2490 HU. Donc, les roches plus denses semblent générer des valeurs d'intensité LiDAR supérieures.

Tableau 10. Données d'intensité scanographique et d'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du type de roche des falaises de Percé (Cap d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils) et Barachois.

Type de roche	Intensité scanographique en surface (HU)		Intensité scanographique à l'intérieur (HU)		ISRL	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Mudstone	2290	190	1745	215		
Grès	2175	200	1710	90	84	5
Conglomérat	2200	210	1530	135	81	8
Enrochement	2490	240	1865	120	124	18

4. La variabilité de l'intensité du signal de retour LiDAR sur l'ensemble des milieux

Des mesures d'intensité du signal de retour LiDAR ont également été effectuées de manière ponctuelle sur l'ensemble des différents types de faciès sédimentaires et anthropiques rencontrés dans la zone d'étude afin de pouvoir corréler les différents types d'environnement présents le long de la côte (tableau 11).

Le tableau 11 met en évidence des valeurs d'intensité du signal de retour LiDAR qui fluctuent entre 7 et 160 unité d'ISRL (valeur codée) selon les différents types d'environnements. Au niveau des régions où la teneur en eau est plus élevée, soit la mer et les marais, l'intensité du signal de retour LiDAR tend à être plus faible, respectivement 7 et 24. Une plage de graviers présente des valeurs LiDAR supérieures (entre 42 et 98) aux plages de sable (entre 32 et 52). Les enrochements de St-Siméon – Bonaventure sont de différente nature que l'enrochement de Barachois. Les premiers sont de composition semblable aux roches formant les falaises de la région et ont une intensité du signal de retour plus faible, variant de 62 à 101. L'enrochement de Barachois est quant à lui plus dense, ce qui explique sa valeur d'intensité plus élevée de 124. Les données d'intensité effective obtenues sur les routes de la région ont permis de constater que les routes de graviers renvoient une intensité du signal de retour semblable (46 à 86) à celles composées d'asphalte (46). Par contre, les bandes routières qui masquent la porosité de l'asphalte ont des réponses beaucoup plus hautes (93 à 129). L'intensité du signal de retour mesurée au niveau de la végétation donne la valeur la plus élevée (160).

Tableau 11. Variabilité de l'intensité du signal de retour LiDAR en fonction du type de faciès sédimentaires ou anthropiques.

Environnement	Sous-type/matériel	Intensité moyenne LIDAR	Écart-type
Mer	Eau de mer	7	6
Marais intertidal	Global	55	9
	Chenal	24	6
Barre de graviers	Global	82	18,5
	concentration élevée de graviers	98	18
	concentration élevée de silt	73	12
Barre de sable	St-Simeon	44	5
	Maria (global)	29	4
	Maria (partie près de la côte)	24	2
	Maria (au large)	32	5
Plage de sable		52	11
Plage de graviers		42	7
Pied de falaise	roches sédimentaires	132	5,4
Haut de falaise	Végétation	160	16,6
Enrochement (fonction de la pétrographie)	St-Simeon (site 1)	98	18
	St-Simeon (site 2)	62	16,5
	Bonaventure (harbour)	101	18
Béton		88	14
Route de gravier	route principale (Bonaventure)	69	10
	route secondaire (Bonaventure)	46	6
	route principale (St-Siméon)	86	12
	route secondaire (St-Siméon)	61	8
Route d'asphalte	Global	46	9
	bande centrale (Barachois)	121	24
	bande latérale (Barachois)	129	21
	bande centrale (Bonaventure)	70	6
	bande latérale (Bonaventure)	93	17

5. Une classification morpho-sédimentologique

Le site étudié pour évaluer le potentiel cartographique des données aéroportées est celui de Saint-Siméon, survolé en mai 2003. Ce site est choisi à cause de la présence de différents environnements, soit une plage, des bancs de sable et graviers émergeant à marée basse, une flèche et un marais tidal, colonisé et non-colonisé. Les classes de valeurs de teneur en eau et d'intensité scanographique choisies sont appliquées à l'image

d'intensité du signal de retour LiDAR (figure 27) du site. Une classification de la plage et du marais est donc obtenue en fonction de la teneur en eau et de l'intensité scanographique.

5.1. Une cartographie établie en fonction de la teneur en eau

Des classes de teneur en eau sont prédéterminées à partir de la relation de l'intensité du signal de retour LiDAR avec la teneur en eau des sédiments mentionnée précédemment :

$$y = -14,519\text{Ln}(x) + 84,679$$

où x est la teneur en eau et y , l'intensité du signal de retour LiDAR. Ces classes sont ensuite comparées avec l'image d'intensité du signal de retour LiDAR du site étudié à Saint-Siméon (figure 28). Trois différents environnements ont été sélectionnés afin d'illustrer la classification morpho-sédimentologique, la plage, les bancs émergeant à marée basse et le marais tidal.

5.1.1. L'environnement 1 : la plage

La plage de Saint-Siméon est située sur une flèche derrière laquelle un marais tidal se forme. La composition de la plage varie d'un sable fin, en bas et haut de plage, à un sable grossier au niveau de la moyenne plage. Les sédiments fins proviennent fort probablement du marais tidal.

L'influence de la teneur en eau sur l'intensité du signal de retour est bien illustrée à cet endroit avec une diminution de la teneur en eau vers le haut de plage (figure 28a). Les classes de teneur en eau appliquées aux données d'intensité LiDAR donnent des teneurs en haut de plage de moins de 5%, entre 5 et 20% pour le milieu de plage et supérieures à 20% pour le bas de plage. La ligne de rivage présente des valeurs d'intensité LiDAR élevées associées à une teneur en eau très faible. Mais, ces intensités LiDAR sont plutôt explicables par la présence d'algues et d'une granulométrie fine à cet endroit qui

engendrent une réflexion accrue du signal incident et donc des intensités du signal de retour élevées.

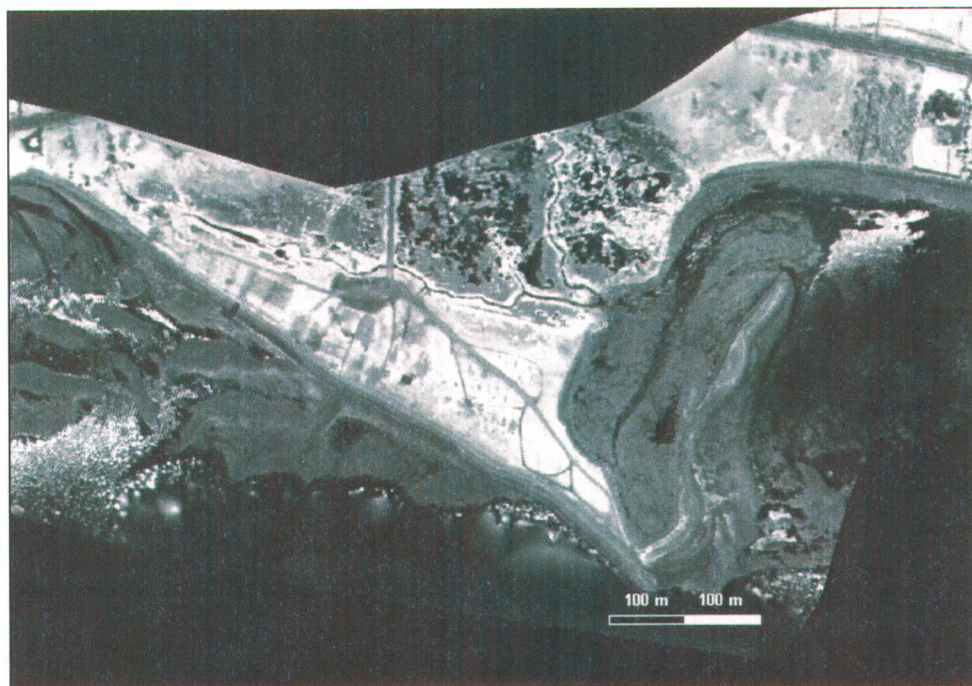


Figure 27. Image d'intensité du signal de retour LiDAR du site de Saint-Siméon – mai 2003.

5.1.2. L'environnement 2 : les bancs de graviers et sable au large

La teneur en eau des bancs de graviers et sable intertidaux varie entre 10 et 20% lorsque ceux-ci émergent à marée basse et atteint exceptionnellement 0,5% sur les parties les plus sèches des bancs (figure 28a). La rugosité de surface des sédiments sur les sédiments plus grossiers est un facteur important qui fait varier la relation entre la teneur en eau et l'intensité du signal de retour LiDAR. La rugosité de surface est même considérée comme étant le paramètre principal qui influence les teneurs en eau inférieures à 10%. De plus, sur les sédiments grossiers, la composition minéralogique de ces derniers influencent aussi l'intensité du signal de retour. Des minéraux durs vont refléter le signal laser alors que des minéraux poreux vont absorber une partie de ce même signal.

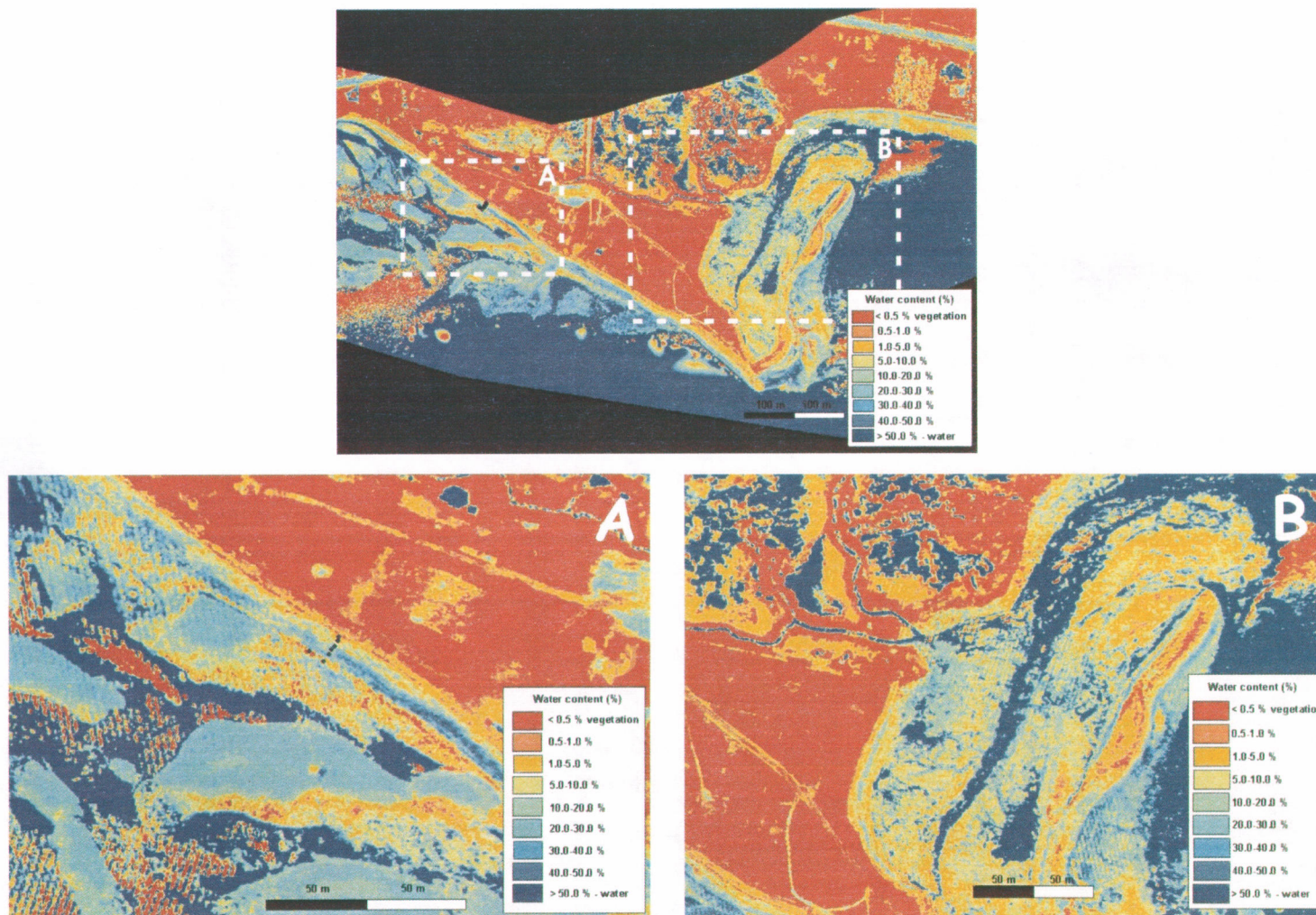


Figure 28. Carte de classification en fonction de la teneur en eau des sédiments sur le site de Saint-Siméon – mai 2003 (a : plage et bancs de graviers et sable émergeant à marée basse; b : marais tidal).

5.1.3. L'environnement 3 : le marais tidal

Le marais tidal situé dans la section nord-est du site à l'étude de Saint-Siméon est limité à l'est par une mince flèche longitudinale où la teneur en eau varie entre 1 et 5% (figure 28b).

Sur le schorre, ou marais colonisé par la végétation, formant la partie nord-ouest du marais, la végétation montre des intensités du signal de retour LiDAR élevées qui sont associées par défaut à une teneur en eau faible inférieure à 0,5%. Sachant que le type de végétation et son humidité influencent l'intensité du signal de retour, les valeurs sur le schorre ne sont données qu'à titre informatif. Par contre, le chenal tidal le traversant est clairement visible avec des teneurs en eau maximales qui sont associées à l'eau qui y est présente. Sur les bancs émergents aux abords du chenal tidal, la teneur en eau varie entre 1 et 5%.

Sur la slikke, ou marais non colonisé, située entre le schorre et la flèche, la teneur en eau des sédiments très fins varie entre 1 et 10%, tandis que les bancs de part et d'autre du chenal tidal possèdent des teneurs en eau comprises entre 10 et 30%. Sur ce type d'environnement relativement uniforme, où les sédiments sont très fins et exempts de végétation, la relation de l'intensité du signal de retour en fonction de la teneur en eau est très claire. La surface lisse réduit le facteur de la rugosité de surface des sédiments plus grossiers et la teneur en eau devient le paramètre majeur influençant l'intensité du signal de retour.

5.2. Une cartographie établie en fonction de l'intensité scanographique

La relation entre l'intensité du signal de retour LiDAR et l'intensité scanographique des sédiments est également appliquée à l'image d'intensité LiDAR du site de Saint-Siméon selon des classes d'intensité scanographique préétablies (figure 29). La relation utilisée est la suivante :

$$y = 172,24e^{-0,001x}$$

où x est l'intensité scanographique et y , l'intensité du signal de retour LiDAR.

5.2.1. L'environnement 1 : la plage

La carte de classification donne des valeurs d'intensité scanographique variant entre 600 et 1000 HU pour le haut et le bas de plage qui sont composés de sable fin tandis que la moyenne plage, composée de sable grossier, donne des valeurs de entre 1000 et 1400 HU (figure 29a). La différence de granulométrie des sédiments de plage démontre que la distribution granulométrique influence le signal de retour LiDAR, ici démontrée par l'entremise de son influence sur l'intensité scanographique.

5.2.2. L'environnement 2 : les bancs de graviers et sable au large

Sur les bancs de graviers et sable émergeant lors des basses marées, les intensités scanographiques obtenues à partir des cartes de classification sont similaires à celles obtenues au niveau du la plage moyenne, ce qui est consistant puisque la granulométrie à cet endroit se rapproche de celle de la moyenne plage, soit un mélange de graviers et de sable grossier (figure 29a).

5.2.3. L'environnement 3 : le marais tidal

La flèche de gravier limitant le marais tidal et les sédiments des bancs aux abords du chenal tidal au niveau du schorre possèdent des intensités scanographiques variant entre 600 et 1000 HU (figure 29b). Sur la slikke, les valeurs d'intensité scanographique varient entre 800 et 1200 HU sur les sédiments très fins émergés et entre 1200 et 1400 sur les bancs situés de part et d'autre du chenal.

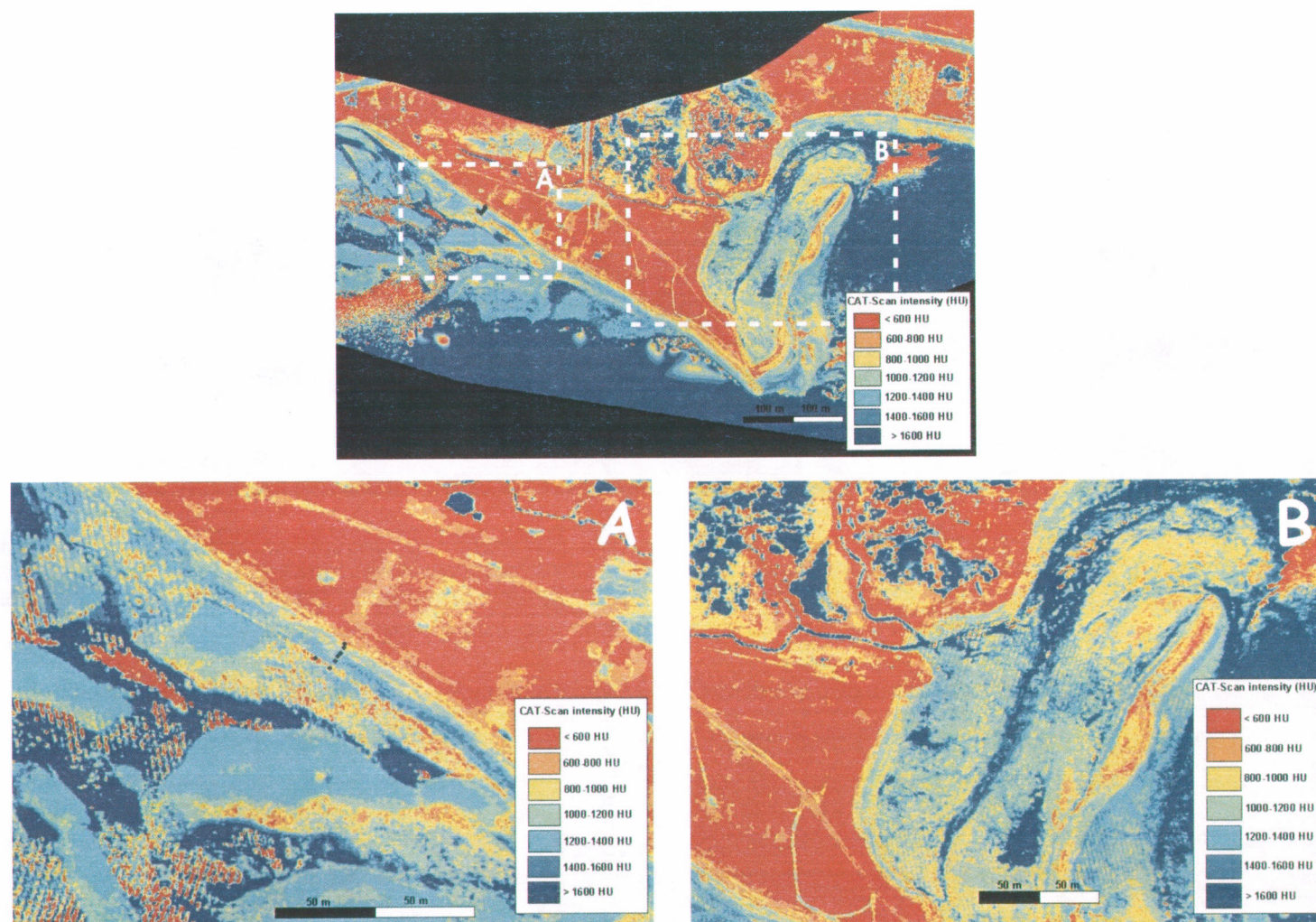


Figure 29. Carte de classification en fonction de l'intensité scanographique des sédiments sur le site de Saint-Siméon – mai 2003 (a : plage et bancs de graviers et sable émergeant à marée basse; b : marais tidal).

6. Conclusion

Une grande quantité de données à été recueillies au cours des campagnes de terrain, survols LiDAR et échantillonnage, et à la suite des analyses effectuées en laboratoire sur les échantillons prélevés. Plusieurs relations ont découlées de ces résultats. En effet, plusieurs paramètres géologiques et géotechniques, incluant la teneur en eau, la moyenne et les modes granulométriques et l'intensité scanographique, et certains facteurs physiques, tel l'angle d'ouverture du faisceau laser et la morpho-topographie du littoral, ont été mis en relation avec l'intensité du signal de retour. Chacune de ces variables faisant fluctuer l'intensité enregistrée à sa manière, une relation unique n'a pu être développée. Une étude plus exhaustive serait nécessaire pour y parvenir, tout en y incluant d'autres facteurs, puis que ceux énumérés ci-haut ne sont pas les seuls jouant sur l'intensité du signal de retour LiDAR. En effet, la variabilité du signal de retour sur l'ensemble des milieux, naturels et anthropiques, a été démontrée. Une classification morpho-sédimentologique à tout de même pu être établie en cartographiant l'intensité du signal de retour LiDAR en fonction de la teneur en eau et de l'intensité scanographique, tout deux faisant diminuer l'intensité du signal de retour LiDAR lorsque leur valeur augmente.

Chapitre 5

Discussion

L'analyse des résultats obtenus à partir des deux survols LiDAR, des campagnes de terrains et des mesures en laboratoire a permis d'associer certains paramètres géologiques, géotechniques et physiques aux fluctuations de l'intensité du signal de retour LiDAR.

La relation entre l'intensité du signal de retour LiDAR et les paramètres entourant le médium étudié n'est pas directe car l'intensité du signal de retour est fonction de nombreuses interactions entre les différents paramètres. C'est pourquoi, chacun des paramètres doit être interprété individuellement.

1. L'influence des paramètres géologiques et géotechniques du matériel au sol sur l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL)

Les paramètres géologiques et géotechniques étudiés sont ici discutés séparément en fonction de leur influence sur l'intensité du signal de retour LiDAR. Ces paramètres comprennent la teneur en eau, la granulométrie, la rugosité de surface, la compaction des sédiments et finalement, la porosité et l'altération de surface des roches.

1.1. La teneur en eau

Sur un environnement composé de sédiments non consolidés, l'intensité du signal de retour est fonction de la teneur en eau lorsque la plage est composée de sable fin. En présence de sable moyen à très grossier, l'intensité du signal de retour devient plutôt fonction de la taille des sédiments et de la rugosité de surface engendrée par ceux-ci.

Le coefficient de confiance (R^2) de la relation logarithmique obtenue pour les résultats de 2003 est de 0,3 et de 0,7 pour 2004. Ces valeurs faibles s'expliquent par les nombreux autres paramètres interférant avec l'intensité du signal de retour.

Au sein d'un environnement silteux à argileux, tel les marais de Saint-Siméon, Paspébiac et Barachois, l'intensité du signal de retour est très utile pour cartographier les différentes zones composant le marais. En effet, il est possible de bien cartographier le système de drainage du marais et de distinguer la partie colonisée du marais, le schorre, de la partie non colonisée, la slikke. Par contre, une calibration plus sophistiquée sera nécessaire afin de rendre cette méthodologie applicable.

1.2. La granulométrie

L'analyse de l'intensité du signal de retour LiDAR en fonction de la moyenne granulométrique n'a pas donné de conclusion significative. En effet, la taille des sédiments de plage n'est pas un paramètre pertinent. L'intensité LiDAR semble diminuer avec la moyenne granulométrique, mais c'est plutôt la variation de la rugosité de surface, due à une association de plusieurs modes granulométriques, qui semble influencer l'intensité LiDAR. Les échantillons multimodaux devront être traités différemment car l'infiltration de grains plus fins au travers de la population plus grossière devrait diminuer la porosité et probablement la rugosité de surface. Il s'agira d'entreprendre un calcul afin de déterminer l'indice de porosité et l'indice de rugosité de surface à partir de la taille des particules.

L'évaluation de l'intensité scanographique a permis de constater que l'intensité du signal de retour LiDAR sur un environnement meuble est fonction de la granulométrie. Ainsi, des sédiments de taille supérieure au sable moyen présentent une plus grande porosité, se qui engendrent une rugosité de surface importante et par conséquence permettent une augmentation de l'intensité du signal de retour LiDAR.

La présence de galets dans un échantillon de sédiments meubles fera augmenter l'intensité scanographique évaluée en laboratoire, donc devrait faire diminuer l'intensité du signal de retour LiDAR. Par contre, le galets présentant une surface rocheuse plus grande, donc une surface plus dense engendre plutôt une augmentation de l'intensité du signal de retour LiDAR.

1.3. La rugosité de surface

L'influence de la rugosité de surface peut être imagée avec les résultats de variation latérale de l'intensité LiDAR, due à l'angle du signal incident lors du balayage du faisceau laser, obtenus sur le médium uniforme qu'est l'eau. En effet, la figure 24 présentant les résultats du site de Barachois sud montre bien qu'entre une surface lisse, telle la surface de l'eau au large, et une surface rugueuse, telle la zone de déferlement des vagues, il peut y avoir jusqu'à un facteur de l'ordre de 18 entre les variables A, respectivement 9×10^{-4} et $0,5 \times 10^{-4}$, et un facteur de l'ordre de 13 entre les variables B, 0,54 et 0,04, des fonctions polynomiales de second degré des courbes obtenues sur ces deux surfaces (tableau 9). La variable A d'une fonction polynomiale est représentée par la courbure des courbes, sa valeur augmente avec une diminution de la rugosité et sa courbe est donc maximale sur une surface lisse telle la surface de l'eau. La variable B est quant-à elle représentée par la pente des courbes et elle évolue dans le même sens que la variable A. En effet, plus la surface est lisse plus sa valeur augmente et la pente est maximale sur l'eau.

En s'éloignant latéralement du centre de la ligne de vol, l'angle incident du signal d'intensité LiDAR augmente et il y a une plus grande perte du signal de retour qui est engendrée. Ceci est particulièrement vrai lorsque la surface réfléchissante est lisse, comme par exemple à la surface de l'eau ou sur des sédiments fins par rapport à sur des sédiments grossiers. Par contre, plus la surface qui réfléchit le signal LiDAR incident est rugueuse, plus la perte de signal de retour sera faible en latéral en raison de l'augmentation de la probabilité que le signal soit réfléchi par une surface perpendiculaire

au rayon. L'augmentation de la rugosité de surface fait donc augmenter l'intensité du signal de retour LiDAR.

1.4. La compaction des sédiments

L'analyse de la variation de l'intensité LiDAR en fonction de l'intensité scanographique a également permis de constater que la compaction des sédiments au sein d'un environnement composé de sable fin ou de taille moindre influence l'intensité du signal de retour LiDAR. Plus le sédiment fin est compacté et dense, donc de faible porosité et présentant une rugosité de surface faible, plus l'intensité du signal de retour devrait être faible.

1.5. La porosité et l'altération de surface des roches

En présence de faciès solides, l'intensité scanographique a mis en évidence l'influence de la densité (ou porosité) et de l'altération de surface (minéralisation) des roches sur l'intensité du signal de retour LiDAR. L'analyse des mesures d'intensité scanographique provenant de l'intérieure des roches a en effet montré qu'une roche ayant une porosité élevée va présenter, contrairement aux sédiments meubles, une intensité LiDAR plus faible qu'une roche ayant une faible porosité. Quant à l'altération de surface, elle a été évaluée à partir de l'intensité scanographique mesurée à la surface des roches échantillonnées. L'altération résultant en des oxydes de surface occasionnera une augmentation de la densité de surface, donc fort probablement de l'intensité du signal de retour LiDAR. Inversement, dans le cas des grès, l'altération du ciment engendre une augmentation de la porosité, donc une diminution de l'intensité du signal de retour.

2. L'influence de facteurs physiques sur l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL)

2.1. L'angle d'ouverture du faisceau

L'intensité du signal de retour LiDAR est fonction de la position latérale de l'empreinte par rapport au centre de la ligne de vol. Cette variation est due à la variation de l'angle d'incidence du faisceau durant le balayage du faisceau laser du système LiDAR. Cet angle a une ouverture maximale d'environ 15° . Donc, en s'éloignant du centre de la ligne de vol, il y a une perte de qualité du signal laser réfléchi. Cette perte est de l'ordre de 15 unités d'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL), sur une distance de plus ou moins 300 m à partir du centre de la ligne de vol, pour un sédiment sec en haut de plage et de l'ordre de 50 unités d'ISRL sur la surface plus lisse qu'est l'interface entre l'eau et air.

De plus, les caractéristiques des sédiments sur la plage influencent également cette fluctuation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR, spécialement la distribution granulométrique discutée plus haut qui fait évoluer la rugosité de surface.

Les courbes obtenues des profils mesurés sur le site de l'île-barrière de Barachois, présentés précédemment (figure 24), soulignent la variation latérale de l'intensité du signal de retour LiDAR. Sur la plage sèche (profils 1 à 4), la variable A de la fonction polynomiale du second degré est constante et la variable B diminue faiblement en se rapprochant de l'eau. Ceci met en évidence une hétérogénéité transversale de la plage. Par contre la distribution des faciès sédimentaires parallèlement à la plage est uniforme et la variation latérale de l'intensité du signal de retour reste principalement due à l'angle de balayage, avec une variation pouvant atteindre 15 unités d'intensité sur 300 m par rapport à la ligne de vol. Près de l'eau (profil 5), sous l'effet du déferlement des vagues, la surface de l'eau devient ondulée et l'atténuation latérale devient peu significative. Par contre, plus au large, alors que le plan d'eau est assimilé à un miroir, les signaux laser réfléchis ont un angle incident très prononcé et la variation de l'angle d'incidence redevient un facteur prépondérant sur l'intensité du signal de retour LiDAR et la variation latérale peut atteindre 50 unités d'intensité sur 300 m.

L'influence de la teneur en eau des sédiments sur l'intensité du signal de retour discutée plutôt est également visible sur les courbes. Les valeurs d'intensité du signal de retour (variable C) diminuent à partir du profil situé sur le haut de plage, où la teneur en eau est minimale ($< 1\%$), vers le profil près du rivage, où la teneur en eau est élevée ($> 15\%$).

2.2. La température de la source d'émission

Entre les données de 2003 et 2004, une différence de 33 unités d'ISRL a été observée sur le graphique mettant en scène l'intensité du signal de retour LiDAR de l'ensemble des sites à l'étude en fonction de la teneur en eau (figure 18). Ce décalage serait attribuable au phénomène selon lequel l'intensité du signal laser incident est fonction de la température de la source d'émission. Donc, seul un contrôle en continu de la puissance d'émission de la lampe permettra d'éliminer le facteur. Une autre approche consisterait à survoler un site témoin dont la géologie est connue.

2.3. La morpho-topographie du littoral

Sur un profil perpendiculaire à la ligne de vol principal, par exemple sur la flèche sableuse de Paspébiac (figure 25), l'effet de la nature de l'élément réflecteur au sol est très visible. Les données d'intensité du signal de retour LiDAR mesurées sur l'eau présentent une grande fluctuation due à la nature de la surface. La surface lisse très réfléchissante et le degré absorbant de l'eau provoquent une très importante perte d'intensité.

Sur la plage, l'intensité LiDAR moyenne augmente avec l'altitude de la plage. Cette augmentation de l'intensité est attribuable à la teneur en eau et au grano-classement naturel d'une plage et non aux variations topographiques. En effet, il a déjà été démontré que la valeur de l'intensité du signal de retour LiDAR augmente avec la diminution de la teneur en eau, donc vers le haut de plage. De plus, la grano-classement observé sur la plage, c'est-à-dire l'évolution en surface de sédiments fins en bas de plage à des

sédiments grossiers en haut de plage, provoque également une augmentation de la valeur de l'intensité du signal retour puisque cette dernière est proportionnelle à la moyenne granulométrique si les sédiments sont homogènes. Par contre, le degré de compaction, qui est aussi proportionnelle à l'intensité LiDAR, est supérieure sur le bas de plage (sédiments fins remaniés par les houles) qu'en haut de plage (sédiments éoliens), ce qui peut faire varier en sens inverse les variations d'intensité du signal de retour sur le bas de plage.

3. Conclusion

L'évaluation de plusieurs paramètres géologiques, géotechniques et physiques a permis de constater la grande variabilité de la valeur d'intensité du signal de retour LiDAR enregistrée lors des survols. En résumé, sur les sédiments meubles, une augmentation de la teneur en eau et de la compaction entraînera une diminution de l'intensité du signal de retour tandis qu'une augmentation de la granulométrie, de la porosité, de la rugosité de surface ainsi que la présence de galets engendrera une augmentation de l'intensité LiDAR. Sur les faciès solides, l'augmentation de la porosité, soit par la granulométrie interne de la roche ou par altération du ciment, provoquera une diminution de l'intensité du signal enregistré et une roche dense ou présentant une altération de surface par oxydation entraînera une augmentation de l'intensité du signal de retour LiDAR.

L'intensité du signal de retour LiDAR est également variable selon certains facteurs physiques. L'angle d'ouverture du faisceau laser entraînera une diminution de l'intensité enregistrée à cause de l'augmentation de la réflexion du signal incident, donc de la perte du signal de retour, en s'éloignant latéralement du centre de la ligne de vol. La température de la source émettrice fera également varier l'intensité du signal incident, donc par conséquent celle du signal de retour. Et finalement, les variations morphologiques et topographiques au sol feront fluctuer l'intensité du signal de retour LiDAR.

Conclusion

L'étude réalisée dans la région de la baie des Chaleurs a permis d'évaluer la possibilité d'appliquer la technique aéroportée LiDAR à la cartographie morpho-sédimentologique de la zone côtière. Il a été démontré que l'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) est fonction de plusieurs paramètres côtiers géologiques, géotechniques et physiques. C'est pourquoi une étude plus exhaustive sur le terrain et en laboratoire est requise afin d'établir formellement les différents faciès sédimentaires nécessaires à la réalisation d'une cartographie côtière à partir des données d'intensité du signal de retour LiDAR seuls. Par contre, plusieurs conclusions peuvent être émises.

Dans un environnement marécageux formé de sédiments très fins, silteux à argileux, une première tentative de cartographie à partir de la comparaison de la teneur en eau seule avec l'intensité du signal de retour LiDAR a tout de même été concluante. En effet, il est possible de bien cartographier le système de drainage et de distinguer le marais colonisé (schorre) du marais non colonisé (slikke).

L'intensité du signal de retour LiDAR est associée avec le caractère réfléchissant du sol. Au sein d'un environnement côtier composé de sable fin, la teneur en eau semble être le paramètre primaire influençant l'intensité du signal de retour LiDAR. L'augmentation de la teneur en eau fait diminuer l'intensité du signal de retour par absorption du signal incident par l'eau contenue dans le sédiment. La rugosité de surface faible, qui engendre une perte du signal de retour par diffraction en raison de la faible porosité des sédiments fins par rapport à des sédiments grossiers, est un facteur de moindre importance sur un tel environnement. Le degré de compaction des sédiments fins semble aussi jouer un rôle, mais moindre que la teneur en eau, sur la variation de l'intensité du signal de retour LiDAR. En effet, l'intensité de retour diminue lorsque la compaction augmente.

Sur un environnement côtier composé de sable moyen ou grossier, même lorsque les sédiments sont saturés, la rugosité de surface semble être le facteur clé; elle est fonction de la granulométrie des sédiments et la porosité entre eux. La rugosité fait varier

l'intensité du signal de retour LiDAR par réflexion du signal incident dans les aspérités. Ceci entraîne une diminution de la perte du signal de retour par rapport à une surface lisse et donc une augmentation de l'intensité enregistrée. De plus, la présence de galets peut engendrer une augmentation de l'intensité du signal de retour LiDAR lorsque le signal incident est réfléchi par une surface rocheuse.

Dans le même ordre d'idée, les variations d'intensité du signal de retour LiDAR évaluées sur les roches sédimentaires formant les falaises côtières de la région de la baie des Chaleurs montrent que l'intensité du signal est influencée par le type de roche et plus particulièrement par la porosité et la qualité de la roche en surface. L'altération du ciment, au sein d'un grès par exemple, entraîne une augmentation de la porosité, donc une plus grande absorption du signal LiDAR incident et une diminution de l'intensité du signal de retour. Cette intensité sera donc maximale sur une roche dense et compétente ou encore sur une roche présentant une oxydation de surface.

Il est aussi démontré que certains paramètres physiques tels la géométrie du système d'émission du signal LiDAR et la morpho-topographie du terrain peuvent influencer l'intensité du signal de retour LiDAR. En effet, l'angle d'ouverture du faisceau laser influence l'angle incident du signal émis et donc l'angle réfléchi, ce qui entraîne une perte d'intensité du signal de retour LiDAR enregistrée, particulièrement en s'éloignant latéralement du centre de la ligne de vol. La température ambiante aux environs du système pourrait également occasionner des variations de l'intensité du signal émis, donc des variations du signal de retour enregistré. Finalement, les dunes, les rides ainsi que le couvert végétal au sol font varier l'intensité du signal de retour LiDAR par une absorption ou une diffraction variable du signal laser réfléchi.

Une étude plus poussée est en progrès afin d'inclure d'autres paramètres environnementaux côtiers telles la couleur et la minéralogie des sédiments formant les plages et les falaises de la région étudiée.

Le développement d'une équation synthétique applicable à la réalisation d'une cartographie côtière à partir des données d'intensité du signal de retour LiDAR demande la détermination de différents coefficients qui reflèteront la relation entre l'intensité LiDAR enregistrée et les paramètres retrouvés au sein d'un environnement côtier.

Liste des Références

- Baltsavias E. P., 1999a. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 83-94.
- Baltsavias E. P. 1999b. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 199-214.
- Blair J. B., Rabine D. L. et Hofton M. A., 1999. The Laser Vegetation Imaging Sensor: a medium-altitude, digitisation-only, airborne laser altimetre for mapping vegetation and topography. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 115-122.
- Brock J. C., Wright C. W., Sallenger A. H., Krabill W. B., et R. N. Swift, 2002. Basis and methods of NASA airborne topographic mapper Lidar surveys for coastal studies. *Journal of Coastal Research*, 18(1), 1-13.
- Crémer J.-F., Long B., Locat J., Desrosiers G., 1996. Application de la tomodensitométrie à l'étude de la densité des sédiments et à la caractérisation des structures sédimentaires, exemple des sédiments déposés dans le Saguenay après la crue de juillet.
- Dionne J.-C., 1981. L'action des glaces sur les littoraux. *Comptes-rendus, Sixième Conférence Internationale sur le Génie Maritime dans l'Arctique*, Université Laval, Québec, Canada, 2, 955-973.
- Folk R.L. et Ward W.C., 1957. Brazos river bar : a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentology and Petrology*, 27, 3-26.
- Forbes D.L., Parkes G.S., Manson G.K. et Ketch L.A., 2004. Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. *Marine Geology*, 210, 169-204.
- Foucault A. et Raoult J.F., 1988. Dictionnaire de géologie, 3^e édition. Masson, Paris, 352 p.
- Füchtbauer H., 1959. Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. *Erdöl Kohle*, 12, 605-13.
- Gouvernement du Québec, 1983. Annuaire hydrologique 1981-1982. Rapport A.H.-23, 200 p.
- Gray J.T., 1987. Quaternary processes and paleoenvironments in the Gaspé Peninsula and the Lower St. Lawrence Valley. XIIth INQUA Congress Excursion Guide Book, C-4, 84 p.
- Guilcher A., 1981. Lacs et plaines littorales et particulièrement de deltas. Leurs origines et l'évolution de leurs contours. *Bull. Soc. Lang. Géogr.*, 1-2, 11-17.

- Hocq M. et Martineau G., 1994. Le Quaternaire. Dans *Géologie du Québec*, Les Publications du Québec, MM 94-01, 121-128.
- Jutras P., Prichonnet G. et McCutcheon S., 2003. Alleghanian deformation in the eastern Gaspé Peninsula of Quebec, Canada. *Geological Society of America Bulletin*, 115, 1538–1551.
- Jutras P. et Prichonnet G., 2002. Stratigraphy, depositional setting and diagenetic history of the Saint-Jules Formation (Upper Devonian or Mississippian), a newly identified post-Acadian red clastic unit in the southern Gaspé Peninsula, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 39, 1541-1551.
- Ketcham R.A., Carlson W.D., 2001. Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery : applications to the geosciences. *Computer & Geosciences*, 27, 381-400.
- Kenter J.A.M., 1989. Applications of computerized tomography in sedimentology. *Marine Geotechnology*, 8, 201-211.
- Krabill W. B., Thomas R. H., Martin C. F., Swift R. N. et Frederick E. B., 1995. Accuracy of airborne laser altimetry over the Greenland ice sheet. *Int. J. Remote Sensing*, 16, 1211-1222.
- Krabill W.B., Abdalati W., Frederick E. B., Manizade S. S., Martin C. F., Sonntag J. G., Swift R. N., Thomas R. H. et Yunkel J. G., 2002. Aircraft laser altimetry measurement of elevation changes of the Greenland ice sheet: technique and accuracy assessment. *Journal of Geodynamics*, 34, 357-376.
- Long B.F. et al., 2005. Étude hydrodynamique, sédimentologique et biologique des sites de Maria, Saint-Siméon, Bonaventure, Newport et Cap d’Espoir dans la baie des Chaleurs, Québec, Canada. INRS-ETE, Québec, 133 p.
- Nichols M. et Allen G., 1981. Sedimentary processes in coastal lagoons. *Coastal lagoon Research, present and future*, UNESCO Techn. Papers Marine Sciences, 33, 27-80.
- Paskoff R., 1998. *Les littoraux : Impact des aménagements sur leur évolution*. Masson et Armand Colin Éditeurs, Paris, 260 p.
- Pêches et Océans Canada, 2003. *Tables des marées et courants du Canada. Volume 2 - Golfe du Saint-Laurent*. 89 p.
- Pêches et Océans Canada, 2004. *Tables des marées et courants du Canada. Volume 2 - Golfe du Saint-Laurent*. 89 p.
- Pettijohn F.H., Potter P.E. et Siever R., 1972. *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, New York, 618 p.

- Quinlan G. et Beaumont C., 1982. The deglaciation of Atlantic Canada as reconstructed from the post-glacial relative sea-level record. *Canadian Journal Earth Sciences*, 19, 2232-2246.
- Rampton V.N., Gauthier R.C., Thibault J. et Seaman A.A., 1984. Quaternary geology of New Brunswick. Geological Survey of Canada, memoir 416, 77 p.
- Reading, H. G., 1980. *Sedimentary environments and facies*. Edited Elsevier, New York, 557 p.
- Renaud, L., 2001. Évolution et dégradation du barachois de Paspébiac. Mémoire maîtrise, UQAR, 123 p.
- Short A.D., 1993. Beach and surf zone morphodynamics. *Journal of Coastal Research*, n° spécial 15, 231 p.
- Stockdon H., Sallenger Jr. A. H., List J. H., et Holman R. A., 2002. Estimation of shoreline position and change using airborne topographic Lidar data. *Journal of Coastal Research*, 18(3), 502-513.
- Syvitski J.P., 1992. Marine geology of Baie des Chaleurs. *Géographie Physique et Quaternaire*, 46 (3), 331-348.
- Thomas M. L. H., Grant D. R. et Degrace M., 1973. A late Pleistocene marine shell deposit at Shippegan, New Brunswick. *Can. Journal earth Sci.*, 10, 1329-1332.
- Webster T. L., Forbes D. L., Dickie S. et Shreenan R., 2004. Using topographic lidar to map flood risk from storm-surge events for Charlottetown, Prince Edward Island, Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30 (1), 64-76.
- Wentworth C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.
- Xhardé R., 2006.

Sites internet

Boulvain F., 2005. Cours en ligne : Une introduction aux processus sédimentaires.
Université de Liège, Faculté des Sciences, Département de Géologie
<http://www.ulg.ac.be/geolsed/processus/processus.htm>

Bourque P.-A., 2005. Cours en ligne : Planète Terre. Université Laval, Faculté des
Sciences et du Génie, Département de Géologie et Génie Géologique
http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html

Environnement Canada, 2004. Normales et moyennes climatiques au Canada 1971-2000.
Archives climatiques nationales.
http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/index_f.html

Pêches et Océans Canada, 2005. Marées, courants et niveaux d'eau. Service
hydrographique du Canada.
<http://www.waterlevels.gc.ca/french/Canada.shtml>

Ministère des Transports du Québec, 2005. Cartes routières.
http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/information/carte_routiere/

Annexe 1

Résultats Généraux

Liste des figures

- Figure 1. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 7) – mai 2003.
- Figure 2. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 8) – mai 2003.
- Figure 3. ISRL en fonction de la teneur en eau (site BOP) – mai 2004.
- Figure 4. ISRL en fonction de la teneur en eau (site BO) – mai 2004.
- Figure 5. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 5) – mai 2003.
- Figure 6. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 6) – mai 2003.
- Figure 7. ISRL en fonction de la teneur en eau (site PC) – mai 2004.
- Figure 8. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 3) – mai 2003.
- Figure 9. ISRL en fonction de la teneur en eau (site AB) – mai 2004.
- Figure 10. ISRL en fonction de la teneur en eau (site AB) – mai 2004.
- Figure 11. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 1) – mai 2003.
- Figure 12. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 2) – mai 2003.
- Figure 13. ISRL en fonction de la teneur en eau (site BA) – mai 2004.
- Figure 14. ISRL en fonction de la teneur en eau (site BA2) – mai 2004.
- Figure 15. ISRL en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites.
- Figure 16. ISRL en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites – mai 2003 et mai 2004.
- Figure 17. ISRL en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites – mai 2003.
- Figure 18. ISRL en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites – mai 2004.
- Figure 19. ISRL en fonction de la moyenne granulométrique (ϕ) sur tous les sites – mai 2003 et mai 2004.
- Figure 21. ISRL en fonction du mode granulométrique (ϕ) (une population) – mai 2003.
- Figure 22. ISRL en fonction du mode granulométrique (ϕ) (une population) – mai 2004.
- Figure 23. ISRL en fonction de l'intensité scanographique (HU) sur tous les sites
- Figure 24. ISRL en fonction de l'intensité scanographique (HU) sur tous les sites – mai 2003 et mai 2004.
- Figure 25. ISRL en fonction du mode granulométrique (HU) (une population) – mai 2003.
- Figure 26. ISRL en fonction du mode granulométrique (HU) (une population) – mai 2004.

Liste des tableaux

- Tableau 1. Résultats St-Siméon et Bonaventure – mai 2003 (sites 7 et 8) et mai 2004 (sites BOP et BO).
- Tableau 2. Résultats Paspébiac – mai 2003 (sites 5 et 6) et mai 2004 (site PC).
- Tableau 3. Résultats Cap d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils – mai 2003 (site 3) et mai 2004 (sites AB et AB2).
- Tableau 4. Résultats Barachois – mai 2003 (sites 1 et 2) et mai 2004 (sites BA et BA2).
- Tableau 5. Résultats généraux pour tous les sites (HP : haut de plage, MP : moyenne plage, BP : bas de plage).

Tableau 1. Résultats St-Siméon et Bonaventure – mai 2003 (sites 7 et 8) et mai 2004 (sites BOP et BO).

no	Position		Teneur en eau (%)	Analyse granulométrique				Scanographie		Lidar	
	Ouest (m)	Nord (m)		Moy. (phi)	Indice	Asy- métrie	Acuité	Intensité (HU)	Écart- type	ISRL	Écart- type
7A	232203	5321197	23,7	2,33	-0,67	0,28	1,91	1253,6	230,9	21,4	2,9
7B	232205	5321194	24,3	2,43	-0,54	-0,03	1,43	1315,4	279,3	17,5	2,1
7C	232218	5321199	24,3	2,03	-0,97	0,41	1,78	1177,9	118,9	22,0	1,4
7D	232222	5321202	21,7	1,87	-1,27	0,57	2,32	1224,2	159,3	24,8	3,8
7E	232231	5321205	21,3	-0,77	-2,37	-0,27	0,54	1566,6	387,3	23,2	1,8
7F	232238	5321208	9,8	2,20	-0,48	0,31	1,39	748,2	216,7	53,6	23,9
7G	232242	5321210	0,5	-1,37	-2,17	-0,53	0,64	1244,7	807,5	70,2	31,4
8A	226527	5325851	52,9	1,97	-3,14	0,50	0,62	934,0	233,6	127,5	11,9
8B	226535	5325846	41,6	2,07	-2,83	0,59	0,80	131,6	76,8	68,5	2,5
8C	226537	5325850	19,5	0,00	-1,49	0,15	1,06	1194,1	600,1	41,1	6,8
8D	226539	5325852	4,0	0,03	-1,59	0,08	1,11	942,9	723,4	47,1	8,7
8E	226540	5325854	14,0	0,47	-1,86	0,09	0,81	1260,7	427,4	53,9	8,2
8F	226542	5325857	5,0	2,07	-0,93	0,31	1,43	976,4	353,3	76,7	9,9
8G	226542	5325859	7,6	2,20	-0,70	0,22	1,28	928,6	84,4	79,1	10,8
BOP-1	231362	5322411	13,9	3,07	-0,78	0,56	2,39	733,7	342,1	60,0	4,2
BOP-2	231362	5322411	14,8	-	-	-	-	-	-	61,0	6,2
BOP-3	231390	5322368	6,4	1,27	-2,57	0,77	0,69	743,3	659,1	90,7	6,9
BOP-4	231390	5322368	5,7	-	-	-	-	-	-	102,1	6,4
BOP-5	231416	5322325	9,6	3,30	-0,36	0,14	1,43	619,5	476,6	64,8	1,6
BOP-6	231416	5322325	7,4	-	-	-	-	-	-	74,4	4,1
BOP-7	231430	5322277	5,8	3,03	-1,07	0,59	2,87	618,9	485,1	65,0	3,1
BOP-8	231430	5322277	7,2	-	-	-	-	-	-	64,0	3,8
BOP-9	231373	5322416	1,0	-0,03	-2,16	-0,16	0,74	768,3	721,9	69,7	8,7
BOP-10	231383	5322397	-	-0,73	-3,03	-0,11	0,58	780,0	1000,7	75,1	11,6
BOP-11	231400	5322373	-	1,63	-1,81	0,55	0,61	763,4	550,2	73,4	6,9
BOP-12	231410	5322353	3,2	2,77	-1,33	0,52	2,66	676,5	304,7	90,2	8,0
BOP-13	231422	5322328	7,5	3,07	-0,51	0,41	1,16	694,1	342,3	70,9	6,6
BOP-14	231426	5322303	10,7	3,07	-0,80	0,48	1,93	612,4	416,1	57,3	2,9
BOP-15	231439	5322282	3,7	2,90	-1,18	0,61	2,25	583,0	547,2	67,6	4,3
BOP-16	231377	5322419	3,4	-0,60	-2,05	-0,07	0,69	810,4	635,1	75,3	3,8
BOP-17	231405	5322376	2,6	-0,47	-2,35	-0,07	0,63	798,2	522,1	77,5	6,6
BOP-18	231434	5322333	2,3	-0,93	-2,79	-0,12	0,52	768,0	598,4	85,1	9,5
BOP-19	231460	5322291	2,0	0,70	-2,05	0,34	0,85	702,0	558,3	72,6	7,4
BO-1	232133	5321435	16,7	0,33	-2,34	0,62	0,52	774,7	715,6	31,1	2,2
BO-2	232117	5321481	21,7	2,47	-0,46	-0,21	1,39	399,5	350,7	29,8	2,1
BO-3	232101	5321528	20,3	2,83	-0,50	-0,08	0,77	596,0	444,6	39,8	13,4
BO-4	232082	5321574	17,4	-	-	-	-	-	-	152,5	28,6
BO-5	232133	5321435	14,9	-	-	-	-	-	-	30,7	0,7
BO-6	232117	5321481	21,8	-	-	-	-	-	-	27,9	1,9
BO-7	232101	5321528	20,1	-	-	-	-	-	-	28,3	3,5

BO-8	232082	5321574	16,4	-	-	-	-	-	-	160,4	17,5
BO-9	232133	5321435	13,6	-	-	-	-	-	-	31,0	2,2
BO-10	232117	5321481	21,6	-	-	-	-	-	-	29,5	2,1
BO-11	232101	5321528	21,2	-	-	-	-	-	-	29,8	2,0
BO-12	232082	5321574	14,6	-	-	-	-	-	-	165,8	17,5
BO-13	232137	5321433	14,2	-1,73	-2,51	-0,71	1,43	1074,8	681,5	34,4	3,3
BO-14	232130	5321455	12,1	-	-	-	-	-	-	39,1	8,1
BO-15	232123	5321480	15,6	2,40	-1,08	0,34	3,96	634,3	621,1	31,1	2,3
BO-16	232114	5321503	23,2	-	-	-	-	-	-	31,1	2,3
BO-17	232107	5321528	23,4	0,70	-2,45	0,80	2,36	704,9	722,6	38,1	6,4
BO-18	232100	5321552	12,2	-	-	-	-	-	-	48,2	18,9
BO-19	232091	5321577	12,7	0,60	-2,38	0,82	0,53	576,5	724,8	34,8	6,3
BO-20	232146	5321434	3,9	-2,20	-2,51	-0,64	0,82	919,4	730,0	40,9	9,3
BO-21	232133	5321483	14,0	-1,80	-2,62	-0,53	1,28	1072,4	749,4	52,2	10,4
BO-22	232115	5321531	2,3	-3,07	-1,86	-0,66	1,86	1312,4	774,6	64,3	13,3
BO-23	232097	5321579	8,4	-1,03	-2,47	-0,44	0,58	1022,3	668,1	40,9	9,3

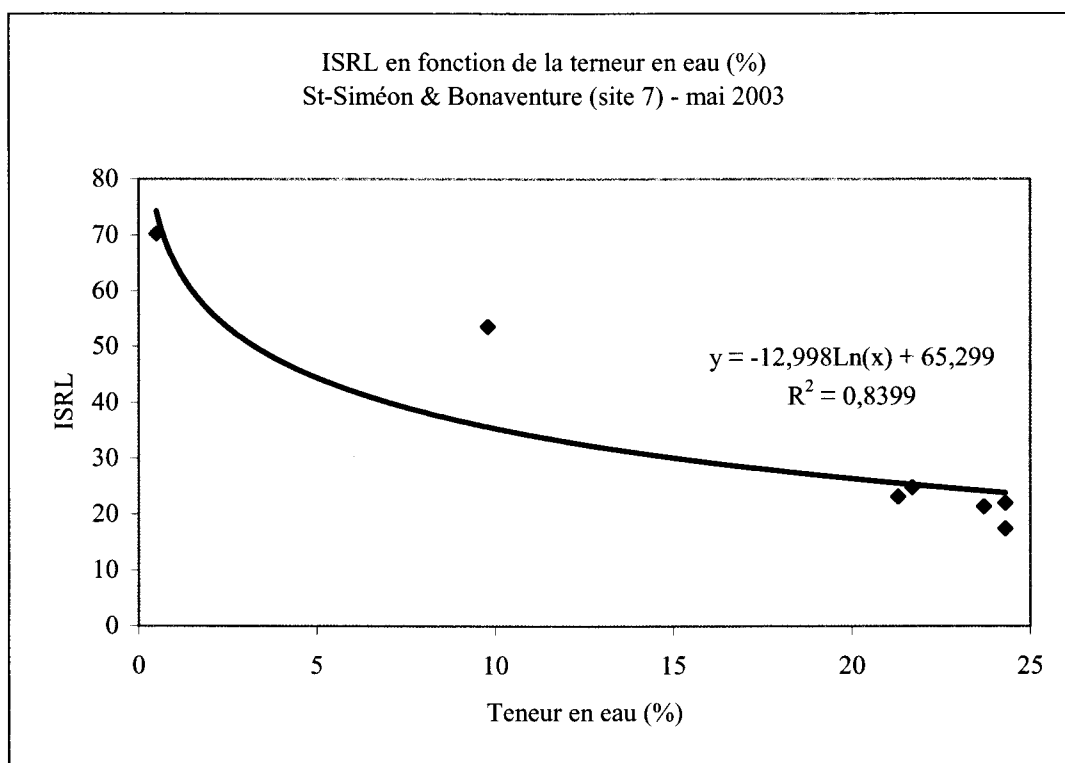


Figure 1. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 7) – mai 2003.

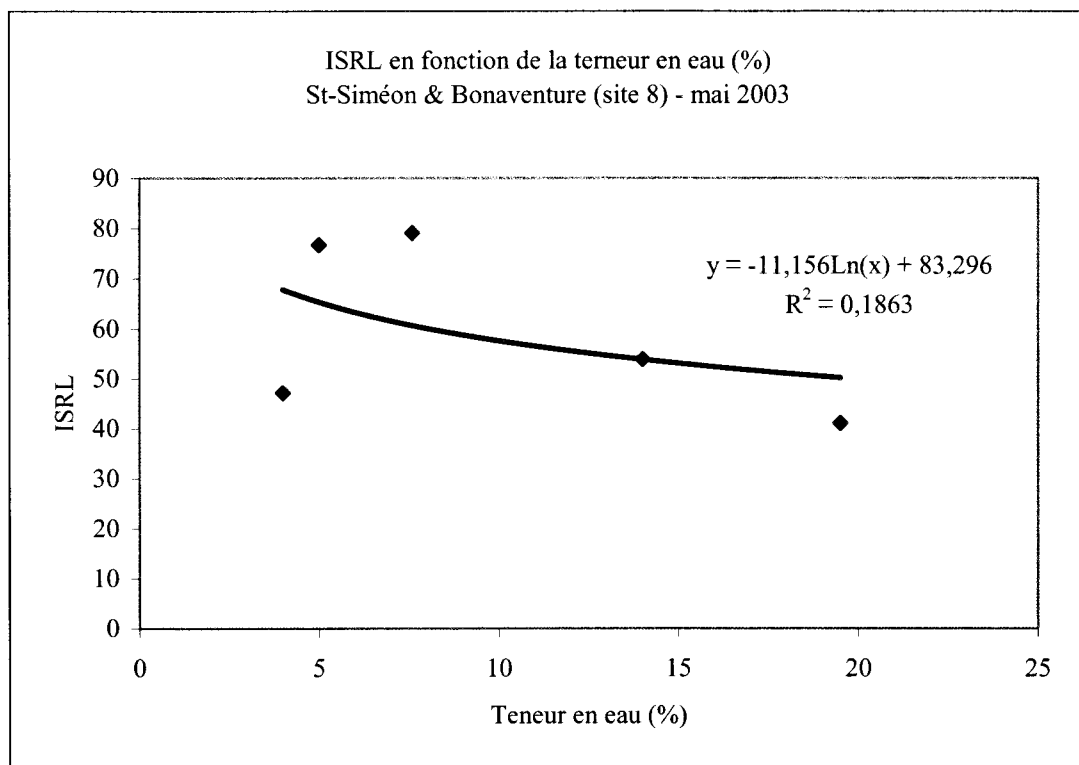


Figure 2. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 8) – mai 2003.

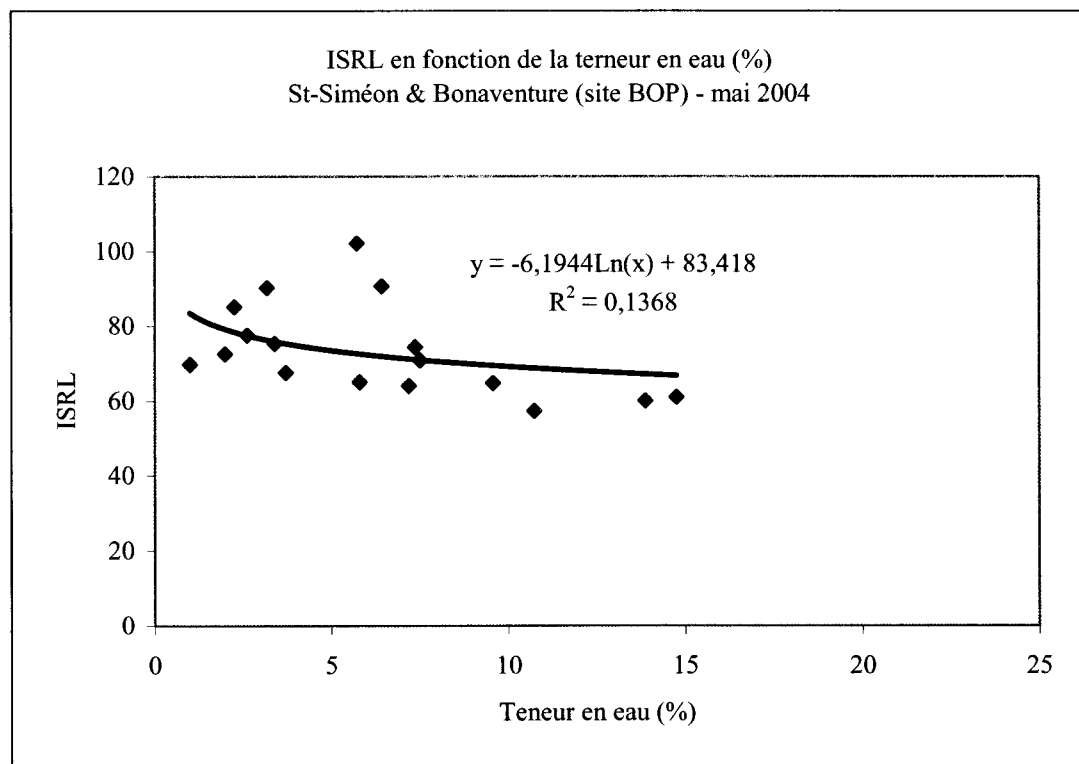


Figure 3. ISRL en fonction de la teneur en eau (site BOP) – mai 2004.

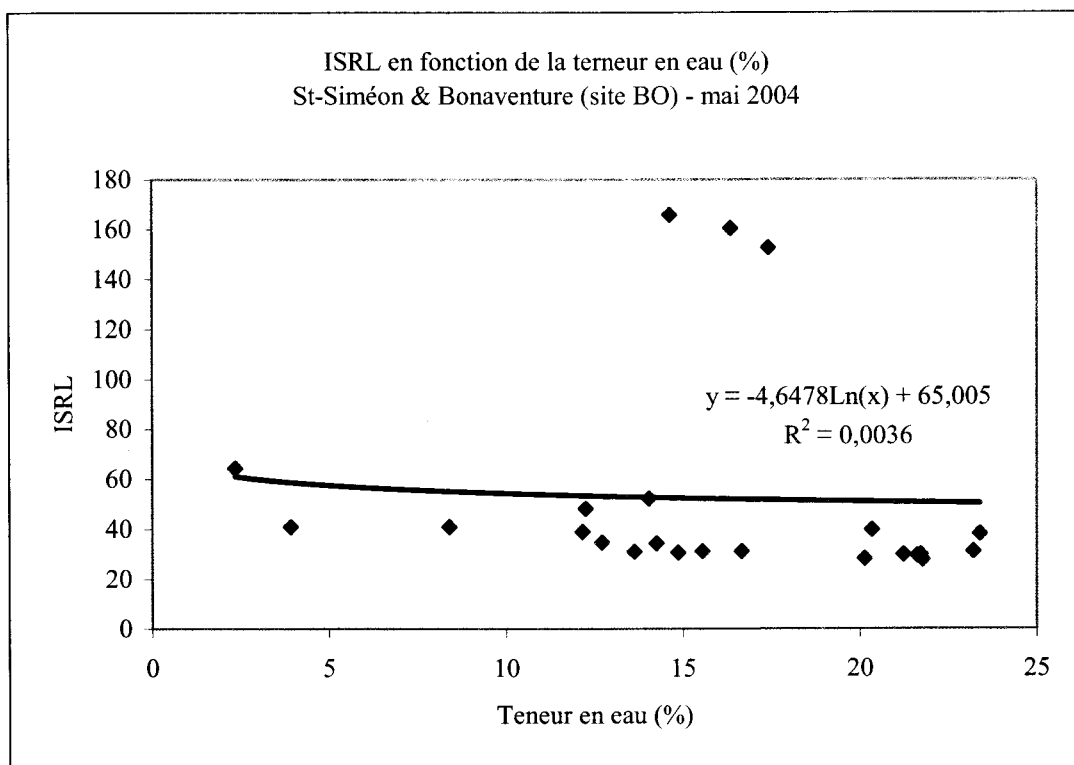


Figure 4. ISRL en fonction de la teneur en eau (site BO) – mai 2004.

Tableau 2. Résultats Paspébiac – mai 2003 (sites 5 et 6) et mai 2004 (site PC).

no	Position		Teneur en eau (%)	Analyse granulométrique				Scanographie		Lidar	
	Ouest (m)	Nord (m)		Moy. (phi)	Indice	Asy- métrie	Acuité	Intensité (HU)	Écart- type	ISRL	Écart- type
5A	250262	5321244	22,5	1,97	-1,84	0,78	4,22	1128,6	125,5	44,3	1,2
5B	250250	5321239	22,2	2,70	-0,41	0,07	1,15	1160,6	113,0	47,3	3,9
5C	250240	5321253	18,3	2,53	-0,67	0,43	2,54	1145,1	175,9	56,8	1,5
5D	250234	5321263	19,7	2,50	-0,84	0,33	2,87	1128,9	100,3	46,6	2,7
5E	250228	5321272	19,4	2,50	-0,44	0,06	1,09	1125,8	103,1	46,3	2,8
5F	250222	5321283	20,4	2,90	-1,11	0,57	2,05	1094,7	83,6	45,4	2,8
5G	250216	5321292	18,2	2,20	-1,38	0,44	2,05	1178,3	189,5	46,9	3,8
6A	249132	5319939	26,1	-	-	-	-	-	-	41,6	1,4
6B	249134	5319944	22,4	2,97	-0,52	0,11	0,82	1130,0	103,4	49,6	7,2
6C	249119	5319952	22,0	2,70	-1,03	0,16	2,56	1153,4	172,3	56,5	18,4
6D	249113	5319956	4,2	0,03	-1,51	-0,23	0,74	837,1	454,3	62,0	8,9
6E	249109	5319959	3,6	1,43	-1,63	0,63	1,76	822,3	714,4	65,3	18,1
6F	249102	5319963	1,7	0,73	-2,42	0,81	3,14	855,5	513,8	73,5	7,5
6G	249096	5319966	0,6	2,40	-0,51	0,21	2,46	650,4	129,0	93,4	8,2
PC-1	249239	5320222	2,1	-1,33	-0,72	0,10	0,86	806,3	984,8	140,6	27,1
PC-2	249217	5320176	1,5	-1,50	-0,76	0,00	0,89	732,7	1054,3	122,3	10,8
PC-3	249195	5320129	9,7	0,30	-1,18	0,20	1,20	622,0	665,5	79,4	16,5
PC-4	249172	5320084	5,4	-2,23	-0,78	0,23	0,93	1051,2	986,8	132,0	2,0
PC-5	249239	5320222	2,0	-	-	-	-	-	-	123,7	11,3
PC-6	249217	5320176	1,7	-	-	-	-	-	-	118,3	6,8
PC-7	249195	5320129	5,8	-	-	-	-	-	-	79,5	14,5
PC-8	249172	5320084	9,3	-	-	-	-	-	-	130,0	0,0
PC-9	249239	5320222	1,6	-	-	-	-	-	-	128,0	0,0
PC-10	249217	5320176	1,5	-	-	-	-	-	-	116,3	6,6
PC-11	249195	5320129	7,1	-	-	-	-	-	-	93,5	5,5
PC-12	249172	5320084	10,0	-	-	-	-	-	-	118,0	0,0
PC-13	249231	5320226	9,2	0,63	-1,92	0,01	0,68	652,9	642,3	92,8	12,1
PC-14	249218	5320200	9,0	-	-	-	-	-	-	98,3	7,7
PC-15	249210	5320178	3,9	-0,63	-2,32	-0,33	0,55	1085,2	645,2	103,4	12,5
PC-16	249200	5320156	7,4	-	-	-	-	-	-	109,1	8,2
PC-17	249188	5320133	8,4	0,30	-2,49	0,34	0,57	1052,9	818,7	103,8	8,6
PC-18	249173	5320110	12,6	-	-	-	-	-	-	112,3	14,3
PC-19	249163	5320089	6,7	-1,17	-2,43	-0,63	0,71	977,7	600,3	93,2	10,1
PC-20	249223	5320229	6,0	2,53	-0,39	-0,21	0,96	432,4	110,8	109,9	11,4
PC-21	249204	5320182	9,5	2,47	-0,35	-0,36	1,07	375,3	106,9	136,7	8,8
PC-22	249182	5320139	5,5	2,57	-0,41	-0,27	1,15	441,5	481,9	117,0	11,9
PC-23	249154	5320093	1,9	2,67	-0,46	-0,24	0,96	562,5	85,5	137,9	6,5

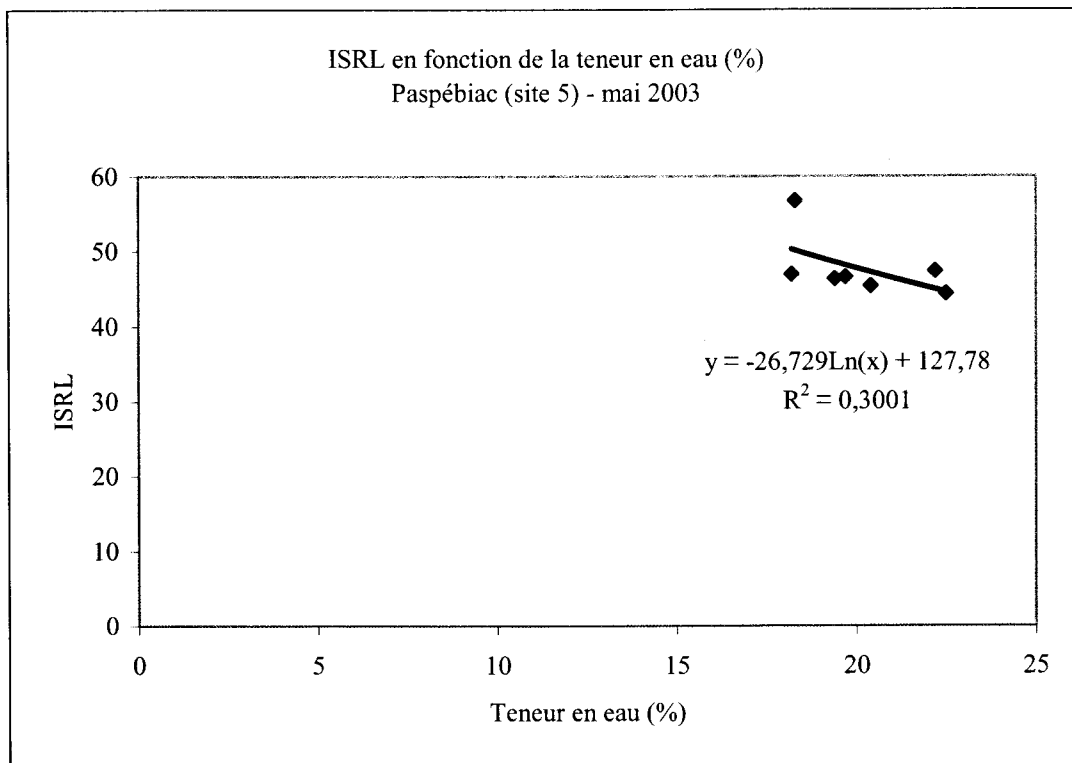


Figure 5. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 5) – mai 2003.

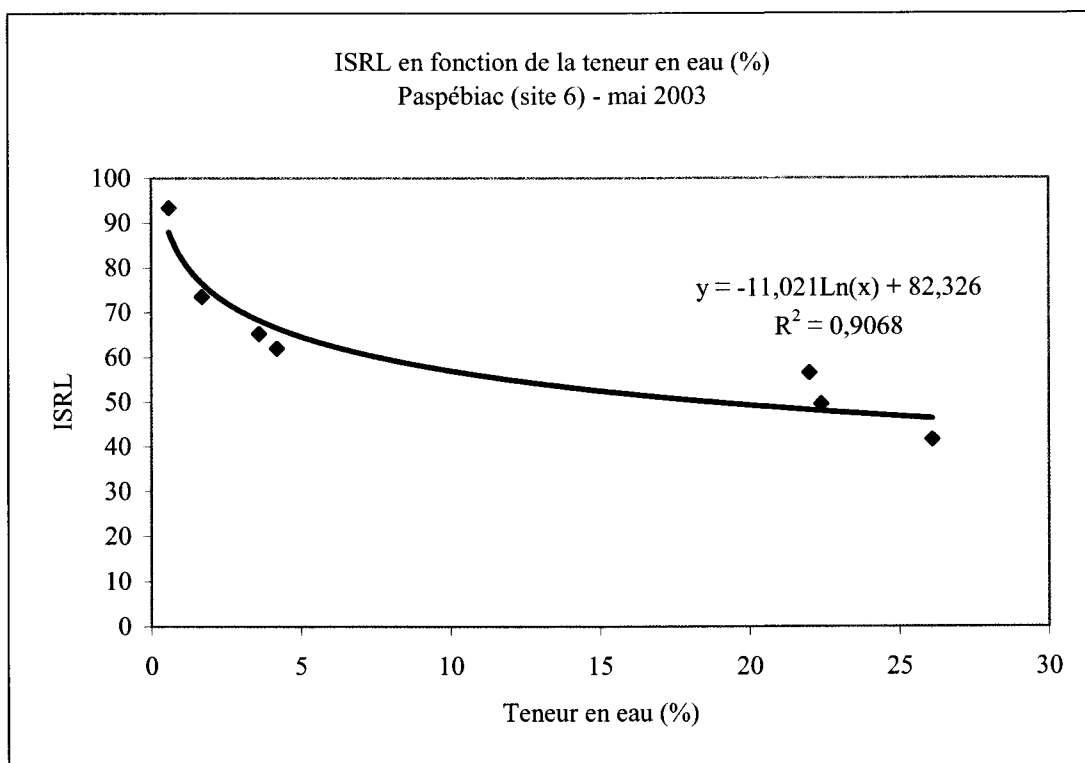


Figure 6. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 6) – mai 2003.

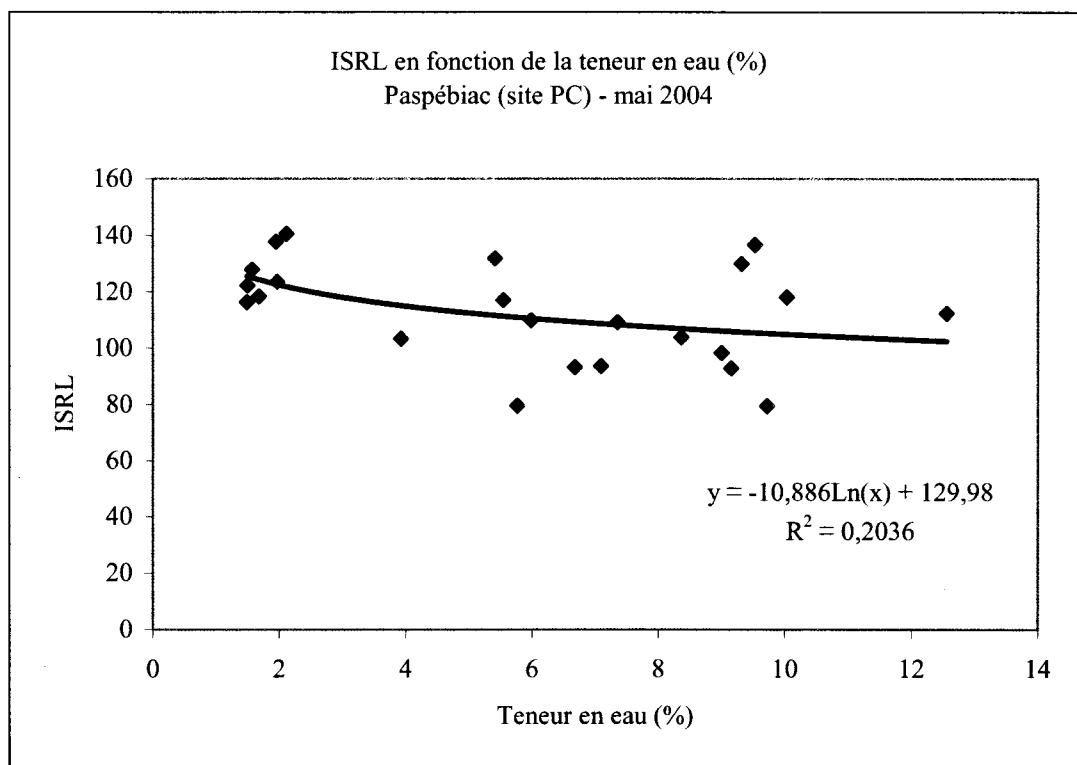


Figure 7. ISRL en fonction de la teneur en eau (site PC) – mai 2004.

Tableau 3. Résultats Cap d'Espoir et l'Anse-à-Beaufils – mai 2003
(site 3) et mai 2004 (sites AB et AB2).

no	Position		Teneur en eau (%)	Analyse granulométrique				Scanographie		Lidar	
	Ouest (m)	Nord (m)		Moy. (phi)	Indice	Asy- métrie	Acuité	Intensité (HU)	Écart- type	ISRL	Écart- type
3A	318970	5370210	3,9	-1,23	-0,74	-0,03	1,07	994,7	742,6	46,6	14,1
3B	318971	5370213	11,8	-0,70	-1,89	-0,29	0,67	928,7	455,3	47,0	2,4
3C	318967	5370214	6,4	-0,47	-2,07	-0,38	0,81	1059,5	529,4	51,0	4,4
3D	318963	5370215	4,2	-0,17	-1,84	-0,23	0,71	929,9	885,4	56,3	6,4
3E	318959	5370217	5,1	1,23	-1,32	0,56	1,06	835,7	126,2	62,5	5,6
3F	318956	5370218	8,1	0,10	-1,45	-0,29	0,80	980,8	144,2	53,7	5,4
3G	318949	5370220	0,9	1,57	-0,63	0,14	0,91	773,2	128,5	93,3	5,0
AB-1	317585	5366974	18,7	1,47	-1,74	0,65	0,96	724,0	600,8	-	-
AB-2	317585	5366974	18,5	-	-	-	-	-	-	107,0	18,7
AB-3	317581	5366976	13,3	2,40	-0,70	0,23	2,70	669,6	674,1	80,8	8,4
AB-4	317581	5366976	13,4	-	-	-	-	-	-	92,1	14,5
AB-5	317602	5367022	17,9	1,57	-1,77	0,66	2,55	637,1	472,0	66,0	2,9
AB-6	317602	5367022	17,1	-	-	-	-	-	-	62,9	2,9
AB-7	317598	5367023	9,5	0,87	-2,16	0,68	0,61	895,8	597,9	80,0	10,0
AB-8	317598	5367023	12,3	-	-	-	-	-	-	82,3	19,1
AB-9	317624	5367065	19,3	1,30	-1,89	0,71	1,05	543,0	443,9	65,0	0,7
AB-10	317624	5367065	18,6	-	-	-	-	-	-	65,8	6,8
AB-11	317619	5367068	7,6	0,97	-1,17	0,28	1,39	674,3	781,4	69,0	3,2
AB-12	317619	5367068	14,7	-	-	-	-	-	-	74,3	15,5
AB-13	317636	5367105	4,4	-0,63	-1,62	-0,27	1,11	600,8	617,1	59,0	0,0
AB-14	317636	5367105	6,2	-	-	-	-	-	-	65,3	7,5
AB-15	317628	5367110	2,3	-0,57	-1,31	-0,24	1,20	830,7	790,2	93,5	10,7
AB-16	317628	5367110	2,8	-	-	-	-	-	-	97,8	4,5
AB-18	317615	5367115	0,4	0,17	-1,75	0,04	0,72	717,5	462,5	121,4	11,4
AB-19	317610	5367071	0,9	-3,33	-0,63	0,09	0,82	863,7	1373,7	161,0	33,0
AB-20	317575	5366978	3,0	2,27	-0,83	0,24	1,93	385,3	260,5	106,6	9,0
AB-21	317568	5366981	0,9	-0,90	-2,25	-0,52	0,59	966,4	704,4	128,0	10,0
AB-22	317559	5366984	1,3	0,10	-2,80	0,82	0,49	678,0	535,2	118,9	11,2
AB-23	317585	5367002	14,4	2,07	-1,12	0,51	2,80	599,9	446,4	93,2	12,1
AB-24	317593	5367025	6,4	2,13	-1,18	0,48	3,07	548,1	349,6	106,6	11,7
AB-25	317587	5367028	1,3	-0,57	-2,15	-0,47	0,53	977,9	678,7	121,6	9,9
AB-26	317578	5367031	2,1	-1,07	-2,67	-0,26	0,56	928,0	643,1	118,5	22,5
AB-27	-	-	7,7	2,43	-1,00	0,25	2,81	396,9	458,2	-	-
AB-28	317598	5367078	4,4	1,73	-1,01	0,45	0,87	529,9	666,6	99,7	20,7
AB2-1	318957	5370163	3,8	0,03	-1,92	-0,08	0,76	992,1	577,5	93,2	12,5
AB2-2	318941	5370113	6,7	1,20	-1,29	0,43	0,76	548,9	336,3	73,7	6,1
AB2-3	318905	5370016	4,8	0,13	-0,83	0,48	1,93	694,5	585,2	94,5	4,4
AB2-4	318883	5369967	3,5	-0,13	-0,55	0,10	0,82	667,0	848,9	96,0	15,1
AB2-5	318957	5370163	4,9	-	-	-	-	-	-	122,0	19,0
AB2-6	318941	5370113	9,7	-	-	-	-	-	-	77,0	4,5

AB2-7	318905	5370016	5,8	-	-	-	-	-	-	82,8	8,6
AB2-8	318883	5369967	3,4	-	-	-	-	-	-	93,7	13,0
AB2-9	318957	5370163	4,6	-	-	-	-	-	-	122,0	19,0
AB2-10	318941	5370113	9,3	-	-	-	-	-	-	77,0	4,5
AB2-12	318905	5370016	5,3	-	-	-	-	-	-	82,8	8,6
AB2-13	318883	5369967	3,1	-	-	-	-	-	-	93,7	13,0
AB2-14	318950	5370166	2,2	0,80	-1,35	0,27	1,61	954,6	571,6	98,8	8,6
AB2-15	318944	5370140	11,1	2,07	-0,83	0,47	2,05	773,4	269,0	84,9	5,9
AB2-16	318936	5370114	9,7	1,30	-1,26	0,42	0,72	624,2	536,2	80,7	8,5
AB2-17	318928	5370092	11,1	2,10	-0,55	0,30	1,05	425,0	197,9	86,9	6,8
AB2-18	318918	5370070	11,7	2,17	-0,96	0,37	1,87	467,1	283,9	69,4	4,5
AB2-19	318908	5370045	4,8	0,07	-1,96	-0,19	0,61	626,4	721,1	86,0	1,8
AB2-20	318900	5370019	6,7	-0,03	-1,77	-0,12	0,79	620,8	694,9	74,0	4,1
AB2-21	318889	5369994	8,2	0,23	-2,39	0,60	0,51	419,5	697,1	83,2	8,2
AB2-22	318878	5369969	4,1	-0,07	-1,04	0,47	1,55	667,2	650,5	89,0	8,3
AB2-23	318941	5370167	1,3	0,33	-0,63	0,13	1,29	572,5	541,3	110,8	6,6
AB2-24	318928	5370117	0,5	0,47	-0,46	-0,21	1,39	603,4	568,5	102,9	5,6
AB2-25	318911	5370069	7,7	2,43	-0,39	-0,14	1,43	332,3	182,8	93,0	5,0
AB2-26	318891	5370020	1,2	1,63	-0,66	0,01	1,00	697,1	226,4	131,1	17,6
AB2-27	318873	5369971	1,6	-	-	-	-	976,0	1016,4	97,2	3,9

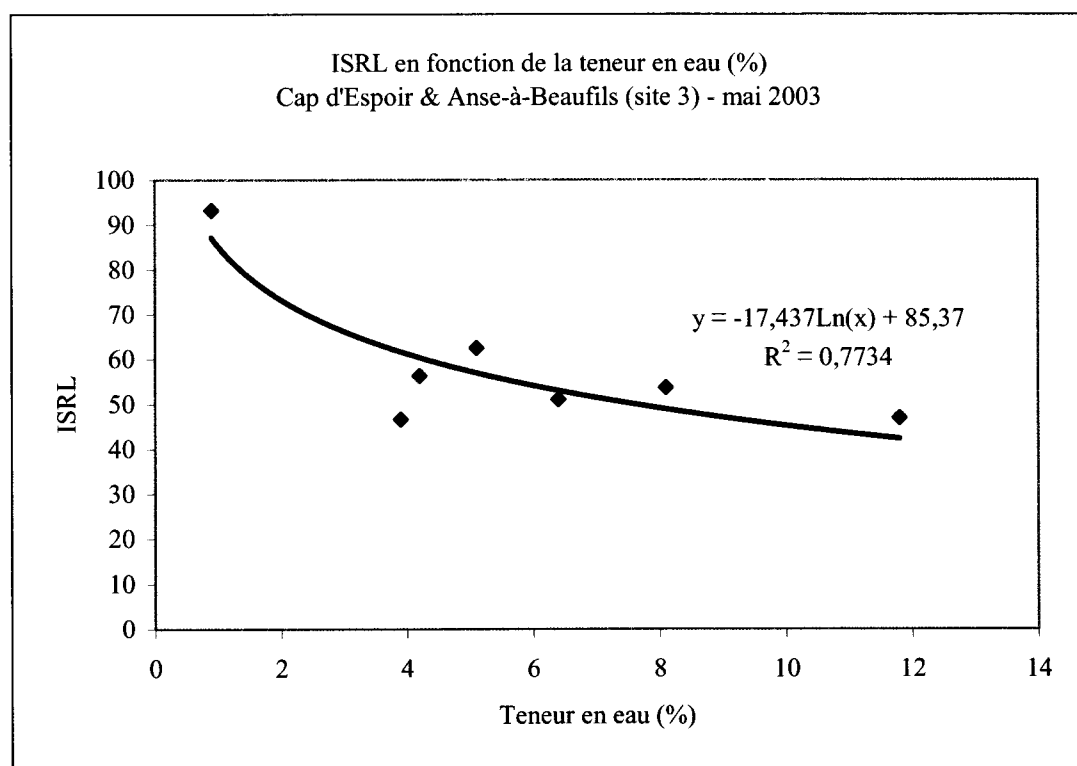


Figure 8. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 3) – mai 2003.

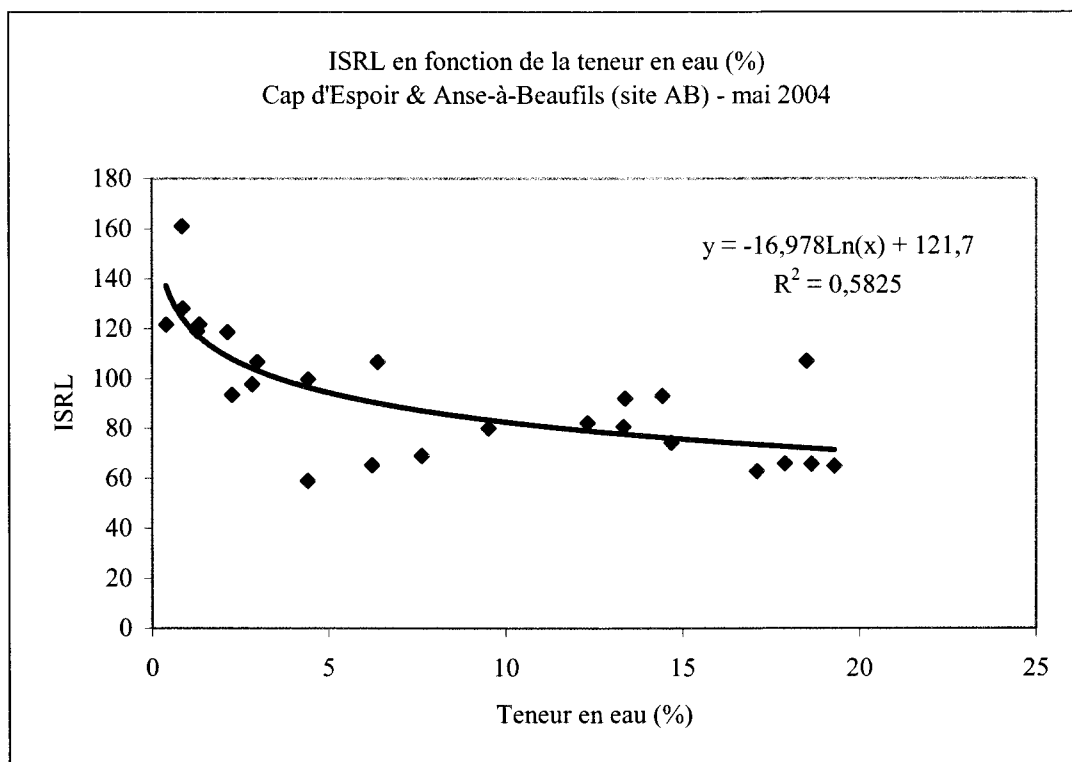


Figure 9. ISRL en fonction de la teneur en eau (site AB) – mai 2004.

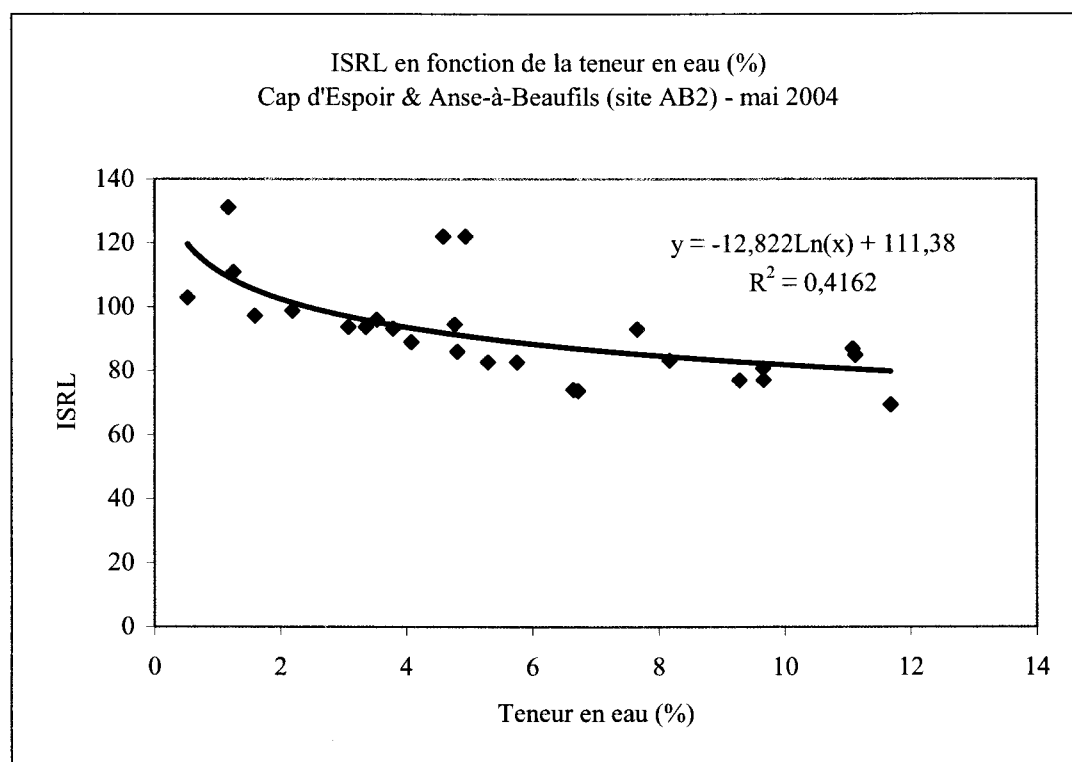


Figure 10. ISRL en fonction de la teneur en eau (site AB) – mai 2004.

Tableau 4. Résultats Barachois – mai 2003 (sites 1 et 2) et mai 2004 (sites BA et BA2).

no	Position		Teneur en eau (%)	Analyse granulométrique				Scanographie		Lidar	
	Ouest (m)	Nord (m)		Moy. (phi)	Indice	Asy- métrie	Acuité	Intensité (HU)	Écart- type	ISRL	Écart- type
1A	321655	5386546	8,0	-0,97	-1,08	0,10	1,20	1142	597	71	11
1B	321649	5386540	4,3	-1,37	-1,36	0,19	1,08	1015,1	871,1	58,3	4,5
1C	321646	5386542	3,3	-0,63	-1,03	0,26	1,02	876,3	769,8	85,9	3,1
1D	-	-	7,3	-0,33	-1,23	0,28	1,26	1127,1	428,1	-	-
1E	321639	5386548	5,5	0,77	-0,60	-0,18	1,02	809,6	208,1	60,6	4,3
1F	321636	5386551	1,0	0,63	-0,47	-0,18	0,94	865,5	275,2	92,0	4,1
1G	321633	5386554	0,6	-0,07	-0,48	-0,08	1,16	932,5	506,4	94,3	1,7
2A	320320	5383253	19,4	-0,53	-2,37	-0,11	0,57	1554,8	359,9	38,1	3,4
2B	320321	5383257	15,0	0,10	-2,03	-0,03	0,90	1380,9	467,6	38,4	6,3
2C	-	-	7,9	-0,77	-1,68	-0,21	1,25	832,7	708,5	-	-
2D	320310	5383258	14,3	1,30	-1,58	0,51	0,76	1370,3	336,7	57,7	3,0
2E	320303	5383259	0,8	-2,97	-0,73	0,06	1,50	936,6	781,4	86,9	4,4
2F	320295	5383261	0,8	0,13	-1,88	0,04	1,11	800,1	564,6	93,5	4,8
2G	320286	5383263	0,7	0,50	-1,15	-0,18	0,92	878,3	482,2	93,8	6,6
BA-1	320213	5382629	17,1	0,27	-2,07	-0,42	0,67	729,5	802,7	79,0	4,5
BA-2	320208	5382584	11,4	2,83	-0,60	0,18	0,91	366,2	286,1	96,7	7,1
BA-3	320203	5382538	5,5	1,47	-1,88	0,44	0,59	654,8	694,8	97,3	8,4
BA-4	320199	5382493	17,2	2,27	-1,35	0,60	1,60	597,8	530,0	82,6	9,6
BA-5	320201	5382630	1,0	-0,60	-0,87	-0,12	1,74	842,5	852,4	100,0	11,5
BA-6	320198	5382606	0,4	-0,50	-0,53	-0,22	1,37	755,5	883,5	107,9	4,6
BA-7	-	-	0,5	0,03	-0,59	0,11	0,97	718,5	765,8	-	-
BA-8	320193	5382563	1,3	0,93	-1,53	-0,27	0,74	868,9	532,8	94,8	16,6
BA-9	320190	5382540	0,6	-1,17	-0,50	-0,08	0,77	747,3	1094,1	104,8	8,9
BA-10	320187	5382515	0,4	-0,40	-0,58	-0,19	1,02	760,0	875,7	115,7	10,8
BA-11	320185	5382496	3,7	-0,03	-1,62	-0,39	1,23	933,5	865,2	95,4	6,8
BA-12	320187	5382633	0,6	1,40	-1,32	0,48	0,94	826,6	420,5	135,0	8,5
BA-13	320180	5382593	0,1	0,50	-1,13	-0,38	0,97	838,0	545,6	130,3	4,0
BA-14	320176	5382537	0,5	1,77	-0,94	0,36	1,06	746,8	309,3	129,4	8,6
BA-15	320173	5382497	0,6	1,47	-1,45	0,51	1,05	771,4	371,2	125,5	11,0
BA-16	320213	5382629	15,5	-	-	-	-	-	-	79,7	7,8
BA-17	320208	5382584	10,6	-	-	-	-	-	-	94,5	3,0
BA-18	320203	5382538	7,2	-	-	-	-	-	-	91,4	7,6
BA-19	320199	5382493	15,3	-	-	-	-	-	-	86,5	3,5
BA-20	320213	5382629	15,1	-	-	-	-	-	-	94,0	0,0
BA-21	320208	5382584	13,9	-	-	-	-	-	-	89,0	9,8
BA-22	320203	5382538	8,1	-	-	-	-	-	-	72,3	2,6
BA-23	320199	5382493	17,6	-	-	-	-	-	-	87,0	7,0
BA2-1	321735	5386699	3,4	0,13	-1,05	-0,09	1,40	745,0	568,7	93,0	0,0
BA2-2	321700	5386651	16,2	0,13	-2,41	0,08	0,91	770,0	550,0	132,0	3,0

BA2-3	321688	5386634	6,8	0,83	-1,20	-0,07	0,92	789,9	730,2	148,8	5,3
BA2-4	321672	5386605	7,2	0,10	-0,88	0,15	1,12	625,7	804,0	146,0	0,0
BA2-5	321735	5386699	3,7	-	-	-	-	-	-	135,8	9,6
BA2-6	321700	5386651	16,2	-	-	-	-	-	-	137,0	0,0
BA2-7	321688	5386634	5,3	-	-	-	-	-	-	160,0	0,0
BA2-8	321672	5386605	6,2	-	-	-	-	-	-	112,0	8,0
BA2-9	321735	5386699	4,0	-	-	-	-	-	-	132,8	5,3
BA2-10	321700	5386651	19,2	-	-	-	-	-	-	106,7	19,3
BA2-11	321688	5386634	5,3	-	-	-	-	-	-	158,3	16,5
BA2-12	321672	5386605	8,6	-	-	-	-	-	-	108,0	0,0
BA2-13	321722	5386716	0,3	-0,07	-1,08	0,13	1,26	753,7	687,4	134,4	5,1
BA2-14	321705	5386702	4,4	-	-	-	-	-	-	134,9	7,9
BA2-15	321685	5386677	1,0	0,07	-0,96	-0,13	1,38	764,4	650,2	136,6	7,7
BA2-16	321673	5386663	1,4	-	-	-	-	-	-	128,4	16,4
BA2-17	321667	5386650	0,3	1,60	-0,55	-0,19	1,23	632,4	201,5	136,6	4,1
BA2-18	321651	5386630	0,2	-	-	-	-	-	-	144,4	17,9
BA2-19	321641	5386616	0,7	0,10	-0,67	0,18	1,18	673,9	633,6	136,1	5,8
BA2-20	321714	5386726	0,2	-0,10	-0,80	-0,24	1,15	722,4	469,0	140,0	4,8
BA2-21	321678	5386684	0,3	1,23	-0,82	0,17	1,15	669,7	332,8	136,7	4,1
BA2-22	321657	5386657	0,4	0,10	-1,18	0,23	1,04	779,0	611,3	137,2	3,2
BA2-23	321627	5386620	0,5	-0,20	-1,91	0,26	0,90	786,6	510,4	138,9	5,9

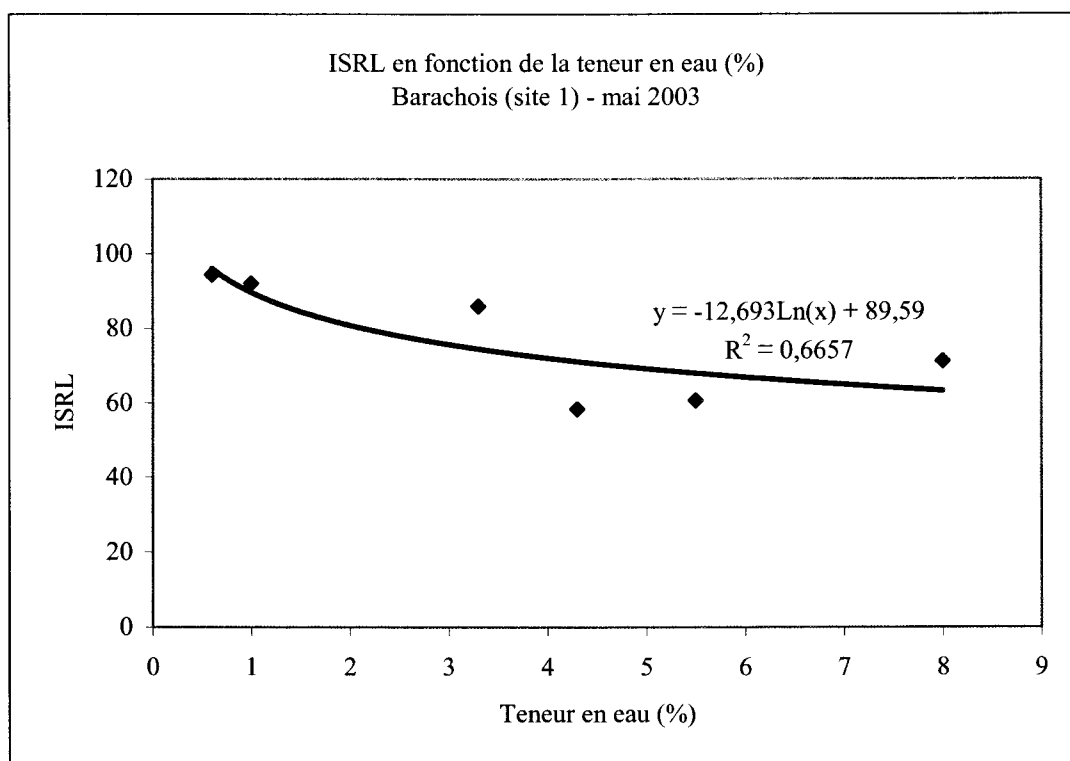


Figure 11. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 1) – mai 2003.

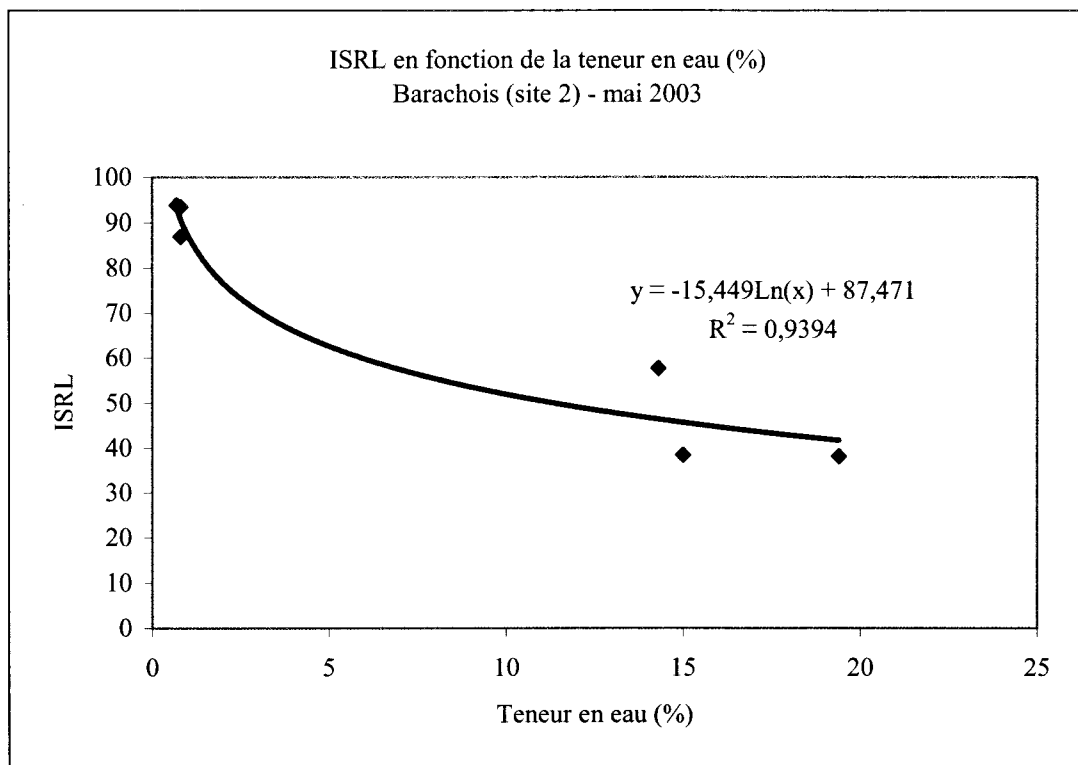


Figure 12. ISRL en fonction de la teneur en eau (site 2) – mai 2003.

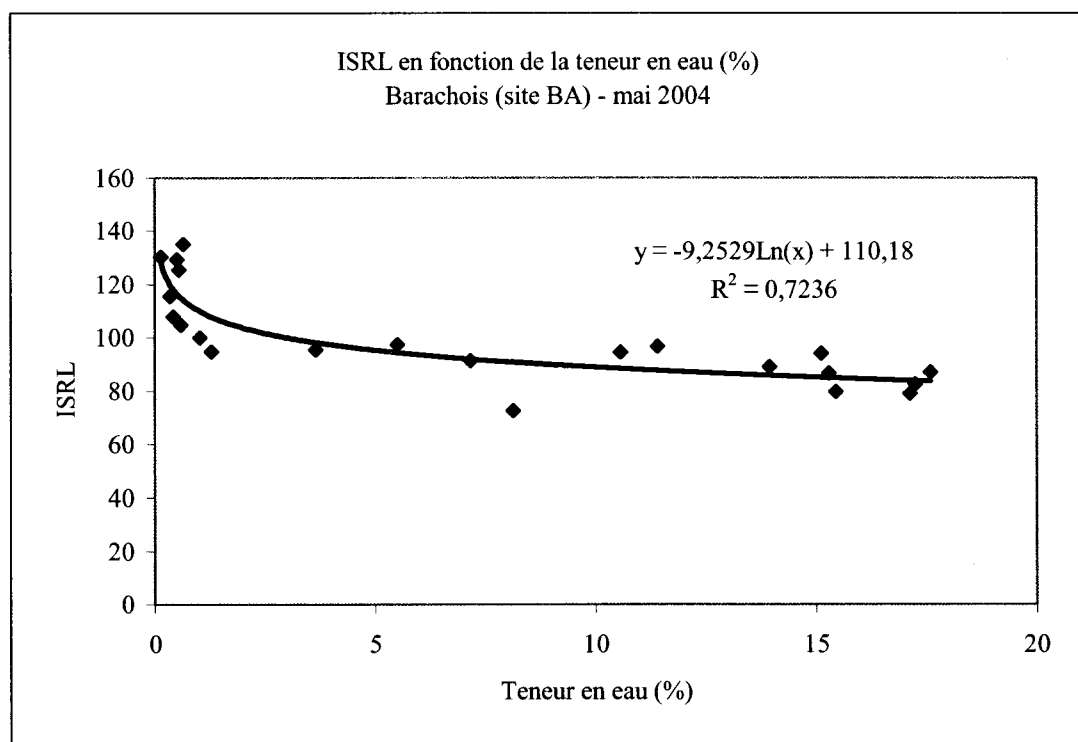


Figure 13. ISRL en fonction de la teneur en eau (site BA) – mai 2004.

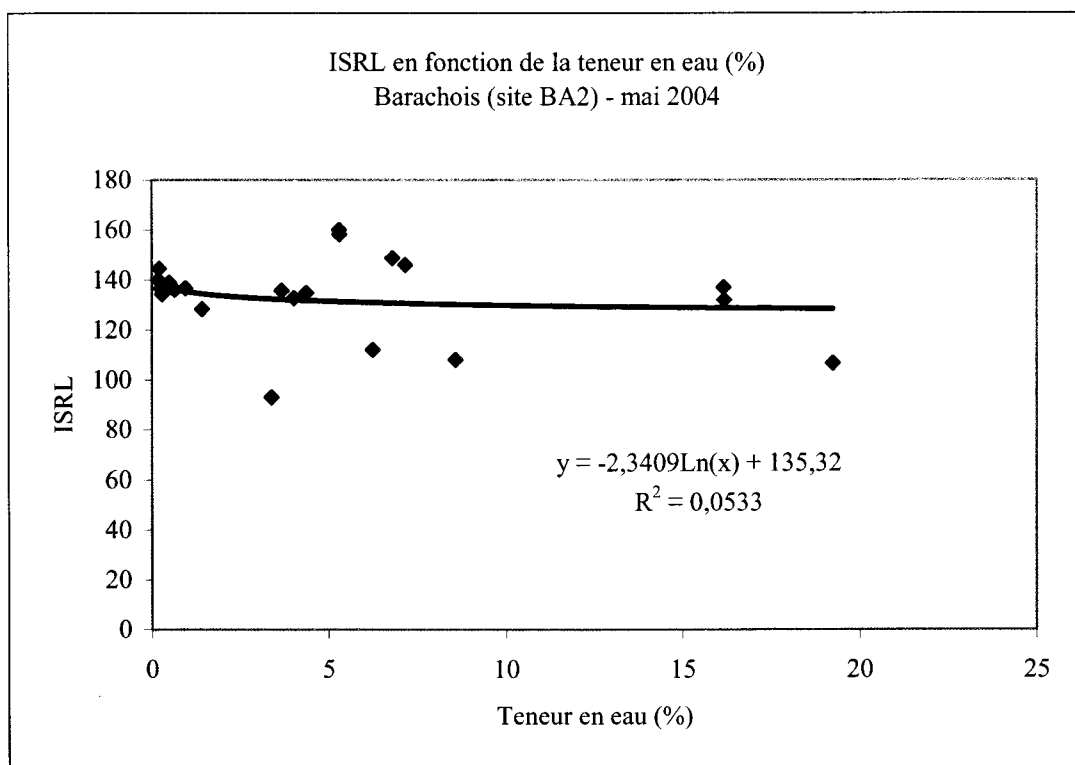


Figure 14. ISRL en fonction de la teneur en eau (site BA2) – mai 2004.

Tableau 5. Résultats généraux pour tous les sites d'échantillonnage
(HP : haut de plage, MP : moyenne plage, BP : bas de plage).

Année du survol	Position sur la plage	Teneur en eau (%)	Moyenne granulométrique (ϕ)	Intensité scanographique (HU)	Intensité Lidar (valeur codée)
ST-SIMÉON - flèche limitant marais et mer					
2003 (site 8)	HP	6,3	2,1	952,5	77,9
	MP	12,5	0,2	1132,6	47,4
	BP	47,3	2,0	532,8	98,0
BONAVENTURE OUEST - flèche entre estuaire de la rivière Bonaventure et mer					
2004 (site BOP)	HP	2,6	-0,3	769,6	77,6
	MP	5,9	1,8	696,8	72,0
	BP	8,8	2,7	678,8	72,7
BONAVENTURE EST - barachois refermant l'estuaire de la rivière Bonaventure					
2003 (site 7)	HP	5,2	0,4	996,5	61,9
	MP	21,5	0,6	1395,4	24,0
	BP	24,1	2,3	1248,9	20,3
2004 (site BO)	HP	7,2	-2,0	1081,6	49,6
	MP	16,2	0,5	747,6	36,7
	BP	18,4	1,9	590,0	63,0
PASPÉBIAC OUEST - partie ouest de la flèche entre lagon (marais) et mer					
2003 (site 6)	HP	1,2	1,6	752,9	83,5
	MP	3,9	0,7	829,7	63,6
	BP	23,5	2,8	1141,7	49,2
2004 (site PC)	HP	5,8	2,6	452,9	125,4
	MP	8,1	-0,2	942,2	101,8
	BP	4,8	-1,2	803,0	115,1
PASPÉBIAC EST - partie est de la flèche entre lagon (marais) et mer					
2003 (site 5)	HP	19,3	2,6	1136,5	46,2
	MP	19,1	2,5	1133,2	49,9
	BP	22,4	2,3	1144,6	45,8
CAP D'ESPOIR - plage dans l'anse du Cap					
2004 (site AB)	HP	1,7	-0,1	799,6	118,0
	MP	6,5	1,1	558,8	116,8
	BP	5,4	0,3	725,6	92,4
ANSE-À-BEAUFILS - plage à l'embouchure de la rivière de l'Anse-à-Beaufils					
2003 (site 3)	HP	0,9	1,6	773,2	93,3
	MP	6,0	0,2	951,5	55,9
	BP	7,9	-1,0	961,7	46,8
2004 (site AB2)	HP	2,4	1,2	636,2	107,0
	MP	7,7	1,0	619,8	83,6
	BP	5,4	0,3	725,6	92,4
BARACHOIS SUD - île barrière entre l'estuaire et la mer					
2003 (site 2)	HP	0,8	-0,8	871,7	91,4
	MP	11,1	0,3	1101,5	57,7
	BP	17,2	-0,2	1467,8	38,3
2004 (site BA)	HP	0,5	1,3	795,7	130,0
	MP	1,1	-0,2	803,7	103,1
	BP	12,9	1,7	587,1	87,5
BARACHOIS NORD - plage à l'embouchure de la rivière (passe de marée)					
2003 (site 1)	HP	0,8	0,3	899,0	93,2
	MP	5,4	-0,1	937,7	73,3
	BP	6,2	-1,2	1078,5	64,7
2004 (site BA2)	HP	0,3	0,3	739,4	138,2
	MP	1,2	0,4	706,1	135,9
	BP	8,5	0,3	732,6	130,8

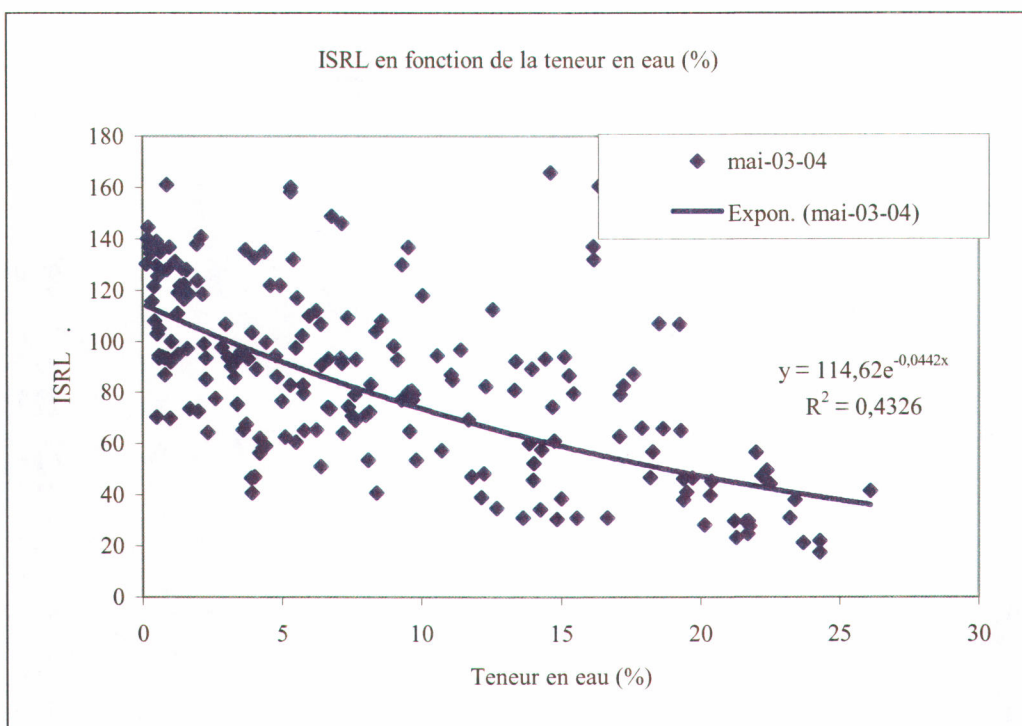


Figure 15. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites d'échantillonnage.

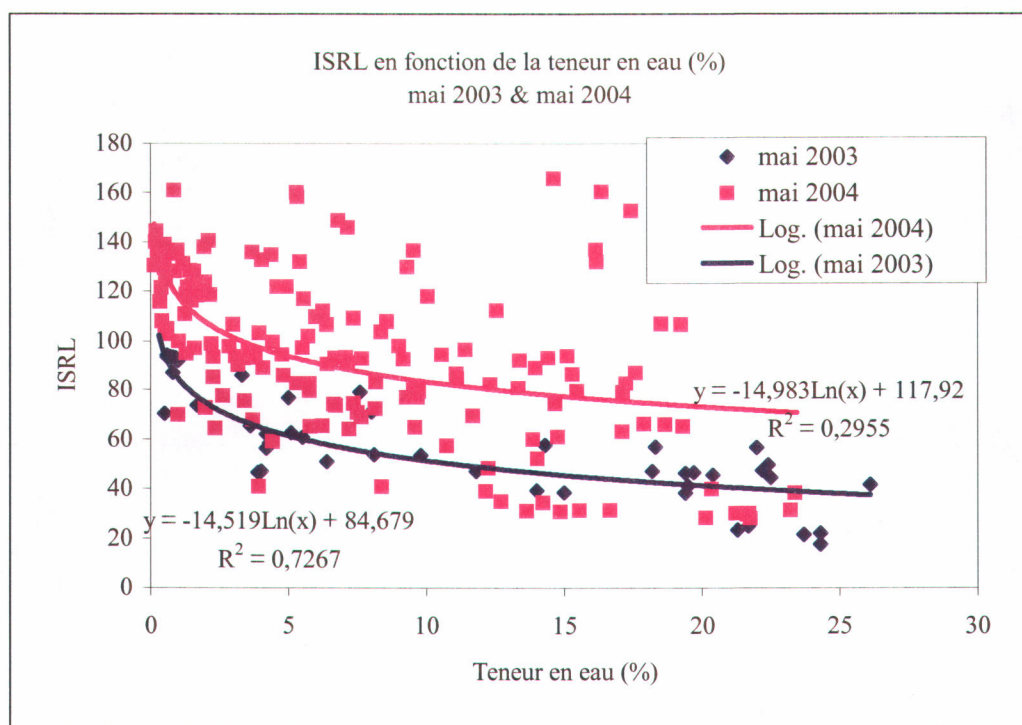


Figure 16. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites d'échantillonnage – mai 2003 et mai 2004.

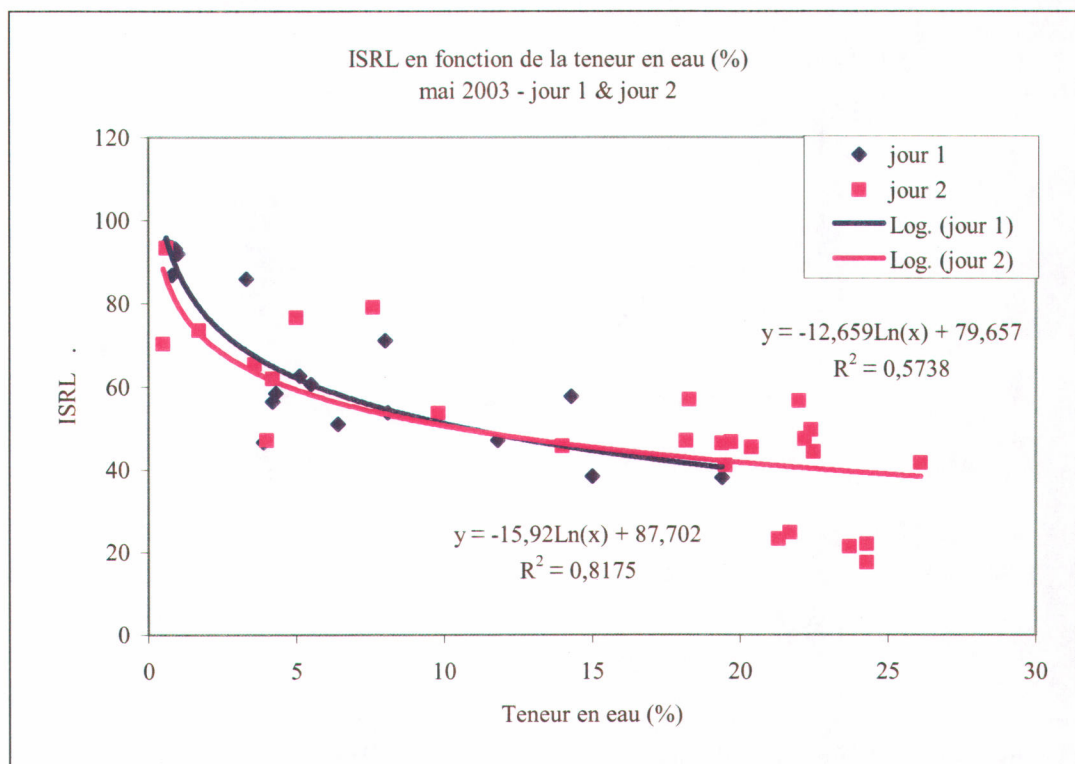


Figure 17. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites d'échantillonnage – mai 2003.

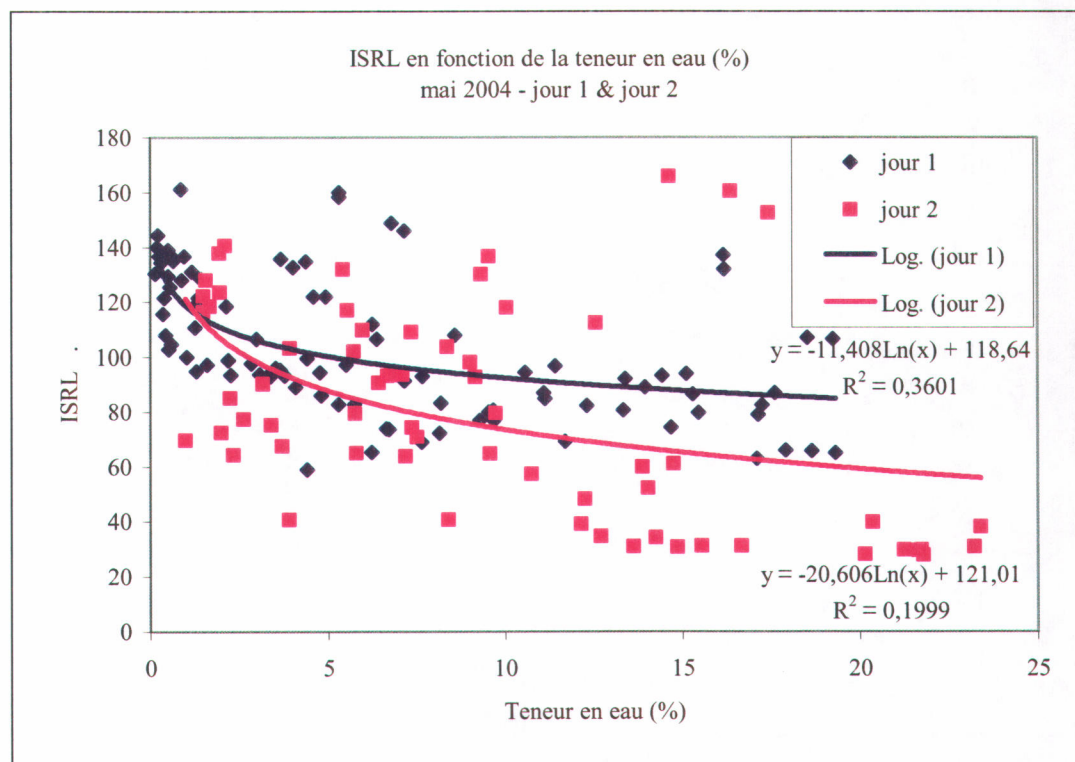


Figure 18. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la teneur en eau (%) sur tous les sites d'échantillonnage – mai 2004.

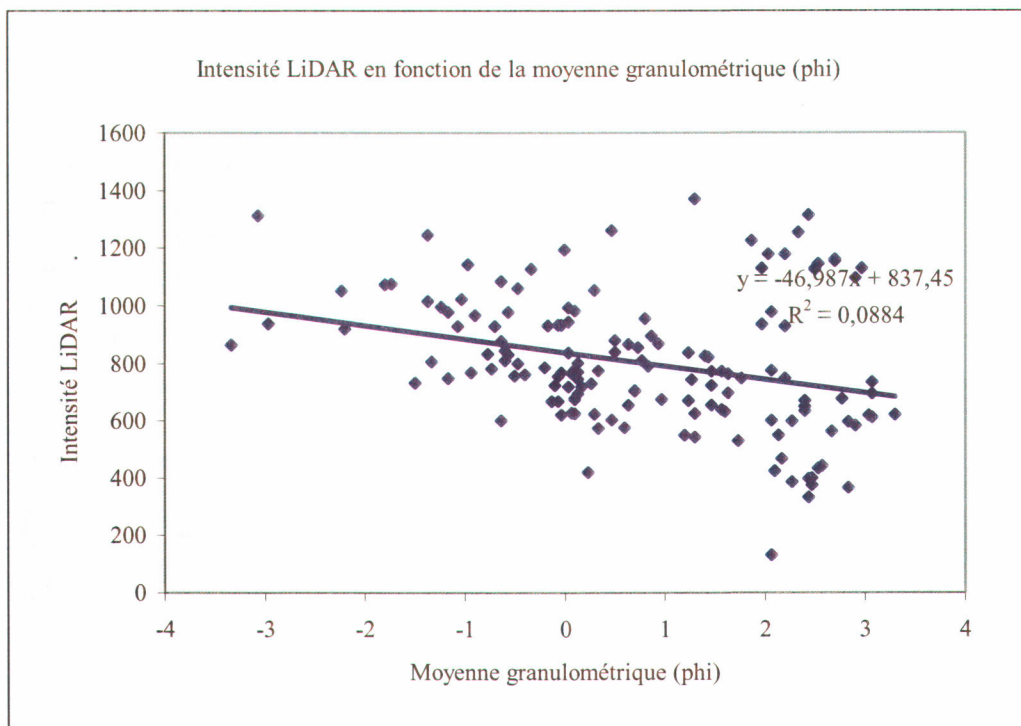


Figure 19. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de la moyenne granulométrique (ϕ) sur tous les sites d'échantillonnages – mai 2003 et mai 2004.

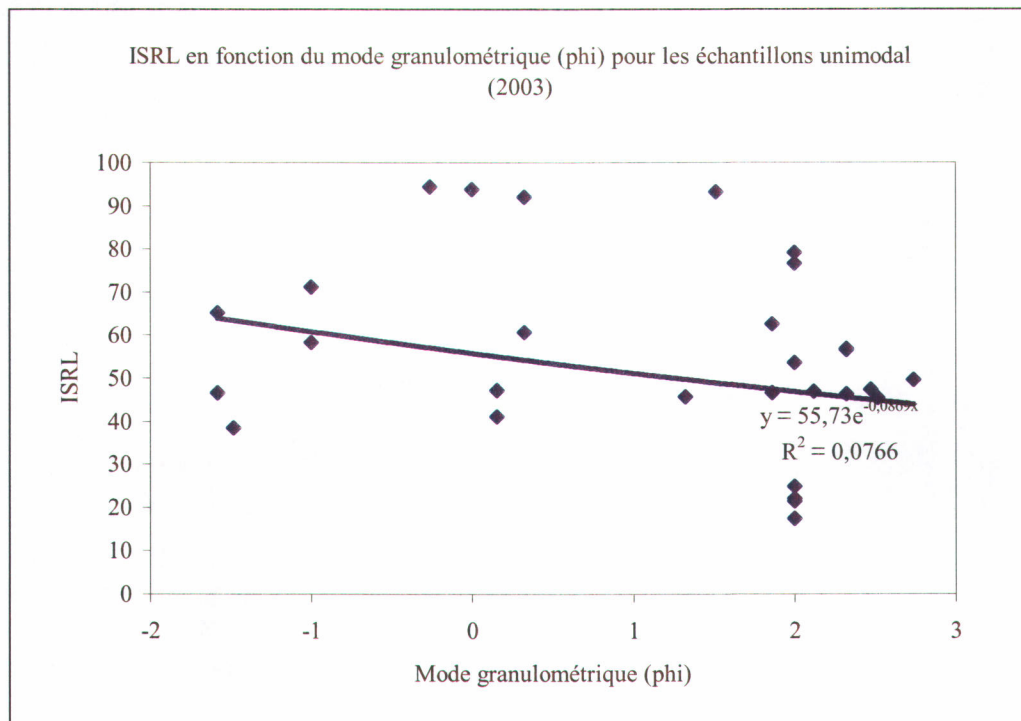


Figure 21. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du mode granulométrique (ϕ) (une population) – mai 2003.

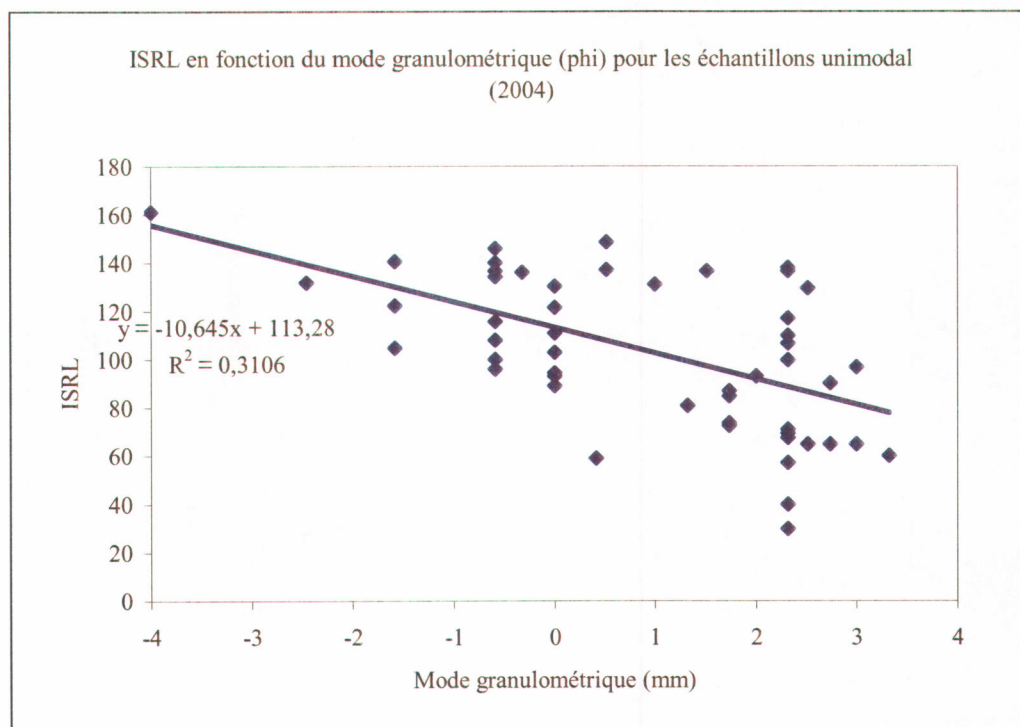


Figure 22. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du mode granulométrique (ϕ) (une population) – mai 2004.

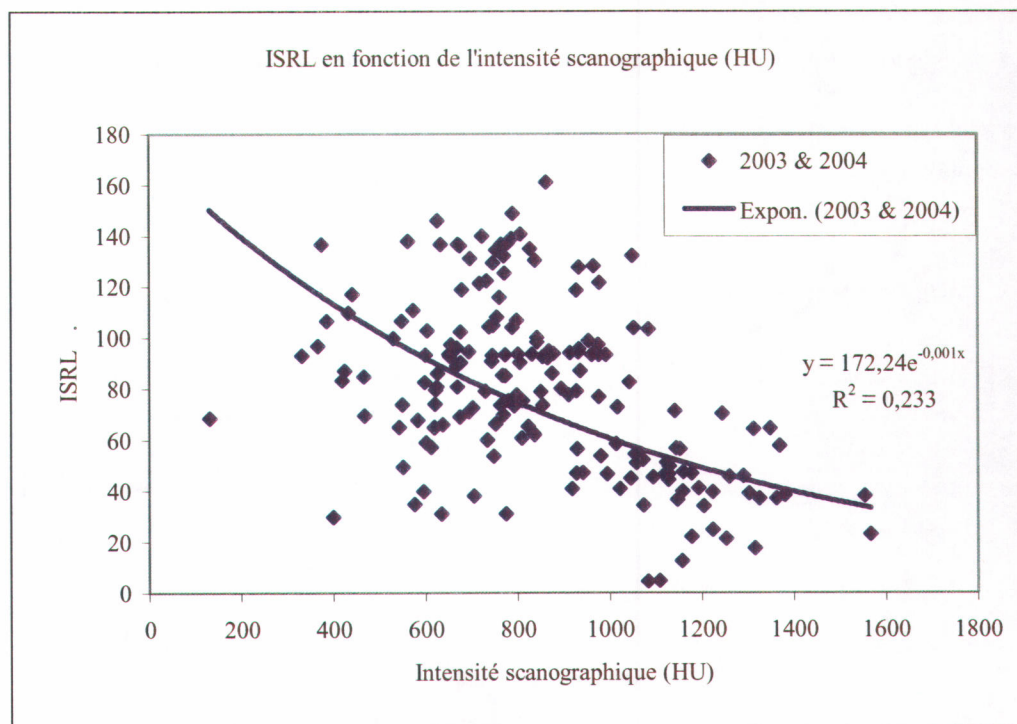


Figure 23. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de l'intensité scanographique (HU) sur tous les sites d'échantillonnages.

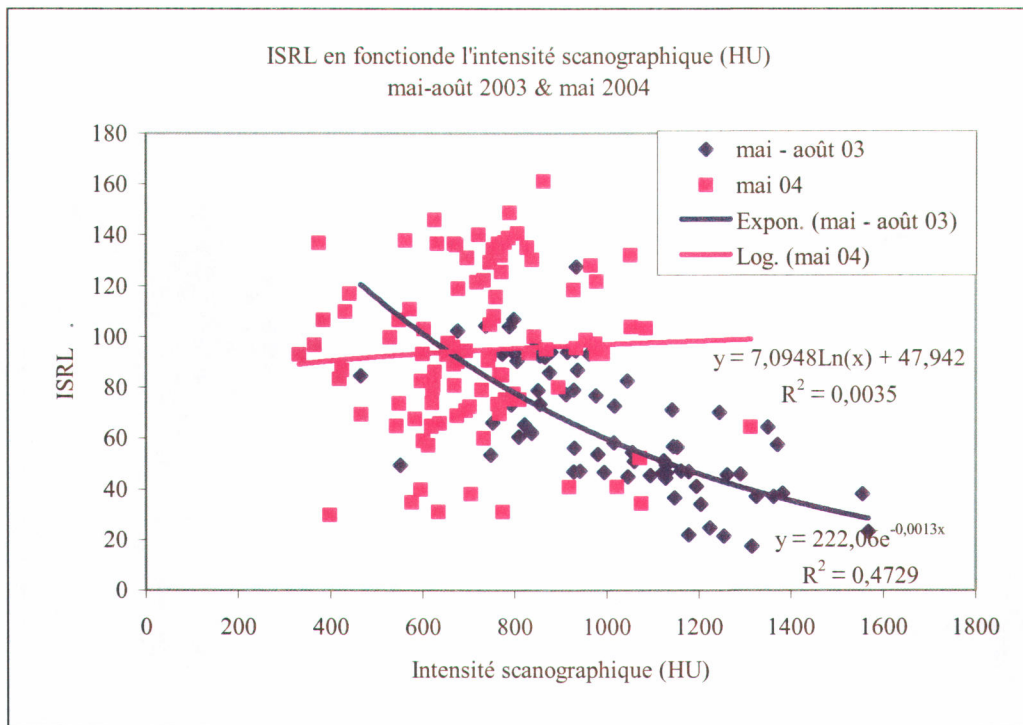


Figure 24. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction de l'intensité scanographique (HU) sur tous les sites d'échantillonnages – mai 2003 et mai 2004.

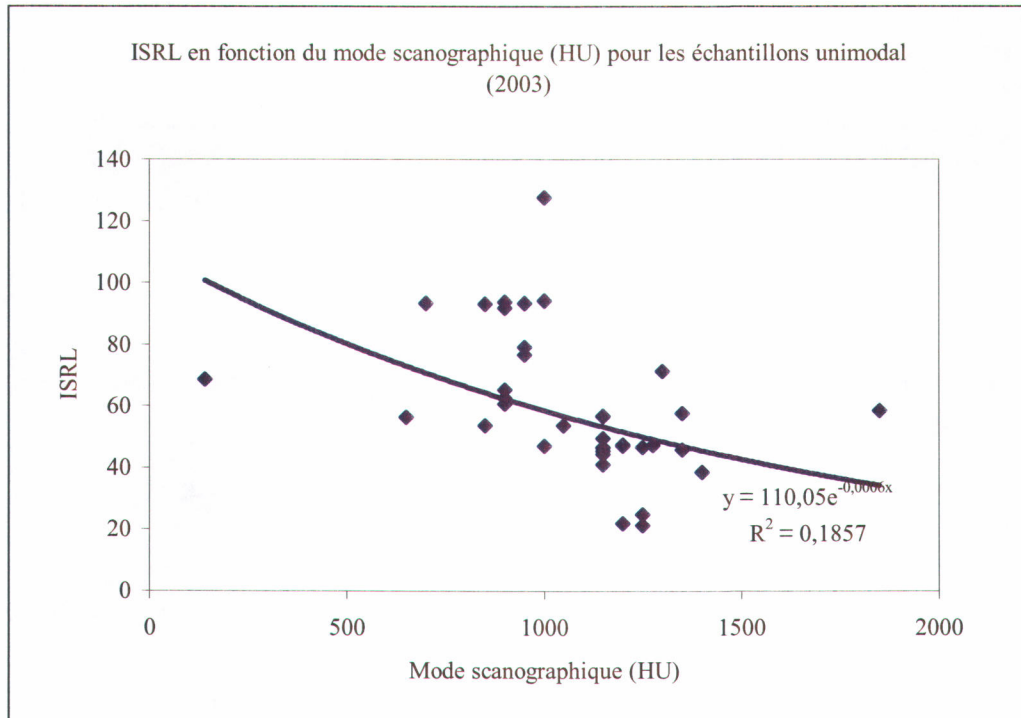


Figure 25. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du mode granulométrique (HU) (une population) – mai 2003.

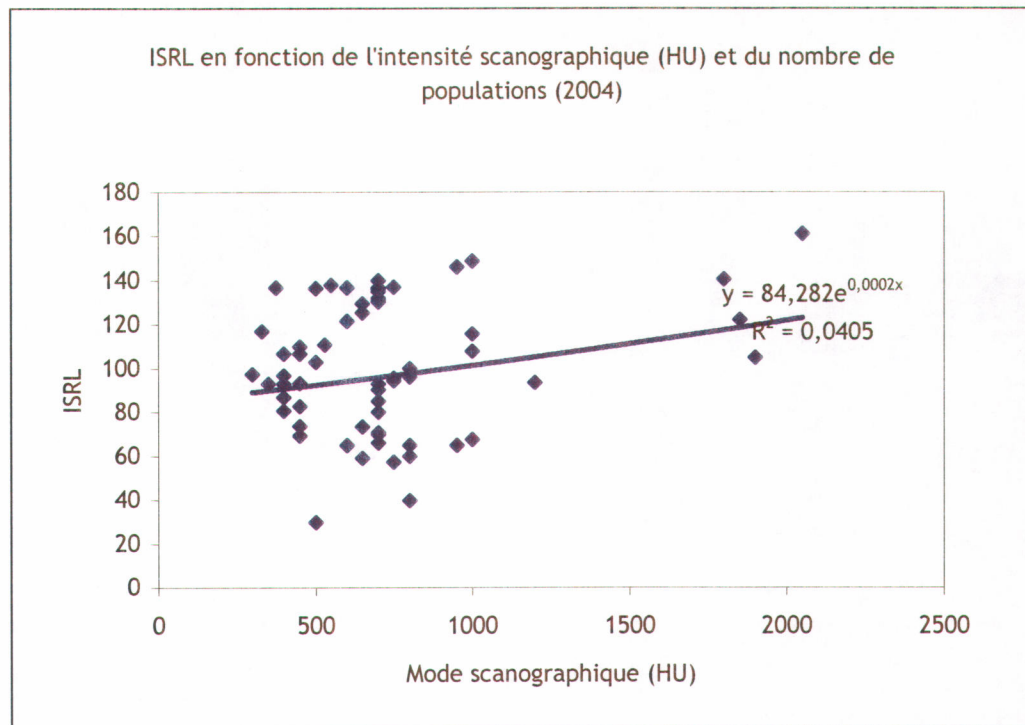


Figure 25. L'intensité du signal de retour LiDAR (ISRL) en fonction du mode granulométrique (HU) (une population) – mai 2004.

Annexe 2

Teneur en eau

Liste des tableaux

- Tableau 1. Résultats des mesures de teneur en eau en laboratoire pour tous les sites – mai 2003.
- Tableau 2. Résultats des mesures de teneur en eau en laboratoire pour tous les sites – mai 2004.

Tableau 1. Résultats des mesures de teneur en eau en laboratoire pour tous les sites – mai 2003.

Site	No échant.	humide + contenant (g) 31-07-03	sec + contenant (g) 07-08-03	contenant (g)	humide (g)	sec (g)	teneur en eau (g/g)
1	A	62,35	58,52	14,47	47,88	44,05	7,9992
	B	63,19	61,09	14,55	48,64	46,54	4,3174
	C	74,26	72,28	14,46	59,80	57,82	3,3110
	D	59,40	56,11	14,61	44,79	41,50	7,3454
	E	56,98	54,66	14,59	42,39	40,07	5,4730
	F	87,87	87,12	14,49	73,38	72,63	1,0221
	G	68,18	67,85	14,71	53,47	53,14	0,6172
2	A	80,68	67,84	14,52	66,16	53,32	19,4075
	B	73,19	64,37	14,50	58,69	49,87	15,0281
	C	71,28	66,79	14,59	56,69	52,20	7,9203
	D	74,89	66,27	14,53	60,36	51,74	14,2810
	E	60,19	59,83	14,60	45,59	45,23	0,7896
	F	86,31	85,77	14,45	71,86	71,32	0,7515
	G	64,57	64,24	14,44	50,13	49,80	0,6583
3	A	93,26	90,21	14,61	78,65	75,60	3,8779
	B	87,84	79,17	14,56	73,28	64,61	11,8313
	C	109,90	103,82	14,45	95,45	89,37	6,3698
	D	101,83	98,13	14,59	87,24	83,54	4,2412
	E	97,48	93,28	14,46	83,02	78,82	5,0590
	F	105,49	98,15	14,46	91,03	83,69	8,0633
	G	113,13	112,29	14,61	98,52	97,68	0,8526
4	A	60,58	58,6	14,60	45,98	44,00	4,3062
	B	69,42	67,13	14,69	54,73	52,44	4,1842
	C	58,95	55,94	14,61	44,34	41,33	6,7885
	D	82,60	81,49	14,61	67,99	66,88	1,6326
	E	64,21	63,14	14,40	49,81	48,74	2,1482
	F	44,34	44,15	14,52	29,82	29,63	0,6372
	G	100,09	99,87	14,44	85,65	85,43	0,2569
5	A	113,10	90,88	14,38	98,72	76,50	22,5081
	B	106,52	86,06	14,56	91,96	71,50	22,2488
	C	98,35	83,04	14,56	83,79	68,48	18,2719
	D	100,83	83,84	14,45	86,38	69,39	19,6689
	E	108,27	90,1	14,46	93,81	75,64	19,3689
	F	103,15	85,12	14,56	88,59	70,56	20,3522
	G	112,21	94,41	14,39	97,82	80,02	18,1967
6	A	97,38	75,77	14,57	82,81	61,20	26,0959
	B	99,25	80,27	14,60	84,65	65,67	22,4217
	C	86,59	70,74	14,68	71,91	56,06	22,0414
	D	64,53	62,41	14,46	50,07	47,95	4,2341
	E	65,97	64,13	14,46	51,51	49,67	3,5721
	F	66,63	65,77	14,60	52,03	51,17	1,6529
	G	63,64	63,33	14,62	49,02	48,71	0,6324
7	A	81,08	65,3	14,42	66,66	50,88	23,6724
	B	59,16	48,33	14,56	44,60	33,77	24,2825
	C	63,19	51,38	14,57	48,62	36,81	24,2904

Site	No échant.	humide + contenant (g) 31-07-03	sec + contenant (g) 07-08-03	contenant (g)	humide (g)	sec (g)	teneur en eau (g/g)
	D	63,22	52,68	14,54	48,68	38,14	21,6516
	E	58,52	49,19	14,64	43,88	34,55	21,2625
	F	49,41	46,01	14,58	34,83	31,43	9,7617
	G	52,26	52,08	14,35	37,91	37,73	0,4748
8	A	35,45	24,46	14,67	20,78	9,79	52,8874
	B	39,44	29,13	14,63	24,81	14,50	41,5558
	C	62,18	52,89	14,62	47,56	38,27	19,5332
	D	51,83	50,34	14,58	37,25	35,76	4,0000
	E	55,10	49,4	14,50	40,60	34,90	14,0394
	F	66,93	64,31	14,58	52,35	49,73	5,0048
	G	46,08	43,69	14,60	31,48	29,09	7,5921

Tableau 2. Résultats des mesures de teneur en eau en laboratoire pour tous les sites – mai 2004.

No échant.	humide + contenant (g)	sec + contenant (g)	contenant (g)	humide (g)	sec (g)	teneur en eau (g/g)
SS-1	36,73	31,40	8,15	28,58	23,25	0,19
SS-2	39,30	33,19	8,03	31,27	25,16	0,20
SS-3	46,35	37,36	8,02	38,33	29,34	0,23
SS-4	32,76	31,54	8,06	24,70	23,48	0,05
SS-5	32,51	29,65	8,17	24,34	21,48	0,12
SS-6	33,22	31,24	8,28	24,94	22,96	0,08
SS-7	33,07	30,86	8,07	25,00	22,79	0,09
SS-8	28,68	27,59	8,18	20,50	19,41	0,05
SS-9	29,67	28,12	8,17	21,50	19,95	0,07
SS-10	27,01	25,55	7,98	19,03	17,57	0,08
SS-11	33,21	31,34	7,99	25,22	23,35	0,07
BOP-1	37,97	33,81	7,97	30,00	25,84	0,14
BOP-2	38,94	34,39	8,11	30,83	26,28	0,15
BOP-3	31,16	29,68	8,12	23,04	21,56	0,06
BOP-4	39,77	37,96	8,16	31,61	29,80	0,06
BOP-5	43,48	40,10	8,17	35,31	31,93	0,10
BOP-6	25,30	24,05	8,34	16,96	15,71	0,07
BOP-7	27,66	26,55	8,51	19,15	18,04	0,06
BOP-8	32,48	30,72	8,01	24,47	22,71	0,07
BOP-9	38,73	38,43	8,45	30,28	29,98	0,01
BOP-12	29,27	28,59	7,87	21,40	20,72	0,03
BOP-13a	35,92	33,83	8,09	27,83	25,74	0,08
BOP-13b	43,98	40,65	8,55	35,43	32,10	0,09
BOP-14	45,37	41,36	8,00	37,37	33,36	0,11
BOP-15	38,70	37,57	8,28	30,42	29,29	0,04
BOP-16	36,91	35,94	8,37	28,54	27,57	0,03
BOP-17	41,59	40,71	8,02	33,57	32,69	0,03
BOP-18	38,08	37,40	7,99	30,09	29,41	0,02
BOP-19	35,19	34,65	8,15	27,04	26,50	0,02
BOP-20	38,51	-	-	-	-	-
BOP-21	48,70	41,36	8,00	40,70	33,36	0,18
BOP-22	42,02	36,13	8,49	33,53	27,64	0,18
BOP-23	44,04	37,62	8,33	35,71	29,29	0,18
BOP-24	43,04	36,77	7,87	35,17	28,90	0,18
BOP-25	33,07	28,88	7,96	25,11	20,92	0,17
BOP-26	35,41	31,24	8,15	27,26	23,09	0,15
BOP-27	32,10	28,93	7,86	24,24	21,07	0,13
BO-1	51,75	44,48	8,12	43,63	36,36	0,17
BO-2	50,77	41,59	8,51	42,26	33,08	0,22
BO-3	42,12	35,21	8,16	33,96	27,05	0,20
BO-4	17,27	15,66	8,03	9,24	7,63	0,17
BO-5	46,39	40,70	8,10	38,29	32,60	0,15
BO-6	53,93	43,97	8,18	45,75	35,79	0,22
BO-7	52,88	43,92	8,38	44,50	35,54	0,20
BO-8	27,25	24,08	7,87	19,38	16,21	0,16

No échant.	humide + contenant (g)	sec + contenant (g)	contenant (g)	humide (g)	sec (g)	teneur en eau (g/g)
BO-9	53,24	47,14	8,47	44,77	38,67	0,14
BO-10	58,34	47,48	8,14	50,20	39,34	0,22
BO-11	51,46	42,23	7,99	43,47	34,24	0,21
BO-12	24,20	21,88	8,34	15,86	13,54	0,15
BO-13	58,30	51,16	8,18	50,12	42,98	0,14
BO-14	47,05	42,35	8,36	38,69	33,99	0,12
BO-15	43,65	38,09	7,90	35,75	30,19	0,16
BO-16	39,91	32,51	8,03	31,88	24,48	0,23
BO-17	40,24	32,68	7,92	32,32	24,76	0,23
BO-18	42,05	37,88	7,99	34,06	29,89	0,12
BO-19	40,01	35,96	8,13	31,88	27,83	0,13
BO-20	42,18	40,85	8,16	34,02	32,69	0,04
BO-21	49,49	43,65	7,88	41,61	35,77	0,14
BO-22	50,70	49,70	8,11	42,59	41,59	0,02
BO-23	42,12	39,25	7,91	34,21	31,34	0,08
PC-1	43,67	42,92	8,20	35,47	34,72	0,02
PC-2	46,82	46,24	8,13	38,69	38,11	0,01
PC-3	42,21	38,93	8,47	33,74	30,46	0,10
PC-4	54,78	52,25	8,06	46,72	44,19	0,05
PC-5	39,46	38,84	7,92	31,54	30,92	0,02
PC-6	45,58	44,95	8,12	37,46	36,83	0,02
PC-7	42,73	40,73	8,07	34,66	32,66	0,06
PC-8	44,57	41,15	7,85	36,72	33,30	0,09
PC-9	47,44	46,82	8,01	39,43	38,81	0,02
PC-10	45,80	45,24	8,27	37,53	36,97	0,01
PC-11	43,39	40,89	8,15	35,24	32,74	0,07
PC-12	53,35	48,84	8,41	44,94	40,43	0,10
PC-13	41,75	38,65	7,89	33,86	30,76	0,09
PC-14	41,84	38,82	8,28	33,56	30,54	0,09
PC-15	42,95	41,58	8,05	34,90	33,53	0,04
PC-16	41,22	38,77	7,90	33,32	30,87	0,07
PC-17	37,33	34,88	8,04	29,29	26,84	0,08
PC-18	50,28	45,00	8,23	42,05	36,77	0,13
PC-19	37,67	35,69	8,03	29,64	27,66	0,07
PC-20	37,77	35,99	8,04	29,73	27,95	0,06
PC-21	37,84	35,00	8,03	29,81	26,97	0,10
PC-22	36,61	35,02	7,95	28,66	27,07	0,06
PC-23	33,55	33,06	8,42	25,13	24,64	0,02
AB-1	48,87	41,22	7,90	40,97	33,32	0,19
AB-2	42,02	35,80	8,42	33,60	27,38	0,19
AB-3	30,80	27,75	7,93	22,87	19,82	0,13
AB-4	53,15	47,11	8,00	45,15	39,11	0,13
AB-5	40,83	34,95	7,98	32,85	26,97	0,18
AB-6	52,18	44,68	8,32	43,86	36,36	0,17
AB-7	36,64	33,92	8,09	28,55	25,83	0,10
AB-8	34,57	31,32	8,17	26,40	23,15	0,12
AB-9	45,47	38,21	7,86	37,61	30,35	0,19

No échant.	humide + contenant (g)	sec + contenant (g)	contenant (g)	humide (g)	sec (g)	teneur en eau (g/g)
AB-10	54,40	45,75	8,01	46,39	37,74	0,19
AB-11	32,26	30,41	8,03	24,23	22,38	0,08
AB-12	47,96	42,09	7,98	39,98	34,11	0,15
AB-13	41,00	39,55	8,12	32,88	31,43	0,04
AB-14	41,32	39,24	7,93	33,39	31,31	0,06
AB-15	35,85	35,22	8,03	27,82	27,19	0,02
AB-16	45,41	44,35	8,09	37,32	36,26	0,03
AB-18	37,66	37,54	7,86	29,80	29,68	0,00
AB-19	34,79	34,56	8,03	26,76	26,53	0,01
AB-20	41,52	40,53	8,34	33,18	32,19	0,03
AB-21	41,01	40,72	8,00	33,01	32,72	0,01
AB-22	43,95	43,49	8,15	35,80	35,34	0,01
AB-23	39,08	34,58	7,89	31,19	26,69	0,14
AB-24	38,46	36,52	8,07	30,39	28,45	0,06
AB-25	45,14	44,64	8,09	37,05	36,55	0,01
AB-26	46,10	45,28	7,87	38,23	37,41	0,02
AB-27	41,35	38,80	8,21	33,14	30,59	0,08
AB-28	42,19	40,68	8,03	34,16	32,65	0,04
AB2-1	45,08	43,68	8,14	36,94	35,54	0,04
AB2-2	44,77	42,31	8,18	36,59	34,13	0,07
AB2-3	44,53	42,79	8,04	36,49	34,75	0,05
AB2-4	39,59	38,48	8,16	31,43	30,32	0,04
AB2-5	45,61	43,76	8,15	37,46	35,61	0,05
AB2-6	41,45	38,22	8,04	33,41	30,18	0,10
AB2-7	43,34	41,31	8,06	35,28	33,25	0,06
AB2-8	41,16	40,05	8,11	33,05	31,94	0,03
AB2-9	43,33	41,71	8,02	35,31	33,69	0,05
AB2-10	44,01	40,67	8,03	35,98	32,64	0,09
AB2-12	43,55	41,66	7,85	35,70	33,81	0,05
AB2-13	42,43	41,37	8,00	34,43	33,37	0,03
AB2-14	39,54	38,85	8,02	31,52	30,83	0,02
AB2-15	46,45	42,23	8,50	37,95	33,73	0,11
AB2-16	44,67	41,12	7,92	36,75	33,20	0,10
AB2-17	46,91	42,64	8,37	38,54	34,27	0,11
AB2-18	46,16	41,70	7,99	38,17	33,71	0,12
AB2-19	46,87	45,02	8,41	38,46	36,61	0,05
AB2-20	44,41	42,00	8,17	36,24	33,83	0,07
AB2-21	41,68	38,96	8,40	33,28	30,56	0,08
AB2-22	34,41	33,34	8,19	26,22	25,15	0,04
AB2-23	41,28	40,86	7,83	33,45	33,03	0,01
AB2-24	40,43	40,26	8,08	32,35	32,18	0,01
AB2-25	40,44	37,96	8,06	32,38	29,90	0,08
AB2-26	48,03	47,56	8,03	40,00	39,53	0,01
AB2-27	46,14	45,53	7,97	38,17	37,56	0,02
BA-1	31,51	27,51	8,16	23,35	19,35	0,17
BA-2	26,85	24,74	8,35	18,50	16,39	0,11
BA-3	36,74	35,18	8,39	28,35	26,79	0,06

No échant.	humide + contenant (g)	sec + contenant (g)	contenant (g)	humide (g)	sec (g)	teneur en eau (g/g)
BA-4	39,10	33,77	8,19	30,91	25,58	0,17
BA-5	32,44	32,19	8,13	24,31	24,06	0,01
BA-6	33,87	33,76	8,14	25,73	25,62	0,00
BA-7	32,96	32,84	7,93	25,03	24,91	0,00
BA-8	36,20	35,84	8,39	27,81	27,45	0,01
BA-9	34,96	34,80	7,89	27,07	26,91	0,01
BA-10	39,64	39,53	8,38	31,26	31,15	0,00
BA-11	40,88	39,68	8,03	32,85	31,65	0,04
BA-12	34,39	34,22	8,04	26,35	26,18	0,01
BA-13	43,23	43,18	7,89	35,34	35,29	0,00
BA-14	41,83	41,66	8,08	33,75	33,58	0,01
BA-15	42,64	42,45	8,12	34,52	34,33	0,01
BA-16	27,85	24,81	8,18	19,67	16,63	0,15
BA-17	26,79	24,79	7,85	18,94	16,94	0,11
BA-18	30,82	29,18	7,89	22,93	21,29	0,07
BA-19	44,47	38,92	8,18	36,29	30,74	0,15
BA-20	36,22	31,93	7,84	28,38	24,09	0,15
BA-21	32,32	28,95	8,16	24,16	20,79	0,14
BA-22	34,34	32,20	8,04	26,30	24,16	0,08
BA-23	43,98	37,71	8,35	35,63	29,36	0,18
BA2-1	40,92	39,80	7,86	33,06	31,94	0,03
BA2-2	41,55	36,10	7,86	33,69	28,24	0,16
BA2-3	39,75	37,62	8,40	31,35	29,22	0,07
BA2-4	42,86	40,39	8,36	34,50	32,03	0,07
BA2-5	34,23	33,26	7,86	26,37	25,40	0,04
BA2-6	44,07	38,27	8,16	35,91	30,11	0,16
BA2-7	45,93	43,91	7,86	38,07	36,05	0,05
BA2-8	44,11	41,86	8,07	36,04	33,79	0,06
BA2-9	42,63	41,24	8,03	34,60	33,21	0,04
BA2-10	53,21	44,51	8,00	45,21	36,51	0,19
BA2-11	42,27	40,45	8,03	34,24	32,42	0,05
BA2-12	48,36	44,90	8,01	40,35	36,89	0,09
BA2-13	51,84	51,71	8,14	43,70	43,57	0,00
BA2-14	44,94	43,34	8,34	36,60	35,00	0,04
BA2-15	48,61	48,22	8,04	40,57	40,18	0,01
BA2-16	46,38	45,83	7,93	38,45	37,90	0,01
BA2-17	44,46	44,36	7,82	36,64	36,54	0,00
BA2-18	46,13	46,05	7,91	38,22	38,14	0,00
BA2-19	41,51	41,29	7,85	33,66	33,44	0,01
BA2-20	49,34	49,26	8,00	41,34	41,26	0,00
BA2-21	51,60	51,49	8,00	43,60	43,49	0,00
BA2-22	51,06	50,90	8,14	42,92	42,76	0,00
BA2-23	50,05	49,84	8,14	41,91	41,70	0,01

Annexe 3

Analyses granulométriques

Liste des figures

- Figure 1. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Barachois Nord (site 1) – mai 2003.
- Figure 2. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Barachois Sud (site 2) – mai 2003.
- Figure 3. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de l'Anse-à-Beaufils (site 3) – mai 2003.
- Figure 4. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Paspébiac Est (site 5) – mai 2003.
- Figure 5. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Paspébiac Ouest (site 6) – mai 2003.
- Figure 6. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site Bonaventure Est (site 7) – mai 2003.
- Figure 7. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Saint-Siméon (site 8) – mai 2003.
- Figure 8. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Bonaventure Ouest (site BOP) – mai 2004.
- Figure 9. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Bonaventure Est (site BO) – mai 2004.
- Figure 10. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Paspébiac Ouest (site PC) – mai 2004.
- Figure 11. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Cap d'Espoir (site AB) – mai 2004.
- Figure 12. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de l'Anse-à-Beaufils (site AB2) – mai 2004.
- Figure 13. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Barachois Sud (site BA) – mai 2004.
- Figure 14. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Barachois Nord (site BA) – mai 2004.

Liste des tableaux

- Tableau 1. Résultats des analyses granulométrique en laboratoire pour tous les sites – mai 2003 (échantillons 1A à 5E).
- Tableau 2. Résultats des analyses granulométrique en laboratoire pour tous les sites – mai 2003 (échantillons 5F à 8G).
- Tableau 3. Résultats des analyses granulométrique en laboratoire pour tous les sites – mai 2004.
- Tableau 4. Modes granulométriques à partir des données granulométriques et des données scanographiques pour tous les sites – mai 2003.
- Tableau 5. Modes granulométriques à partir des données granulométriques et des données scanographiques pour tous les sites – mai 2004.

Tableau 1. Résultats des analyses granulométrique en laboratoire pour tous les sites – mai 2003 (échantillons 1A à 5E).

No	16,0 mm	12,5 mm	8,0 mm	6,3 mm	4,0 mm	2,8 mm	2,0 mm	1,4 mm	1,0 mm	710 mm	500 mm	355 mm	250 mm	180 mm	125 mm	90 mm	63 mm	(-) 63 mm
1A	100,00	100,00	96,61	89,59	84,99	72,47	55,23	35,31	16,58	7,85	3,87	1,82	0,45	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03
1B	100,00	92,80	89,97	82,25	74,12	60,04	45,09	28,23	14,29	6,58	2,87	1,01	0,21	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
1C	100,00	100,00	100,00	93,58	90,52	81,65	68,87	51,04	29,36	11,89	2,06	0,50	0,08	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
1D	100,00	100,00	97,79	93,52	90,18	83,14	75,57	66,64	46,11	23,82	10,37	5,29	1,51	0,40	0,14	0,14	0,14	0,14
1E	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,83	94,16	65,18	31,31	15,72	4,56	0,77	0,26	0,09	0,04	0,00
1F	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,78	96,19	66,28	25,28	7,05	0,73	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
1G	100,00	100,00	100,00	99,16	99,06	98,64	96,78	85,17	44,11	13,76	3,50	0,94	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2A	100,00	90,18	83,99	71,99	68,05	59,39	52,82	48,09	45,27	43,81	41,85	37,28	25,11	12,29	2,92	0,12	0,02	0,00
2B	100,00	94,65	92,53	87,11	82,32	66,62	48,53	34,45	26,34	21,19	16,37	11,39	6,64	2,71	0,58	0,01	0,00	0,00
2C	100,00	93,96	93,96	90,88	87,96	78,64	69,39	59,51	49,39	40,81	34,40	29,68	23,30	12,01		2,10	0,00	0,00
2D	100,00	97,84	97,84	97,48	96,88	94,24	89,16	81,53	73,92	67,28	62,26	57,93	49,66	30,07	7,43	0,27	0,02	0,02
2E	100,00	80,27	74,14	31,36	13,60	1,33	0,31	0,23	0,19	0,18	0,14	0,10	0,09	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02
2F	100,00	91,27	91,27	89,43	87,79	83,65	77,80	68,38	52,20	39,56	32,46	26,00	17,61	7,48	1,89	0,22	0,03	0,03
2G	100,00	100,00	100,00	100,00	99,30	97,33	92,62	81,10	65,37	45,57	31,94	22,93	12,86	3,26	0,42	0,02	0,00	0,00
3A	100,00	100,00	100,00	94,90	87,53	62,96	35,28	15,76	3,56	0,28	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3B	100,00	100,00	98,66	85,01	75,10	56,41	49,54	45,98	42,01	38,54	32,19	20,19	12,03	3,39	0,41	0,06	0,02	0,01
3C	100,00	100,00	96,99	91,25	84,76	71,73	59,29	48,71	37,74	31,09	27,64	24,51	18,43	5,38	0,62	0,09	0,04	0,01
3D	100,00	100,00	95,08	86,40		75,68	47,87	39,75	33,96	30,68	28,45	25,88	19,07		4,93	0,08	0,01	0,00
3E	100,00	100,00	100,00	97,81	96,32	93,35	90,33	86,84	81,75	75,90	68,14	57,68	39,73	9,98	1,11	0,20	0,13	0,12
3F	100,00	100,00	97,93	96,14	95,22	89,85	76,49	59,63	43,72	33,19	27,00	23,29	15,57	3,71	1,01	0,52	0,34	0,12
3G	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,94	99,89	99,79	98,86	94,79	80,94	57,93	28,32	5,03	0,40	0,04	0,04	0,03
5A	100,00	92,48	92,48	91,70	91,43	89,20	87,40	85,69	84,30	83,41	82,97	82,25	80,52	70,17	25,32	3,07	0,62	0,15
5B	100,00	100,00	100,00	100,00	99,35	98,77	98,25	97,67	97,29	97,07	96,80	96,46	94,62	78,03	26,79	2,69	0,50	0,08
5C	100,00	100,00	100,00	99,55	98,87	98,51	97,54	96,46	95,26	94,42	93,71	92,70	89,42	63,38	12,01	0,84	0,19	0,05
5D	100,00	100,00	97,28	97,28	97,03	95,76	95,05	94,30	93,59	93,06	92,56	91,75	88,28	60,46	13,49	1,23	0,20	0,05
5E	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,75	99,03	98,42	97,74	97,28	96,88	95,74	90,50	59,43	15,03	1,78	0,31	0,08

Tableau 2. Résultats des analyses granulométrique en laboratoire pour tous les sites – mai 2003 (échantillons 5F à 8G).

No	16,0 mm	8,0 mm	4,0 mm	2,0 mm	1,0 mm	500 mm	250 mm	125 mm	63 mm	(-) 63 mm
5F	100,00	100,00	97,72	94,42	90,13	87,70	85,98	57,68	2,46	0,10
5G	100,00	100,00	97,53	94,16	88,20	83,51	78,48	31,04	1,77	0,14
6B	100,00	100,00	100,00	99,90	99,62	99,35	98,75	53,84	0,98	0,14
6C	100,00	100,00	100,00	99,05	97,78	96,74	95,16	34,82	0,24	0,06
6D	100,00	100,00	96,38	73,22	47,48	33,80	14,04	2,18	0,02	0,00
6E	100,00	100,00	97,01	93,11	86,54	79,32	54,98	6,11	0,08	0,03
6F	100,00	100,00	95,36	92,26	91,75	91,42	86,19	8,81	0,04	0,01
6G	100,00	100,00	100,00	99,41	99,33	98,90	95,18	8,22	0,04	0,01
7A	100,00	100,00	99,36	97,11	95,49	94,38	81,55	11,74	0,42	0,10
7B	100,00	100,00	100,00	98,82	98,29	97,53	85,43	14,20	0,45	0,08
7C	100,00	100,00	100,00	96,38	91,70	86,55	68,92	9,06	0,15	0,02
7D	100,00	100,00	95,39	89,96	86,59	83,00	68,76	7,68	0,14	0,03
7E	100,00	100,00	73,11	60,45	53,79	48,20	32,73	2,99	0,25	0,05
7F	100,00	100,00	100,00	99,55	99,16	97,85	76,15	4,64	0,04	0,02
7G	100,00	100,00	60,95	45,97	40,09	33,46	15,19	0,14	0,02	0,01
8A	100,00	100,00	82,13	77,33	73,92	70,90	68,08	55,64	42,76	16,36
8B	100,00	100,00	84,90	79,93	76,39	72,84	67,56	55,77	39,69	9,13
8C	100,00	100,00	89,87	75,96	56,32	24,47	8,71	2,49	1,21	0,10
8D	100,00	100,00	88,71	77,91	57,92	29,06	8,79	4,62	0,82	0,03
8E	100,00	100,00	89,43	76,48	61,18	44,43	26,21	7,32	0,48	0,03
8F	100,00	100,00	98,86	96,85	94,53	87,26	66,71	10,36	0,14	0,01
8G	100,00	100,00	100,00	99,70	99,02	93,55	70,50	11,43	0,25	0,03

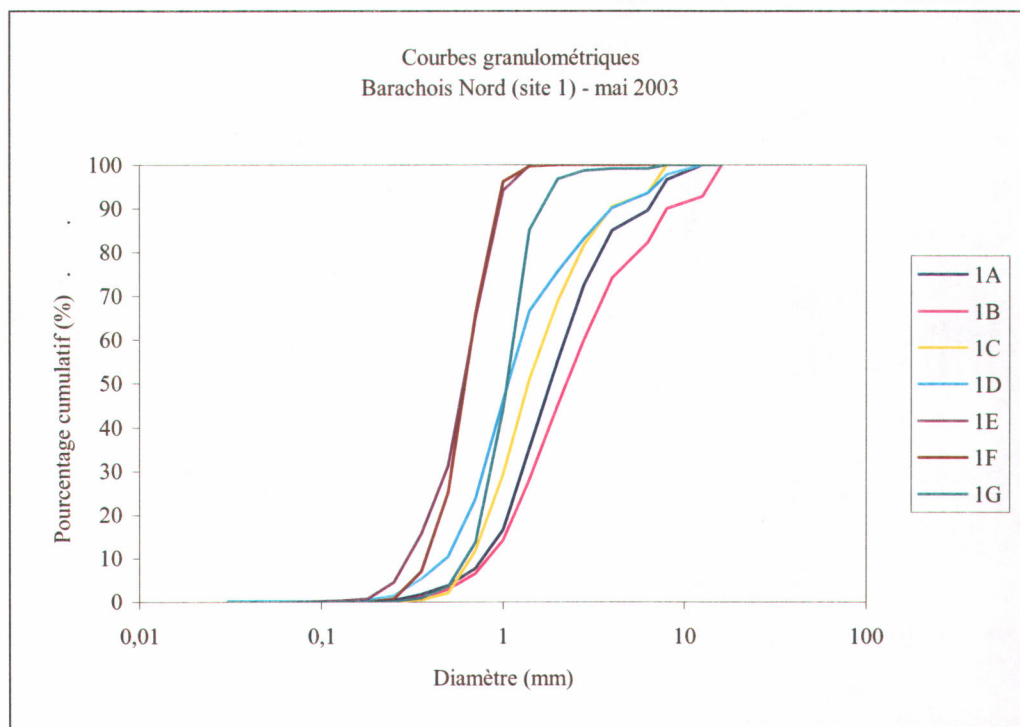


Figure 1. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Barachois Nord (site 1) – mai 2003.

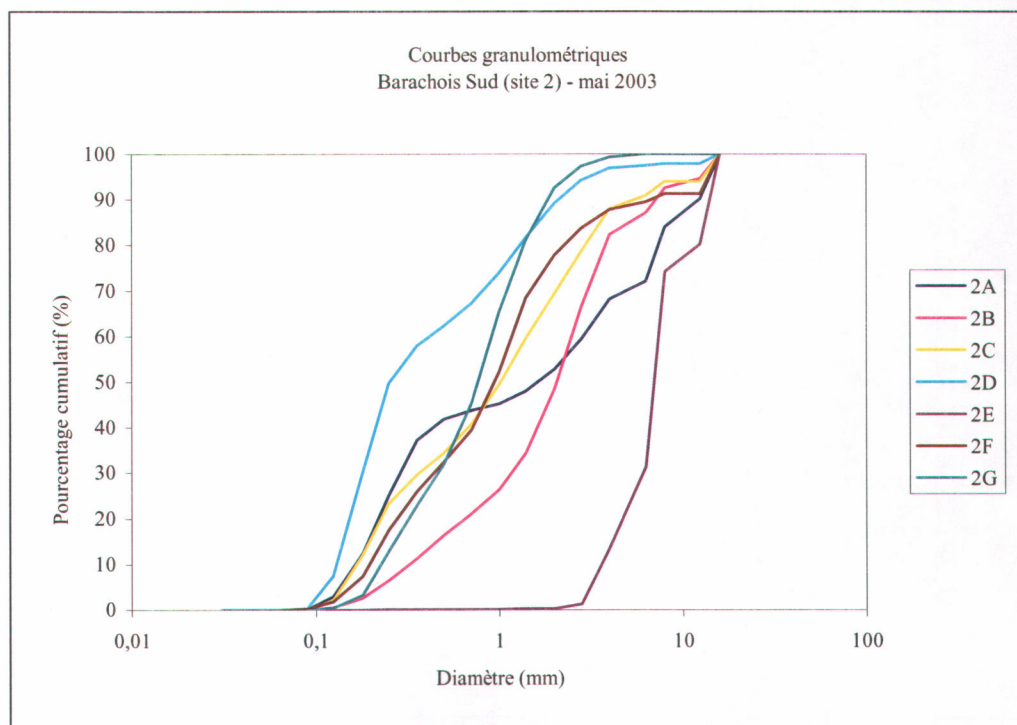


Figure 2. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Barachois Sud (site 2) – mai 2003.

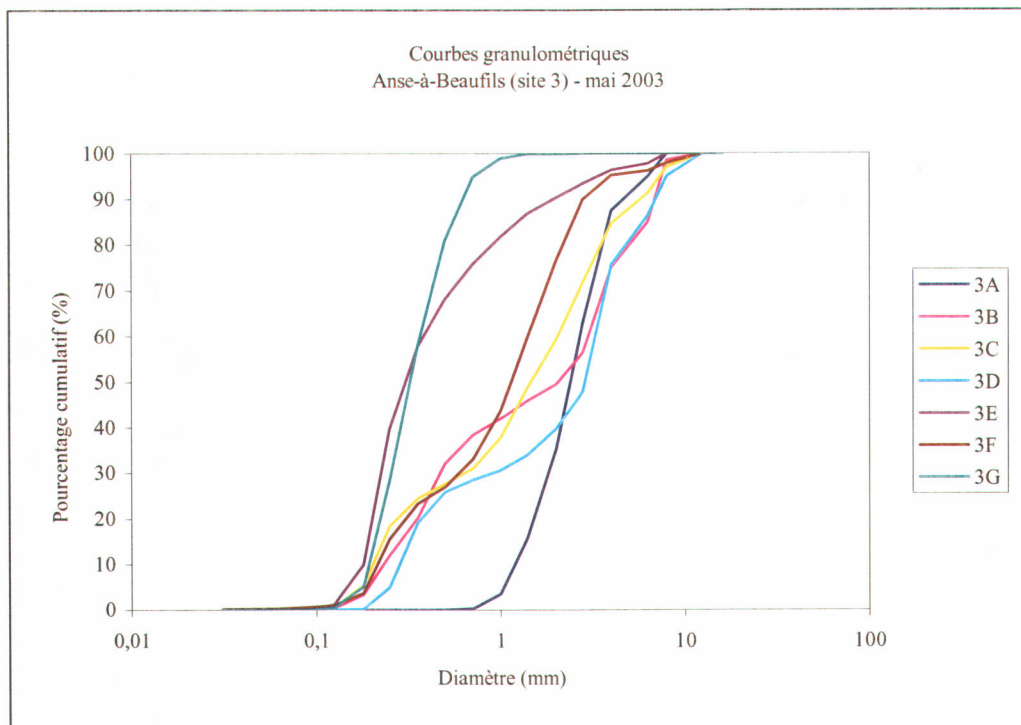


Figure 3. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de l'Anse-à-Beaufils (site 3) – mai 2003.

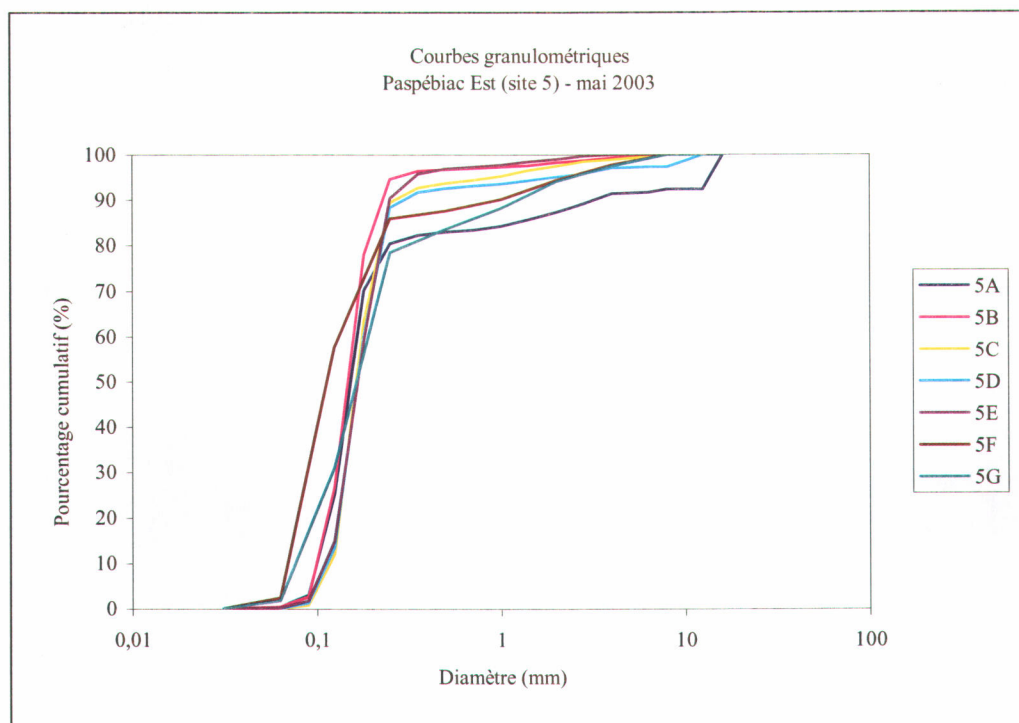


Figure 4. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Paspébiac Est (site 5) – mai 2003.

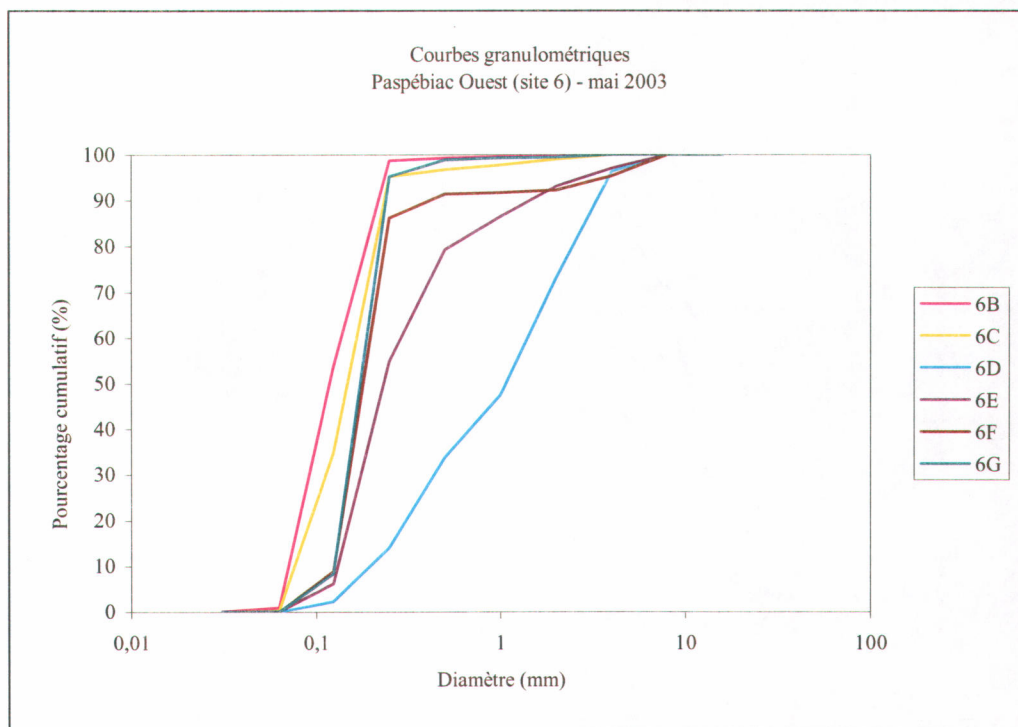


Figure 5. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Paspébiac Ouest (site 6) – mai 2003.

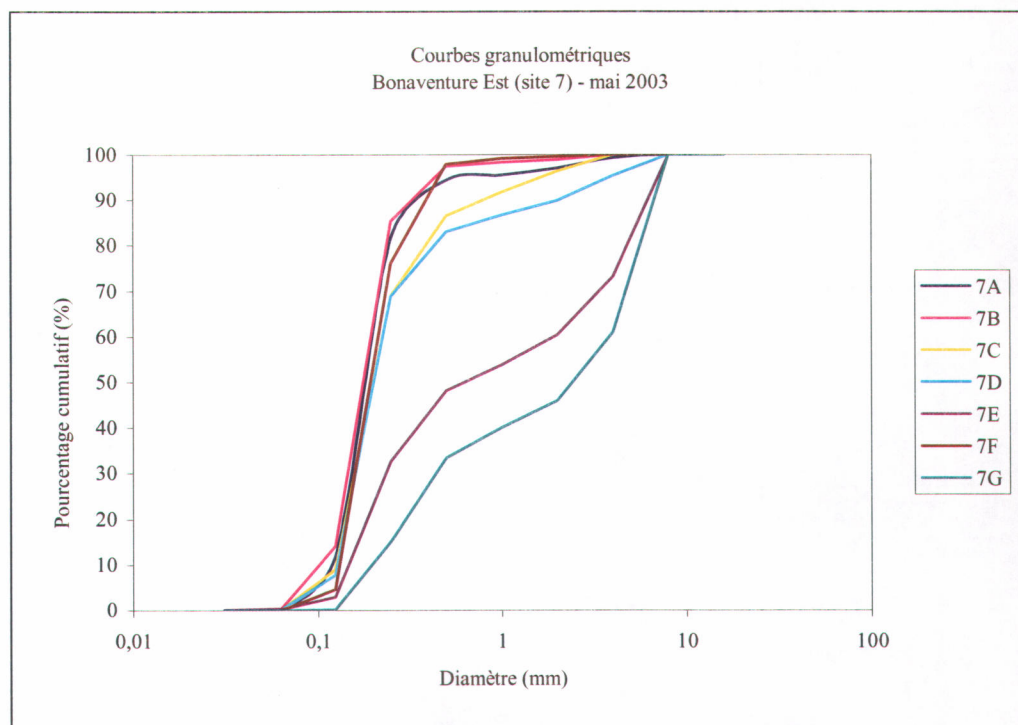


Figure 6. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site Bonaventure Est (site 7) – mai 2003.

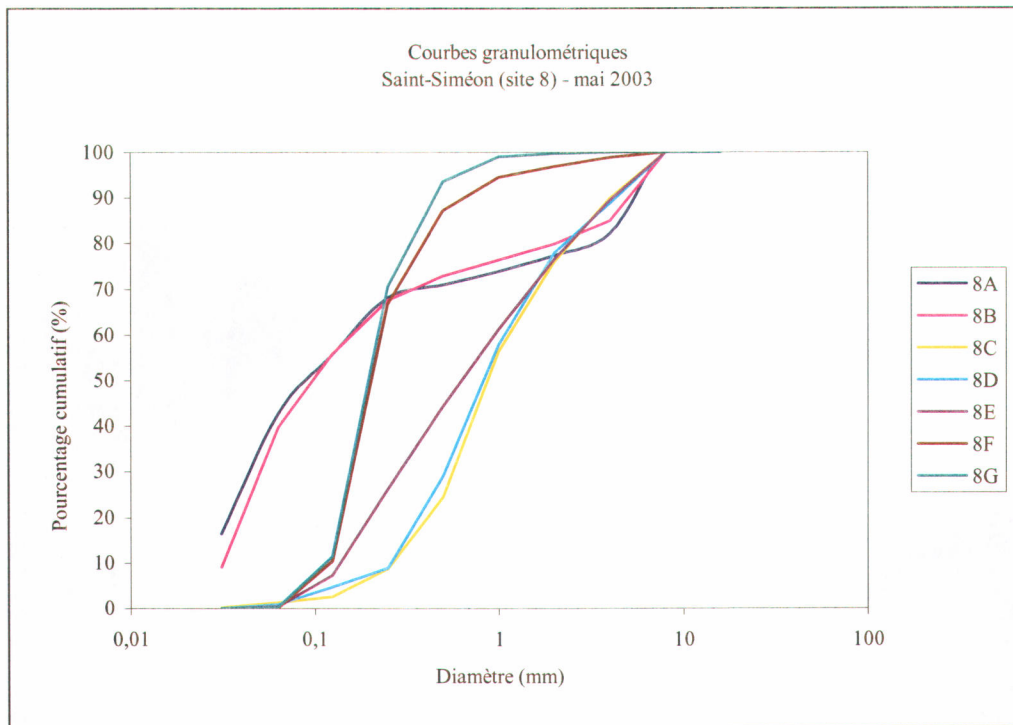


Figure 7. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Saint-Siméon (site 8) – mai 2003.

Tableau 3. Résultats des analyses granulométrique en laboratoire pour tous les sites – mai 2004.

No	25,0 mm	16,0 mm	8,0 mm	4,0 mm	2,0 mm	1,0 mm	500 mm	250 mm	125 mm	63 mm	(-) 63 mm
BA1	100,00	100,00	100,00	90,35	70,68	38,95	31,70	30,20	16,77	0,04	0,01
BA2	100,00	100,00	100,00	100,00	99,94	99,44	98,82	93,22	48,77	0,13	0,00
BA3	100,00	100,00	100,00	98,28	84,82	58,75	53,74	51,21	28,00	0,06	0,01
BA4	100,00	100,00	100,00	100,00	98,08	88,07	82,52	81,14	43,24	0,13	0,01
BA5	100,00	100,00	100,00	96,06	78,02	19,68	7,18	3,62	0,81	0,00	0,00
BA6	100,00	100,00	100,00	99,29	89,72	17,74	1,06	0,43	0,15	0,00	0,00
BA7	100,00	100,00	100,00	99,58	97,14	57,64	5,16	2,16	0,62	0,00	0,00
BA8	100,00	100,00	100,00	98,63	94,73	69,73	42,04	31,22	13,15	0,03	0,00
BA9	100,00	100,00	100,00	98,05	40,14	0,12	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00
BA10	100,00	100,00	100,00	100,00	91,01	26,46	0,80	0,32	0,11	0,00	0,00
BA11	100,00	100,00	100,00	94,53	74,20	36,59	21,73	15,48	5,38	0,01	0,00
BA12	100,00	100,00	100,00	100,00	96,31	80,95	72,69	48,15	5,57	0,05	0,01
BA13	100,00	100,00	100,00	100,00	99,21	60,84	25,77	15,30	1,29	0,00	0,00
BA14	100,00	100,00	100,00	98,16	98,01	94,57	80,60	50,84	6,14	0,04	0,00
BA15	100,00	100,00	98,17	96,72	93,62	81,27	72,24	51,45	9,77	0,08	0,01
PC1	100,00	100,00	100,00	81,94	36,91	1,53	0,57	0,55	0,13	0,01	0,01
PC2	100,00	100,00	100,00	77,57	29,46	2,32	0,14	0,10	0,03	0,00	0,00
PC3	100,00	100,00	100,00	98,92	84,72	72,41	30,96	6,14	0,70	0,02	0,01
PC4	100,00	100,00	81,87	46,98	4,25	0,19	0,12	0,10	0,03	0,00	0,00
PC13	100,00	100,00	100,00	92,79	77,16	58,86	46,25	41,01	12,68	0,11	0,02
PC15	100,00	100,00	84,31	63,61	47,77	41,54	37,71	30,41	3,76	0,06	0,02
PC17	100,00	100,00	87,55	70,12	64,93	55,85	50,23	46,52	13,33	0,09	0,01
PC19	100,00	100,00	75,27	42,03	33,23	26,87	24,59	22,35	4,55	0,07	0,01
PC20	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,95	99,88	96,90	15,76	0,05	0,01
PC21	100,00	100,00	100,00	98,21	98,06	98,04	98,00	97,13	12,08	0,05	0,01
PC22	100,00	100,00	100,00	100,00	99,70	99,38	98,86	96,73	17,86	0,08	0,01
PC23	100,00	100,00	100,00	98,62	98,62	98,62	98,62	98,45	24,65	0,04	0,01
AB1	100,00	100,00	100,00	94,76	86,10	77,38	72,08	67,77	13,26	0,08	0,00
AB3	100,00	100,00	100,00	94,28	87,14	80,00	76,39	74,92	19,03	0,03	0,01
AB5	100,00	100,00	94,43	89,56	84,68	75,48	68,62	58,55	9,12	0,08	0,02
AB7	100,00	100,00	97,57	83,44	53,00	30,22	16,95	12,54	2,51	0,01	0,00
AB9	100,00	100,00	100,00	100,00	98,52	95,22	91,72	84,31	10,98	0,07	0,01
AB11	100,00	100,00	96,20	81,58	64,44	56,79	54,56	53,10	10,44	0,03	0,00
AB13	100,00	100,00	100,00	95,34	92,74	83,16	54,24	15,68	1,67	0,02	0,01
AB15	100,00	100,00	100,00	92,37	62,10	32,13	12,96	9,54	1,64	0,01	0,01
AB20	100,00	100,00	100,00	99,51	97,87	95,29	91,15	77,19	13,58	0,02	0,00
AB23	100,00	100,00	100,00	100,00	98,53	87,47	83,86	81,91	15,96	0,03	0,01
AB24	100,00	100,00	100,00	99,60	94,98	89,95	84,48	78,68	16,61	0,05	0,01
AB27	100,00	100,00	100,00	98,36	93,27	89,53	87,50	83,44	16,56	0,06	0,00
AB19	100,00	85,69	37,86	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
AB21	100,00	100,00	84,74	51,82	45,24	39,22	30,10	21,80	2,12	0,01	0,00
AB25	100,00	100,00	95,73	63,70	46,29	42,75	38,84	30,13	2,78	0,03	0,00
AB28	100,00	100,00	100,00	97,67	96,59	94,79	74,38	54,15	6,26	0,03	0,01
AB18	100,00	100,00	100,00	88,72	71,50	55,67	36,14	19,68	1,21	0,29	0,11
AB22	100,00	80,01	64,73	64,73	64,55	64,37	63,40	52,84	2,65	0,02	0,00

No	25,0 mm	16,0 mm	8,0 mm	4,0 mm	2,0 mm	1,0 mm	500 mm	250 mm	125 mm	63 mm	(-) 63 mm
AB26	100,00	86,33	73,79	56,18	44,99	44,26	43,03	34,06	1,70	0,00	0,00
BOP1	100,00	100,00	100,00	99,37	97,56	95,42	93,70	92,32	70,62	0,45	0,03
BOP3	100,00	100,00	86,35	82,64	74,89	69,47	66,48	64,27	46,95	0,35	0,04
BOP5	100,00	100,00	100,00	99,68	99,60	99,13	98,62	98,15	85,88	1,02	0,13
BOP7	100,00	100,00	100,00	97,43	94,69	91,09	88,70	86,90	70,75	1,04	0,11
BOP9	100,00	100,00	92,12	81,88	68,04	43,64	31,49	27,87	7,01	0,02	0,00
BOP10	100,00	80,75	74,63	60,19	50,65	43,22	39,64	38,09	17,72	0,04	0,00
BOP11	100,00	100,00	100,00	98,47	88,45	69,86	65,72	63,13	32,08	0,07	0,02
BOP12	100,00	100,00	95,56	93,43	90,39	87,41	85,74	84,94	49,31	0,17	0,03
BOP13	100,00	100,00	100,00	99,25	97,47	96,29	95,72	95,34	68,15	0,29	0,02
BOP14	100,00	100,00	100,00	100,00	98,48	95,91	94,37	93,20	68,03	1,74	0,32
BOP15	100,00	100,00	100,00	95,96	92,89	91,44	89,35	86,00	56,06	0,67	0,11
BOP16	100,00	100,00	88,34	64,32	52,38	45,74	28,14	12,55	2,93	0,06	0,02
BOP17	100,00	100,00	82,94	68,75	54,31	44,86	33,75	23,71	4,49	0,09	0,03
BOP18	100,00	83,58	66,30	57,23	49,20	43,66	39,63	33,90	5,40	0,06	0,01
BOP19	100,00	100,00	91,56	89,09	76,65	61,29	51,36	37,17	7,57	0,06	0,02
BA2-1	100,00	100,00	97,04	95,94	91,77	58,72	17,23	8,32	2,94	1,44	0,06
BA2-2	100,00	88,98	86,92	82,76	71,11	51,53	40,05	31,37	9,04	1,25	0,05
BA2-3	100,00	100,00	100,00	99,02	97,12	75,18	45,04	18,63	4,39	0,66	0,02
BA2-4	100,00	100,00	100,00	98,86	89,68	61,28	14,17	2,04	0,20	0,04	0,01
BA2-13	100,00	100,00	100,00	95,90	82,69	55,85	13,29	5,86	0,15	0,02	0,00
BA2-15	100,00	100,00	100,00	96,21	93,17	52,64	15,84	6,15	0,35	0,03	0,00
BA2-17	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,91	92,95	24,82	0,60	0,03	0,00
BA2-19	100,00	100,00	100,00	99,21	94,94	64,52	7,66	1,58	0,01	0,00	0,00
BA2-20	100,00	100,00	100,00	99,28	93,48	44,52	10,30	3,45	0,07	0,01	0,00
BA2-21	100,00	100,00	100,00	100,00	97,88	92,67	67,30	16,91	0,29	0,02	0,00
BA2-22	100,00	100,00	100,00	95,71	81,40	62,51	21,70	4,01	0,08	0,00	0,00
BA2-23	100,00	100,00	92,39	78,05	73,72	56,11	32,47	11,89	0,39	0,03	0,00
BO1	100,00	100,00	84,05	61,77	59,88	58,57	56,81	41,43	2,88	0,05	0,01
BO2	100,00	100,00	100,00	98,05	97,57	97,25	97,13	94,10	14,97	0,12	0,03
BO3	100,00	100,00	100,00	100,00	99,67	99,55	99,51	98,54	41,99	0,47	0,02
BO13	100,00	87,25	46,28	27,63	22,38	20,34	19,06	15,83	1,49	0,03	0,01
BO15	100,00	100,00	100,00	91,78	90,65	90,56	90,28	84,76	12,64	0,13	0,04
BO17	100,00	100,00	85,77	78,43	78,09	77,81	77,51	69,63	8,96	0,06	0,02
BO19	100,00	100,00	85,52	71,23	68,80	68,47	68,17	60,72	4,63	0,06	0,02
BO20	100,00	61,41	45,33	31,98	25,77	22,16	18,55	10,76	0,45	0,02	0,00
BO21	100,00	77,00	54,04	28,18	21,95	19,97	18,93	15,44	1,50	0,03	0,01
BO22	100,00	65,75	33,16	18,01	15,89	13,60	10,90	6,90	0,40	0,01	0,00
BO23	100,00	92,98	76,92	51,07	34,13	30,69	29,35	24,71	1,63	0,03	0,00
AB2-1	100,00	100,00	93,57	85,25	67,51	47,06	34,64	22,50	2,74	0,29	0,04
AB2-2	100,00	100,00	100,00	98,44	94,29	78,73	64,50	41,09	1,87	0,09	0,03
AB2-3	100,00	100,00	100,00	93,67	89,32	71,69	6,20	0,04	0,01	0,00	0,00
AB2-4	100,00	100,00	100,00	98,88	94,92	46,17	0,27	0,03	0,01	0,00	0,00
AB2-14	100,00	100,00	100,00	87,23	85,45	82,98	47,91	14,28	0,33	0,01	0,00
AB2-15	100,00	100,00	100,00	100,00	96,82	92,69	89,41	71,39	4,20	0,19	0,03
AB2-16	100,00	100,00	100,00	98,59	96,55	79,25	60,90	45,79	2,78	0,16	0,02
AB2-17	100,00	100,00	100,00	100,00	99,18	98,46	95,29	68,26	2,51	0,13	0,03
AB2-18	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,80	85,24	75,01	17,14	0,23	0,03

No	25,0 mm	16,0 mm	8,0 mm	4,0 mm	2,0 mm	1,0 mm	500 mm	250 mm	125 mm	63 mm	(-) 63 mm
AB2-19	100,00	100,00	97,77	85,29	68,60	46,91	40,52	37,57	2,92	0,10	0,01
AB2-20	100,00	100,00	96,17	87,52	71,57	46,74	39,82	16,79	1,03	0,19	0,04
AB2-21	100,00	100,00	80,75	65,61	60,80	55,40	51,45	46,88	1,46	0,07	0,01
AB2-22	100,00	100,00	100,00	94,62	81,56	71,74	10,85	0,08	0,01	0,00	0,00
AB2-23	100,00	100,00	100,00	100,00	96,87	78,01	15,39	0,08	0,01	0,00	0,00
AB2-24	100,00	100,00	100,00	100,00	98,84	92,39	13,51	0,53	0,02	0,00	0,00
AB2-25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	94,03	9,57	0,09	0,01
AB2-26	100,00	100,00	100,00	100,00	99,89	99,22	85,99	31,29	0,86	0,04	0,01
AB2-27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

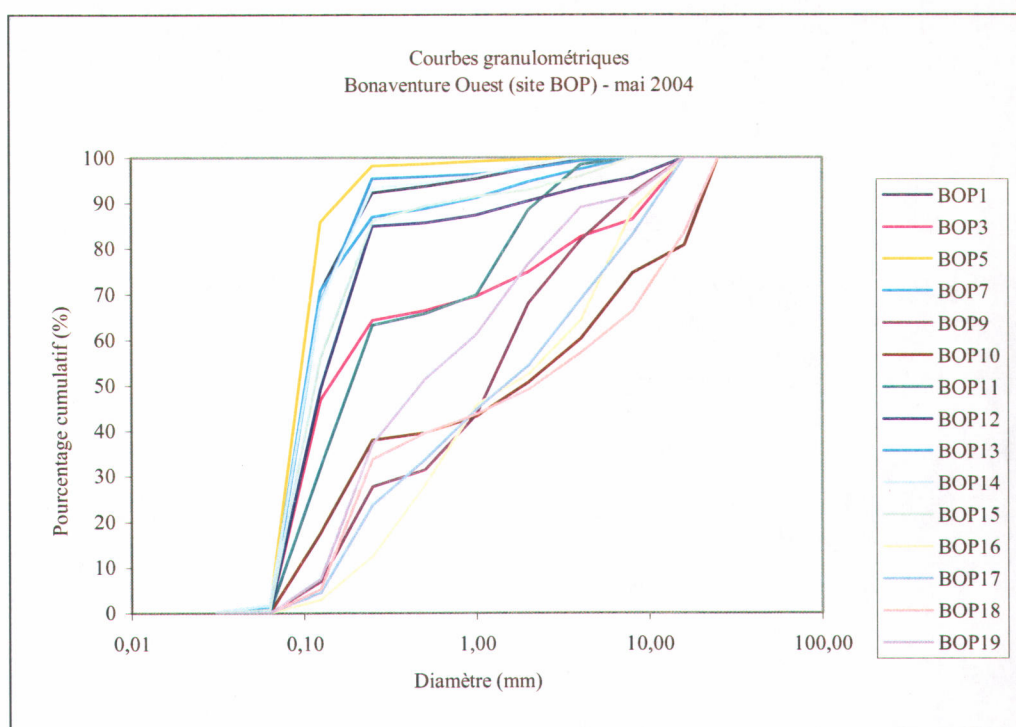


Figure 8. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Bonaventure Ouest (site BOP) – mai 2004.

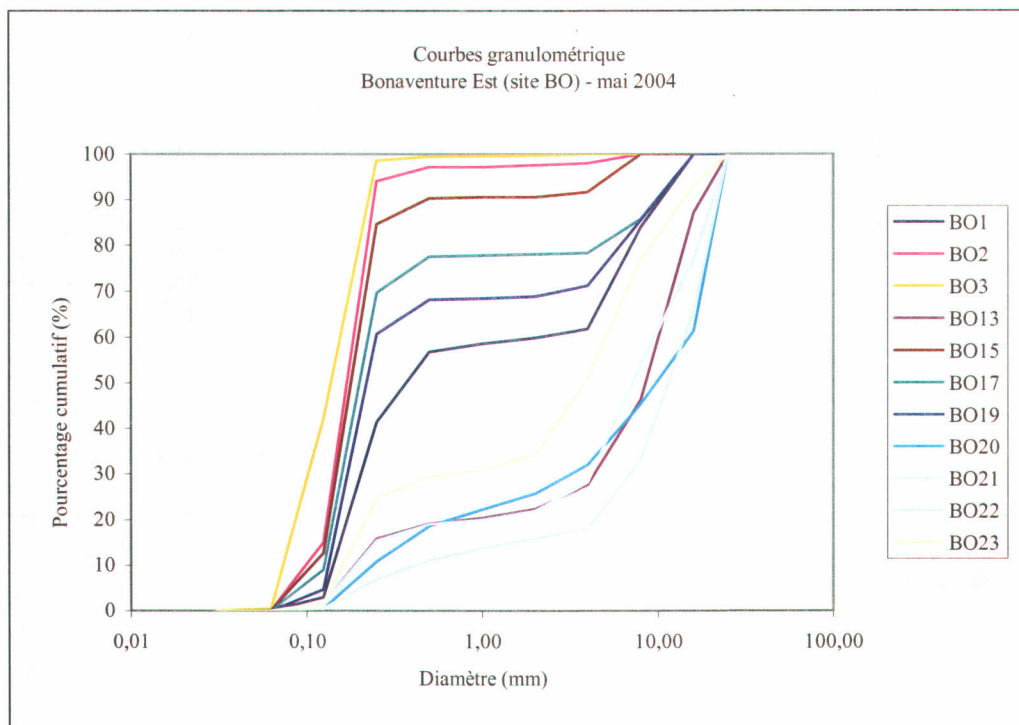


Figure 9. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Bonaventure Est (site BO) – mai 2004.

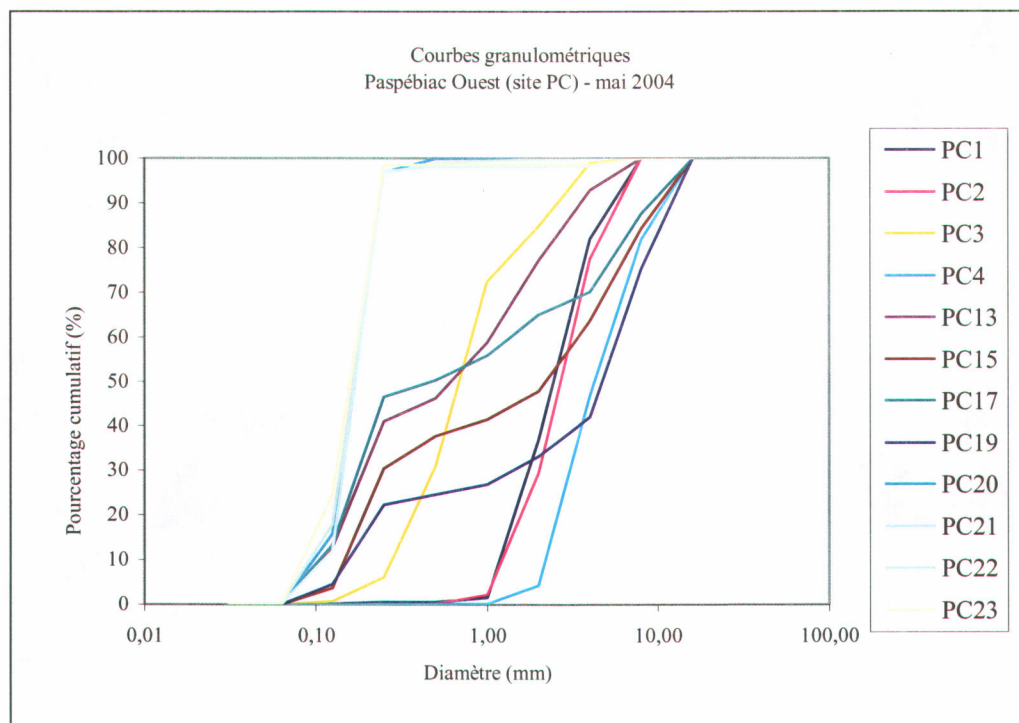


Figure 10. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Paspébiac Ouest (site PC) – mai 2004.

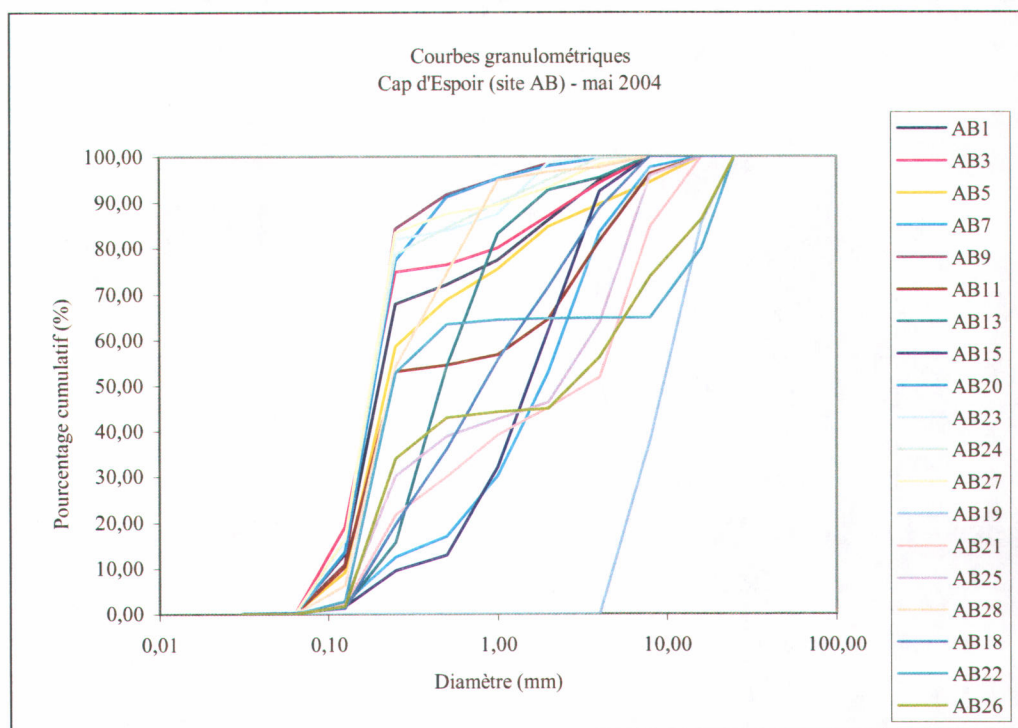


Figure 11. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Cap d'Espoir (site AB) – mai 2004.

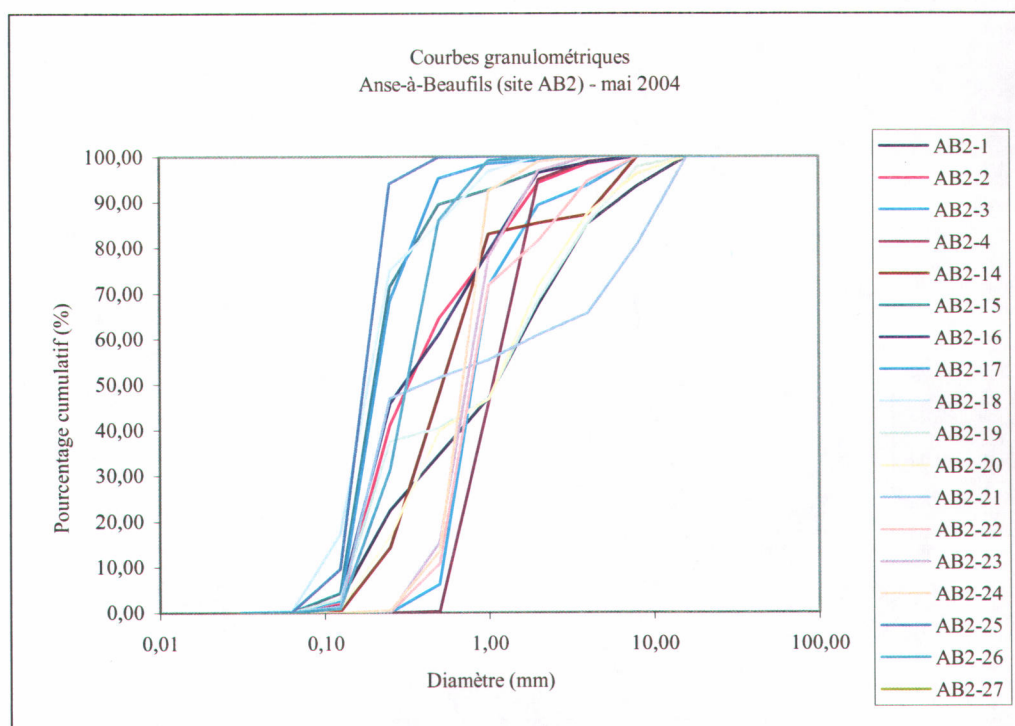


Figure 12. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de l'Anse-à-Beaufils (site AB2) – mai 2004.

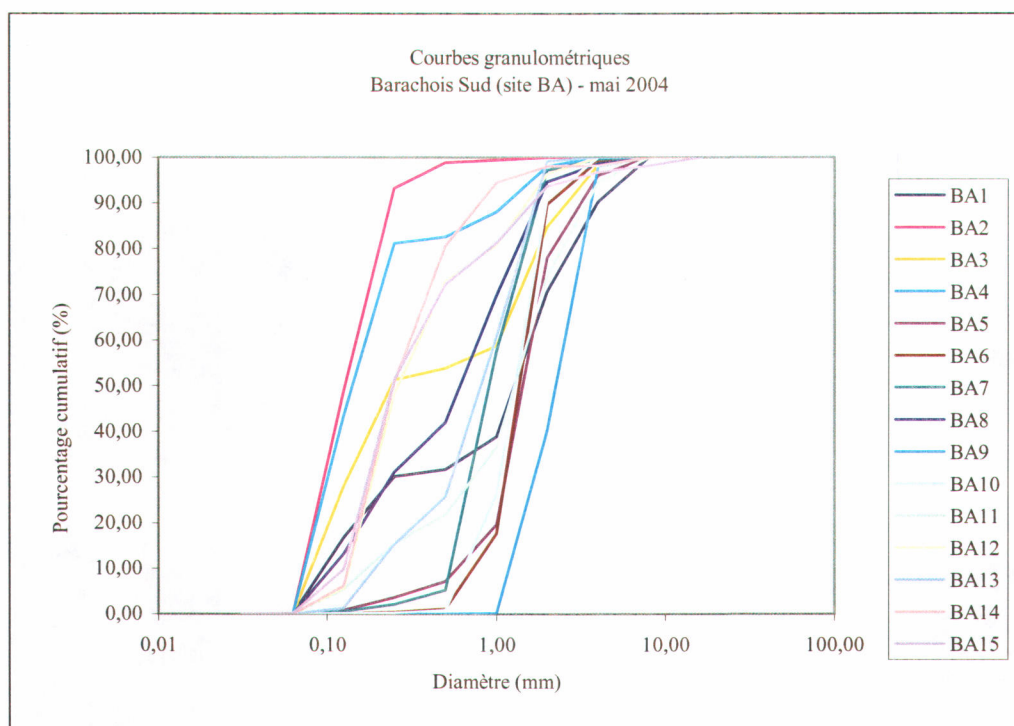


Figure 13. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Barachois Sud (site BA) – mai 2004.

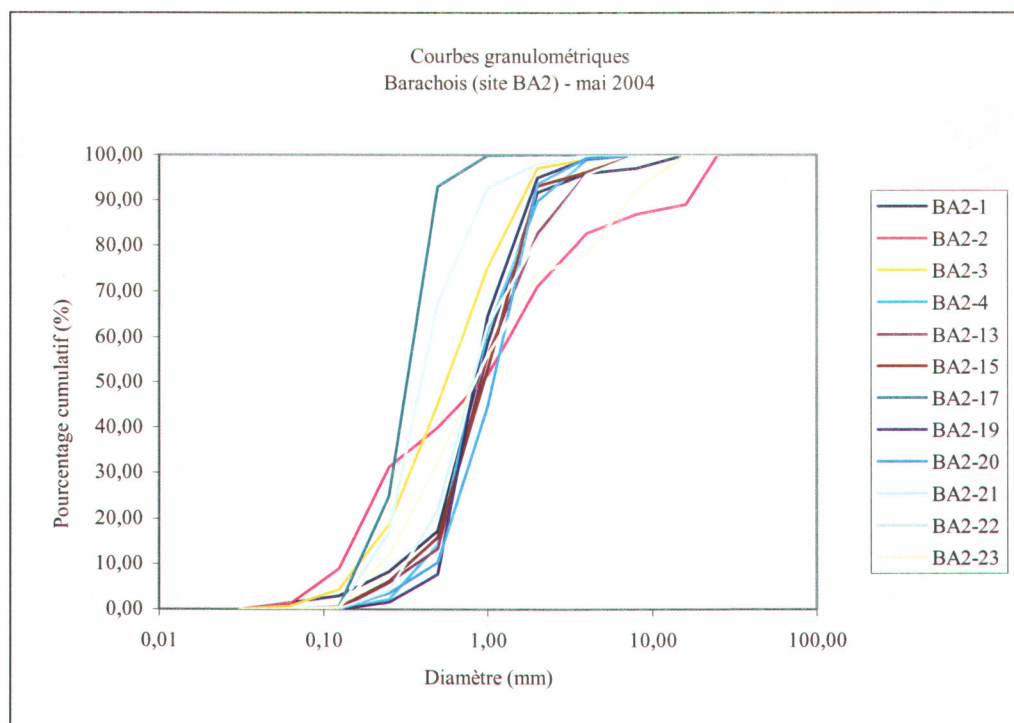


Figure 14. Courbes granulométriques des échantillons prélevés sur le site de Barachois Nord (site BA) – mai 2004.

Tableau 4. Modes granulométriques à partir des données granulométriques et des données scanographiques pour tous les sites – mai 2003.

À partir des données scanographiques					À partir des données granulométrique									
Population 1 Population 2					Population 1				Population 2			Population 3		
No	HU	%	HU	%	No	diamètre (mm)	phi	%	diamètre (mm)	%	phi	diamètre (mm)	%	phi
1 population					1 population									
1-A	1300	100			1-A	2	-1,00	100						
1-B	1850	100			1-B	2	-1,00	100						
1-D	1300	100			1-D	1	0,00	100						
1-E	900	100			1-E	0,8	0,32	100						
1-F	900	100			1-F	0,8	0,32	100						
1-G	1000	100			1-G	1,2	-0,26	100						
2-B	1400	100			2-B	2,8	-1,49	100						
2-C	1200	100			2-G	1	0,00	100						
2-D	1350	100			3-A	3	-1,58	100						
2-F	950	100			3-E	0,275	1,86	100						
2-G	900	100			3-G	0,35	1,51	100						
3-A	1250	100			5-B	0,18	2,47	100						
3-B	1000	100			5-C	0,2	2,32	100						
3-D	650	100			5-D	0,275	1,86	100						
3-E	900	100			5-E	0,2	2,32	100						
3-F	1050	100			5-F	0,175	2,51	100						
3-G	850	100			5-G	0,23	2,12	100						
5-A	1150	100			6-B	0,15	2,74	100						
5-B	1200	100			6-C	0,2	2,32	100						
5-C	1150	100			6-E	3	-1,58	100						
5-D	1150	100			7-A	0,25	2,00	100						
5-E	1150	100			7-B	0,25	2,00	100						
5-F	1150	100			7-C	0,25	2,00	100						
5-G	1200	100			7-D	0,25	2,00	100						
6-B	1150	100			7-F	0,25	2,00	100						
6-C	1150	100			8-C	0,9	0,15	100						
6-E	900	100			8-D	0,9	0,15	100						
6-G	700	100			8-E	0,4	1,32	100						
7-A	1250	100			8-F	0,25	2,00	100						
7-C	1200	100			8-G	0,25	2,00	100						
7-D	1250	100			2 populations									
7-F	850	100			1-C	1,4	-0,49	92	7	8	-3,00			
8-A	1000	100			2-A	0,3	1,74	44	8	56	-5,81			
8-B	140	100			2-D	0,2	2,32	62	2	38	-5,25			
8-C	1150	100			2-E	7,5	-2,91	76	16	24	-4,58			
8-D	1275	100			3-B	0,5	1,00	46	4	54	-5,75			
8-E	1350	100			3-C	0,25	2,00	30	3,5	70	-6,13			
8-F	950	100			3-F	0,3	1,74	26	2	74	-6,21			
8-G	950	100			5-A	0,15	2,74	84	16	16	-4,00			

À partir des données scanographiques					À partir des données granulométrique									
No	Population 1		Population 2		No	Population 1			Population 2			Population 3		
	HU	%	HU	%		diamètre (mm)	phi	%	diamètre (mm)	%	phi	diamètre (mm)	%	phi
8-F	950	100			3-F	0,3	1,74	26	2	74	-6,21			
8-G	950	100			5-A	0,15	2,74	84	16	16	-4,00			
2 populations					6-F	0,2	2,32	78	16	22	-4,46			
1-C	900	80	1950	20	6-G	0,2	2,32	96	16	4	-2,00			
2-A	1200	45	1900	55	7-E	0,25	2,00	45	10	55	-5,78			
2-E	675	75	1950	25	7-G	0,4	1,32	30	10	60	-5,91			
3-C	900	80	1900	20	8-A	0,2	2,32	70	6	30	-4,91			
6-F	650	85	2350	15	8-B	0,2	2,32	70	6	30	-4,91			
7-B	1250	87	1875	13	3 populations									
7-E	1200	50	1750	50	2-C	0,25	2,0	32	1,4	58	-5,86	25	10	-3,32
7-G	950	65	2300	35	2-F	0,25	2,0	34	1,4	56	-5,81	16	10	-3,32
					3-D	0,275	1,9	32	2,8	54	-5,75	7	14	-3,81

Tableau 5. Modes granulométriques à partir des données granulométriques et des données scanographiques pour tous les sites – mai 2004.

À partir des données scanographiques					À partir des données granulométriques											
Population 1					Population 1				Population 2			Population 3				
No	HU	%	HU	%	No	diamètre (mm)	phi	%	diamètre (mm)	phi	%	diamètre (mm)	phi	%		
1 population					1 population											
BA-2	400	100			BA-2	0,125	3,00	100								
BA-3	300	100			BA-5	1,5	-0,58	100								
BA-4	450	100			BA-6	1,5	-0,58	100								
BA-5	800	100			BA-7	1	0,00	100								
BA-6	1000	100			BA-9	3	-1,58	100								
BA-7	800	100			BA-10	1,5	-0,58	100								
BA-9	1900	100			BA-13	1	0,00	100								
BA-10	1000	100			BA-14	0,175	2,51	100								
BA-11	750	100			BA2-1	1	0,00	100								
BA-12	700	100			BA2-3	0,7	0,51	100								
BA-13	700	100			BA2-4	1,5	-0,58	100								
BA-14	650	100			BA2-13	1,5	-0,58	100								
BA-15	650	100			BA2-15	1,5	-0,58	100								
BA2-1	700	100			BA2-17	0,35	1,51	100								
BA2-2	700	100			BA2-19	1,25	-0,32	100								
BA2-3	1000	100			BA2-20	1,5	-0,58	100								
BA2-4	950	100			BA2-21	0,35	1,51	100								
BA2-15	700	100			BA2-22	0,7	0,51	100								
BA2-17	500	100			AB-9	0,175	2,51	100								
BA2-19	700	100			AB-13	0,75	0,42	100								
BA2-20	700	100			AB-18	1	0,00	100								
BA2-21	600	100			AB-19	16	-4,00	100								
BA2-22	750	100			AB-20	0,2	2,32	100								
AB-5	700	100			AB-24	0,2	2,32	100								
AB-7	700	100			AB-28	0,2	2,32	100								
AB-9	600	100			AB2-2	0,3	1,74	100								
AB-13	650	100			AB2-3	1	0,00	100								
AB-15	1200	100			AB2-4	1,5	-0,58	100								
AB-18	600	100			AB2-15	0,3	1,74	100								
AB-19	2050	100			AB2-16	0,4	1,32	100								
AB-20	400	100			AB2-17	0,3	1,74	100								
AB-23	450	100			AB2-18	0,2	2,32	100								
AB-24	450	100			AB2-22	1	0,00	100								
AB-27	350	100			AB2-23	1	0,00	100								
AB2-2	450	100			AB2-24	1	0,00	100								
AB2-3	750	100			AB2-25	0,25	2,00	100								
AB2-4	800	100			AB2-26	0,5	1,00	100								
AB2-15	700	100			BO-2	0,2	2,32	100								
AB2-16	400	100			BO-3	0,2	2,32	100								
AB2-17	400	100			BOP-1	0,1	3,32	100								

À partir des données scanographiques					À partir des données granulométriques									
Population 1		Population 2			Population 1				Population 2			Population 3		
No	HU	%	HU	%	No	diamètre (mm)	phi	%	diamètre (mm)	phi	%	diamètre (mm)	phi	%
1 population					1 population									
AB2-18	450	100			BOP-5	0,125	3,00	100						
AB2-23	530	100			BOP-7	0,15	2,74	100						
AB2-24	500	100			BOP-12	0,15	2,74	100						
AB2-25	350	100			BOP-13	0,2	2,32	100						
AB2-26	700	100			BOP-14	0,2	2,32	100						
BO-2	500	100			BOP-15	0,2	2,32	100						
BO-3	800	100			BOP-19	0,3	1,74	100						
BOP-1	800	100			PC-1	3	-1,58	100						
BOP-5	950	100			PC-2	3	-1,58	100						
BOP-7	800	100			PC-4	5,5	-2,46	100						
BOP-9	700	100			PC-20	0,2	2,32	100						
BOP-11	650	100			PC-21	0,2	2,32	100						
BOP-12	700	100			PC-22	0,2	2,32	100						
BOP-13	700	100			PC-23	0,2	2,32	100						
BOP-14	750	100			2 populations									
BOP-15	1000	100			BA-1	0,9	0,15	32	1,5	-0,58	69			
PC-1	1800	100			BA-3	0,125	3,00	54	1,5	-0,58	46			
PC-2	1850	100			BA-4	0,125	3,00	82	1,5	-0,58	18			
PC-13	400	100			BA-8	0,175	2,51	37	1,5	-0,58	63			
PC-20	450	100			BA-11	0,175	2,51	18	1,5	-0,58	82			
PC-21	375	100			BA-12	0,175	2,51	76	1,5	-0,58	24			
PC-22	330	100			BA-15	0,175	2,51	76	3	-1,58	24			
PC-23	550	100			BA2-23	0,75	0,42	74	6	-2,58	26			
2 populations					AB-1	0,175	2,51	70	1,5	-0,58	30			
BA-1	450	75	1750	25	AB-3	0,2	2,32	70	3	-1,58	30			
BA-8	700	85	1900	15	AB-5	0,2	2,32	72	8	-3,00	28			
BA2-13	700	85	1800	15	AB-7	0,2	2,32	16	3	-1,58	84			
AB-1	730	90	2050	10	AB-11	0,175	2,51	54	5,5	-2,46	46			
AB-3	600	85	2250	15	AB-15	0,25	2,00	11	3	-1,58	89			
AB-11	400	75	2000	25	AB-21	0,2	2,32	42	6	-2,58	58			
AB-21	600	55	1700	45	AB-22	0,25	2,00	64	11	-3,46	36			
AB-22	600	90	1800	10	AB-23	0,175	2,51	81	1,5	-0,58	19			
AB-25	450	60	1800	30	AB-25	0,2	2,32	41	6	-2,58	59			
AB-26	500	60	1700	30	AB-26	0,2	2,32	34	7	-2,81	66			
AB-28	300	88	2250	12	AB-27	0,2	2,32	88	3	-1,58	12			
AB2-1	700	80	1900	20	AB2-1	0,2	2,32	35	3	-1,58	65			
AB2-14	800	86	2350	14	AB2-14	0,175	2,51	86	7	-2,81	14			
AB2-19	250	75	1850	25	AB2-19	0,25	2,00	40	3	-1,58	60			
AB2-20	350	85	1750	15	AB2-20	0,4	1,32	34	3	-1,58	66			
AB2-21	150	85	2000	15	AB2-21	0,2	2,32	56	10	-3,32	44			
AB2-22	550	85	1950	15	BO-1	0,3	1,74	58	8	-3,00	42			
AB2-27	950	60	1950	40	BO-13	0,2	2,32	20	10,5	-3,39	80			
BO-1	450	75	2000	25	BO-15	0,2	2,32	90	6	-2,58	10			
BO-13	800	50	1500	50	BO-17	0,2	2,32	78	10,5	-3,39	22			
					BO-19	0,2	2,32	68	10	-3,32	32			

À partir des données scanographiques					À partir des données granulométriques									
Population 1		Population 2			Population 1				Population 2			Population 3		
No	HU	%	HU	%	No	diamètre (mm)	phi	%	diamètre (mm)	phi	%	diamètre (mm)	phi	%
2 population					2 population									
BO-15	500	88	2300	12	BO-20	0,2	2,32	24	25	-4,64	76			
BO-17	400	68	1800	32	BO-21	0,25	2,00	20	10	-3,32	80			
BO-19	400	82	2150	18	BO-22	0,25	2,00	16	25	-4,64	84			
BO-20	400	65	1900	35	BO-23	0,2	2,32	32	7	-2,81	68			
BO-21	600	50	1900	50	BOP-9	0,2	2,32	30	1,75	-0,81	70			
BO-22	600	40	2000	60	BOP-11	0,2	2,32	66	2	-1,00	34			
BO-23	600	70	2100	30	BOP-16	0,7	0,51	50	7	-2,81	50			
BOP-3	650	85	2000	15	BOP-17	0,3	1,74	50	16	-4,00	50			
BOP-10	300	67	2100	33	BOP-18	0,25	2,00	70	16	-4,00	30			
BOP-16	550	80	2000	20	PC-3	1	0,00	80	4	-2,00	20			
BOP-17	650	85	1900	15	PC-13	0,2	2,32	44	2	-1,00	56			
BOP-18	500	80	1850	20	PC-15	0,25	2,00	40	7	-2,81	60			
BOP-19	500	85	1900	15	PC-17	0,2	2,32	50	10	-3,32	50			
PC-3	700	90	2000	10	PC-19	0,2	2,32	24	10	-3,32	76			
PC-4	1300	75	2250	25	3 populations									
PC-15	650	65	1950	35	BA2-2	0,175	2,51	36	1,5	-0,58	52	11	-3,46	12
PC-17	250	65	1850	35	BOP-3	0,1	3,32	64	3	-1,58	20	16	-4,00	16
PC-19	600	60	1600	40	BOP-10	0,25	2,00	39	8	-3,00	39	25	-4,64	22

Annexe 4
Scanographie
(fichiers numériques sur CD)

Annexe 5
Intensité LiDAR (ISRL)
(fichiers numériques sur CD)

Annexe 6

Variation latérale

Liste des figures

- Figure 1. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A1).
- Figure 2. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A2).
- Figure 3. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A3).
- Figure 4. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A4).
- Figure 5. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A5).
- Figure 6. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-A1).
- Figure 7. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-A2).
- Figure 8. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-A3).
- Figure 9. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B1).
- Figure 10. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B2).
- Figure 11. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B3).
- Figure 12. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B4).
- Figure 13. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B5).
- Figure 14. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-B1).
- Figure 15. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-B2).
- Figure 16. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-B3).
- Figure 17. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A1).
- Figure 18. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A2).
- Figure 19. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A3).
- Figure 20. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A4).
- Figure 21. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A5).
- Figure 22. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B1).
- Figure 23. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B2).
- Figure 24. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B3).
- Figure 25. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B1).
- Figure 26. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B2).
- Figure 27. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B3).
- Figure 28. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B4).
- Figure 29. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B5).
- Figure 30. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B1).
- Figure 31. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B2).
- Figure 32. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B3).

Liste des tableaux

- Tableau 1. Coordonnées et dimensions des profils de variation latérale à Barachois Sud (survol A) – mai 2004.
- Tableau 2. Coordonnées et dimensions des profils de variation latérale à Paspébiac Ouest (survol A et B) – mai 2004.
- Tableau 3. Variables et coefficients de confiance des équations polynomiales obtenues sur les profils d'ISRL à Barachois Sud et Paspébiac Ouest – mai 2004.

Tableau 1. Coordonnées et dimensions des profils de variation latérale à Barachois Sud (survol A et B) – mai 2004.

profil	Ouest (m)	Nord (m)	Δ ouest (m)	Δ nord (m)
1	320156	5382300	66,71	594,87
2	320163	5382299	65,60	593,76
3	320168	5382296	66,71	594,87
4	320175	5382294	66,71	595,98
5	320179	5382294	67,83	589,31
eau1	320217	5382298	57,57	558,02
eau2	320241	5382294	56,47	552,50
eau3	320267	5382291	57,57	540,32

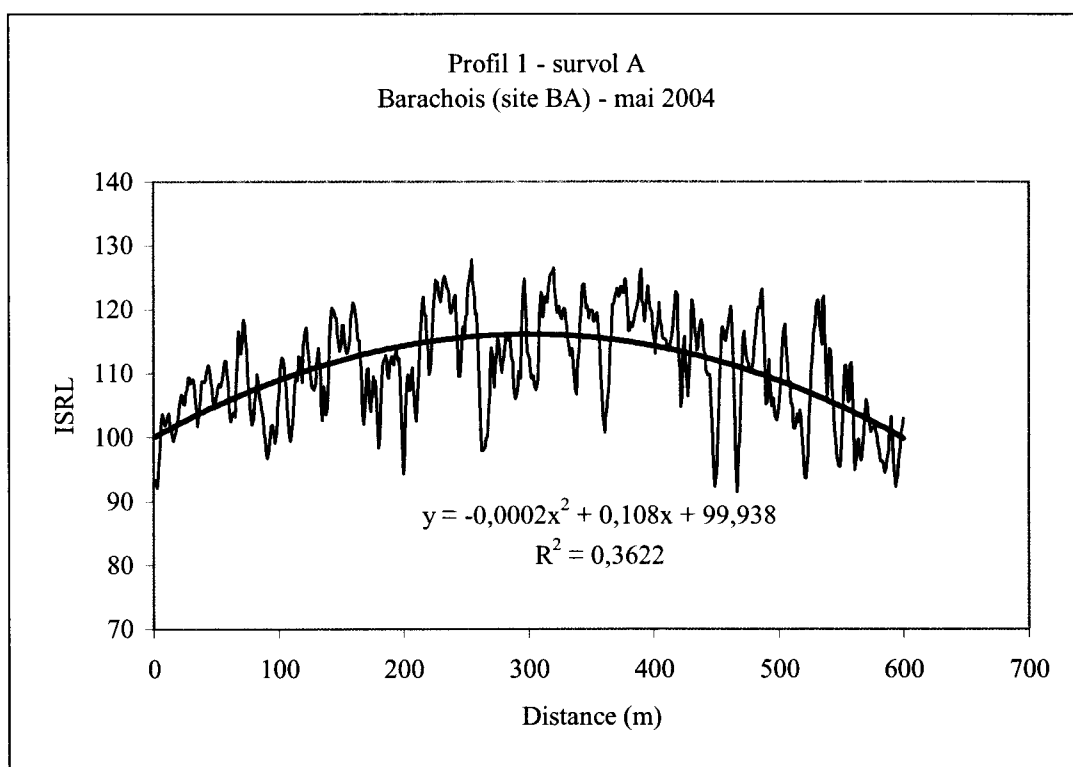


Figure 1. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A1).

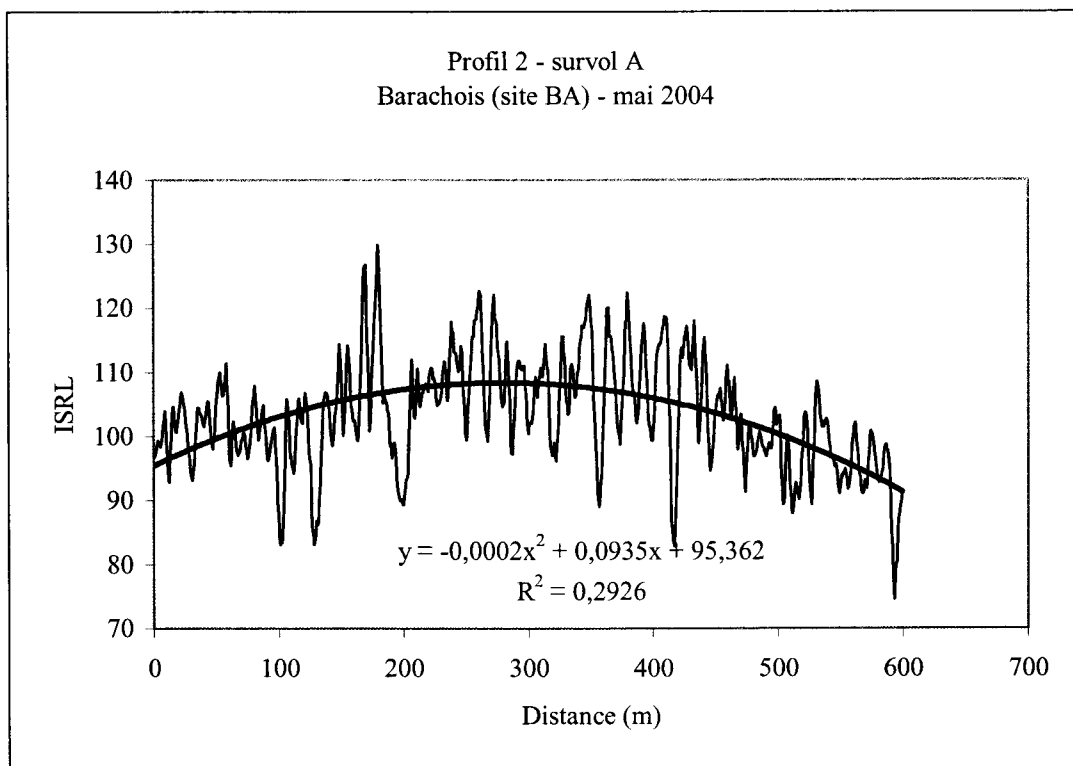


Figure 2. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A2).

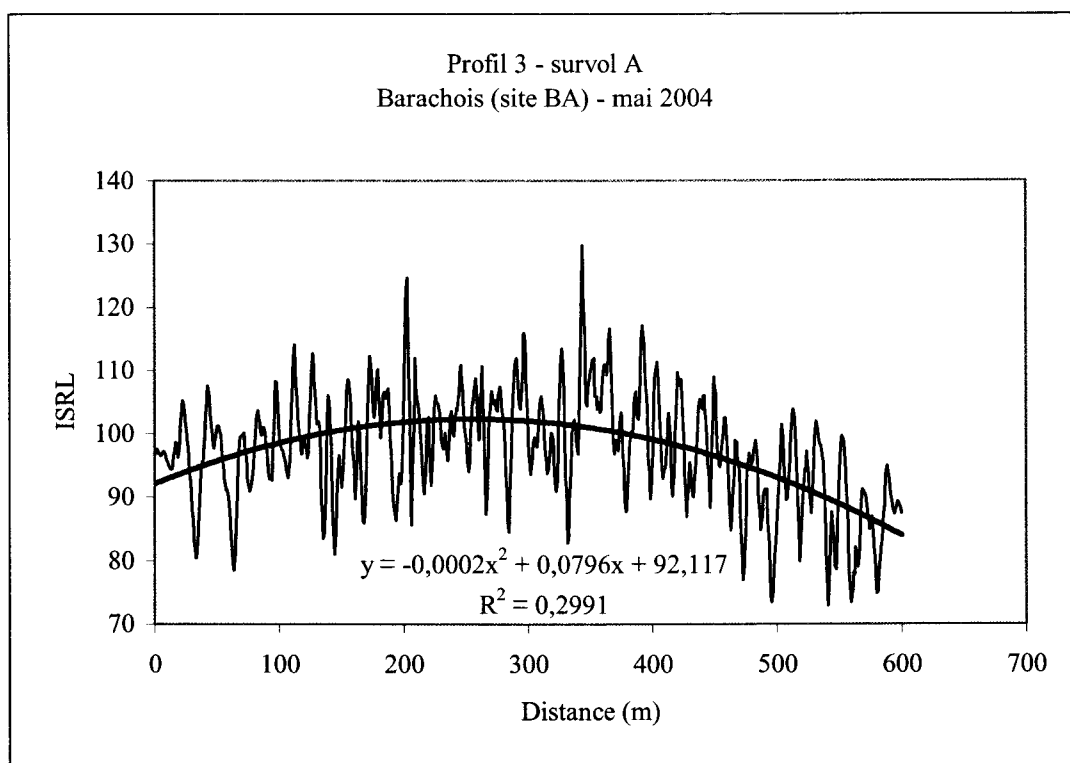


Figure 3. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A3).

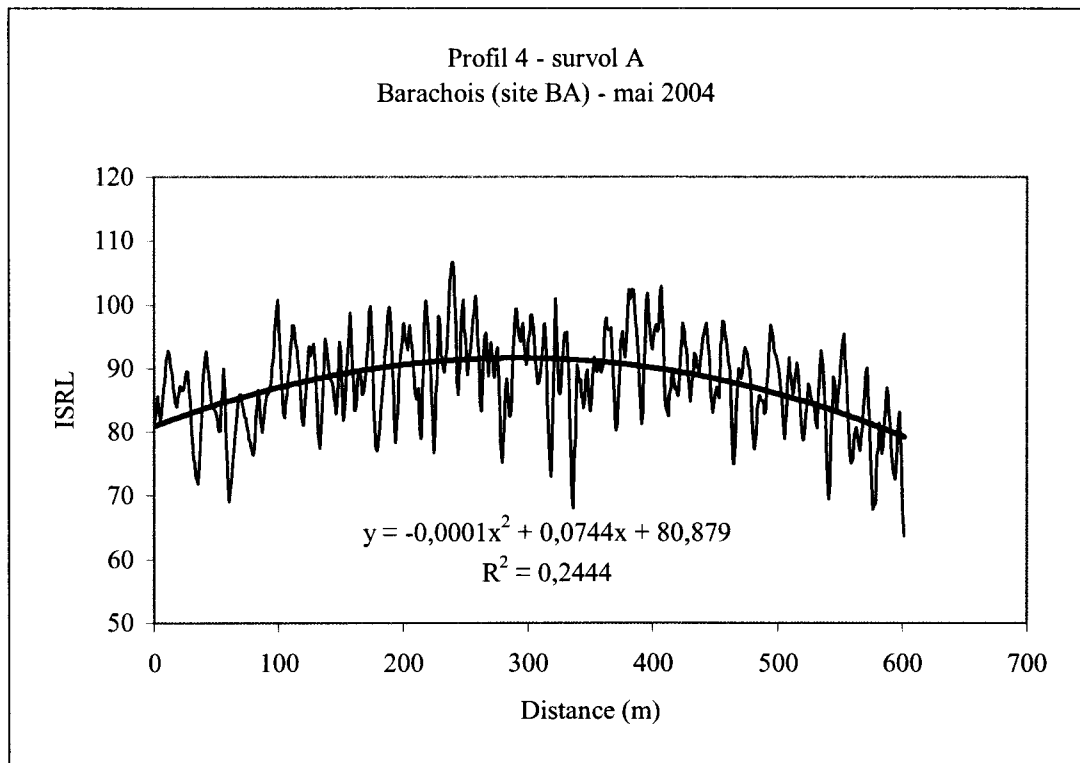


Figure 4. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A4).

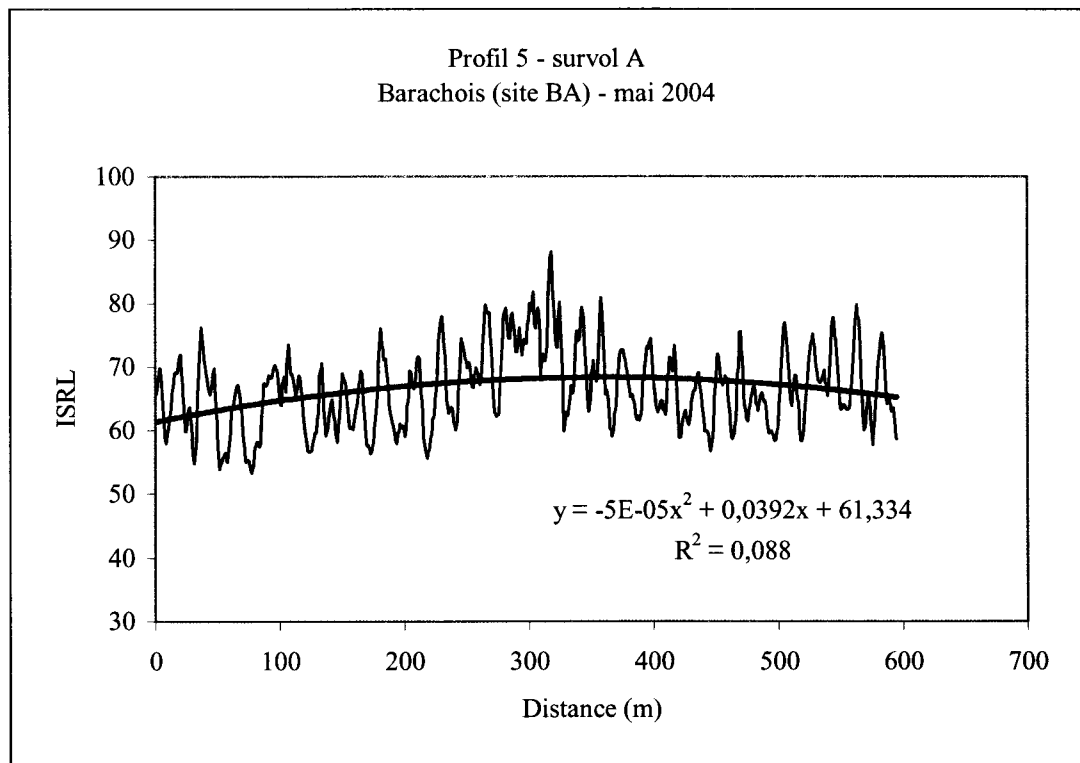


Figure 5. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil A5).

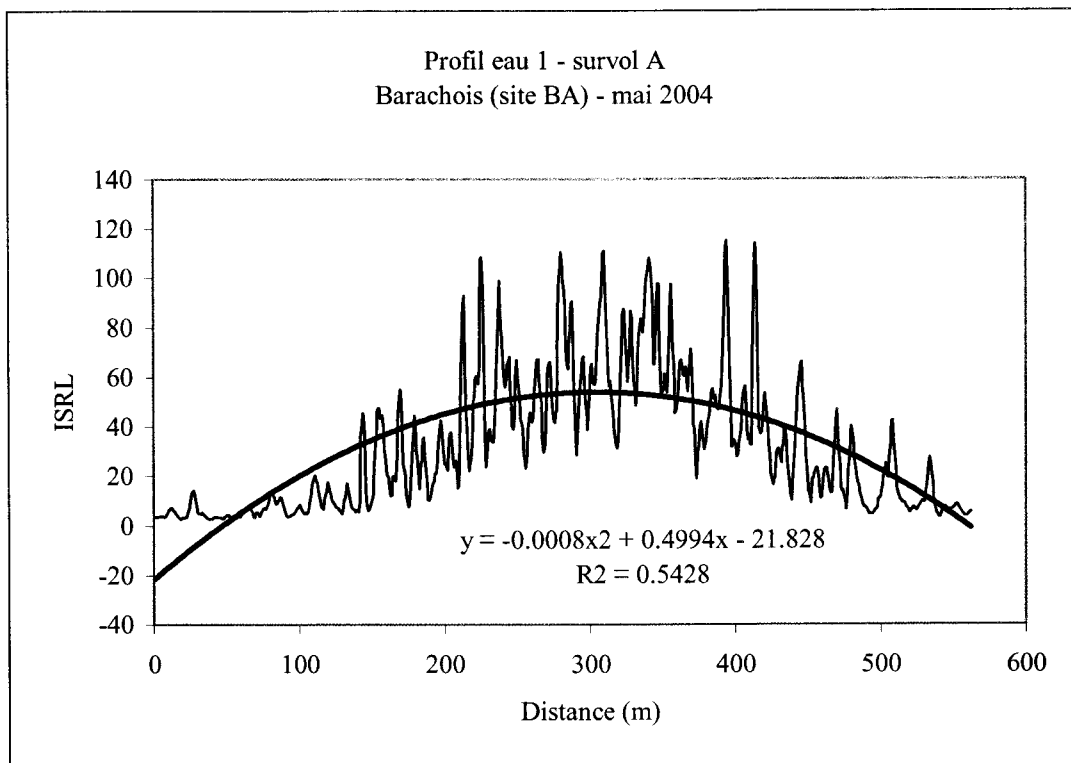


Figure 6. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-A1).

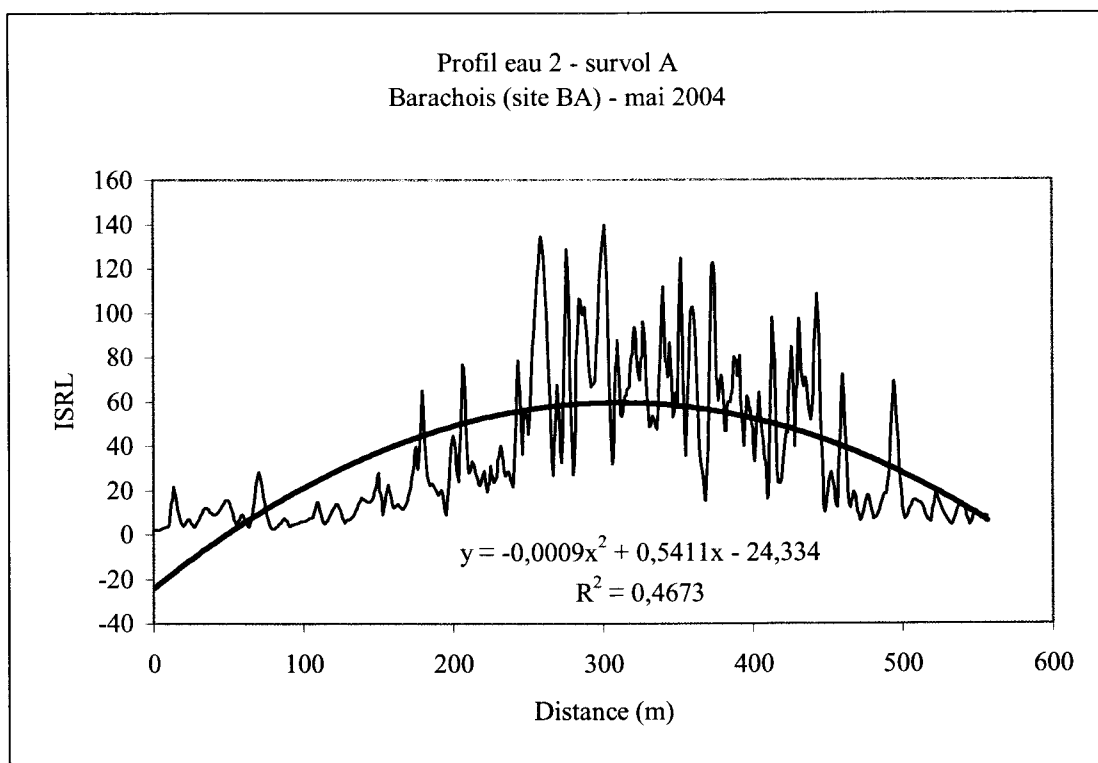


Figure 7. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-A2).

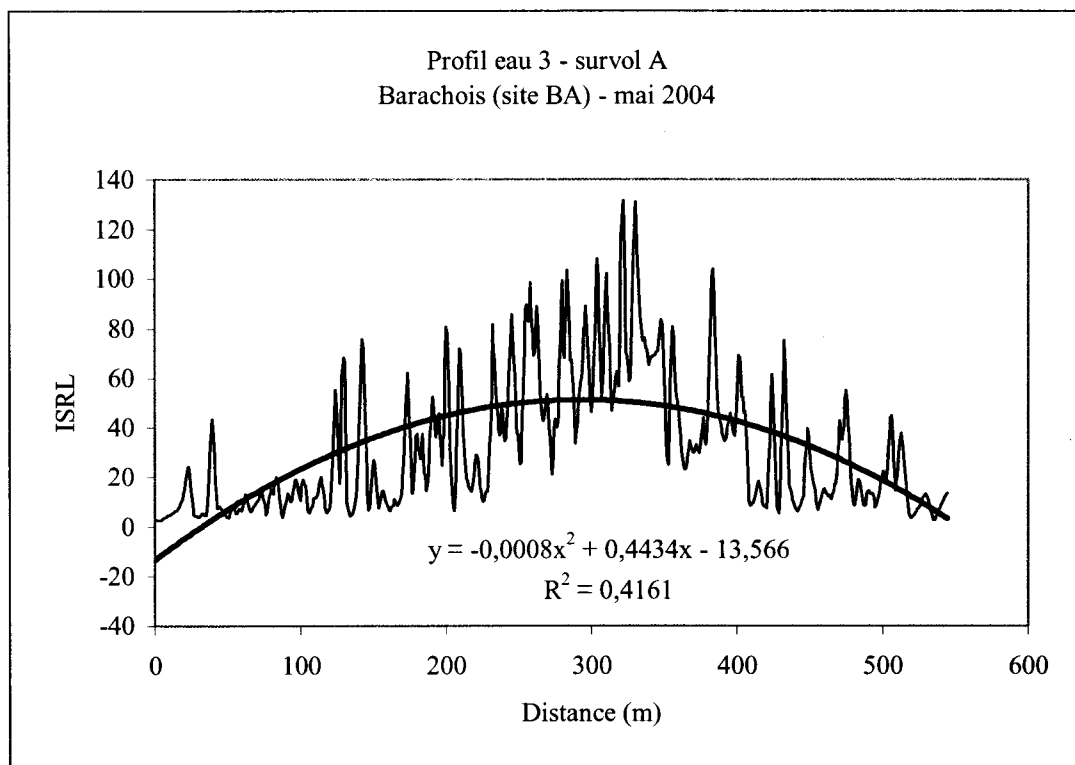


Figure 8. Variation latérale de l'ISRL à Barchois Sud (profil eau-A3).

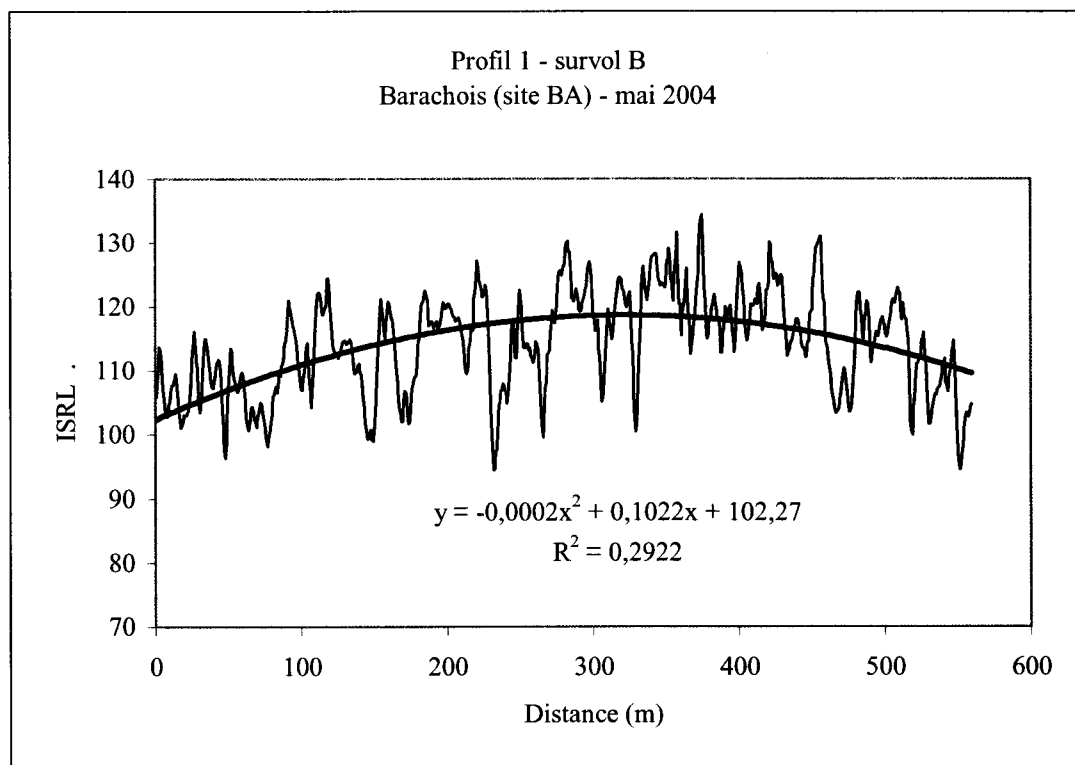


Figure 9. Variation latérale de l'ISRL à Barchois Sud (profil B1).

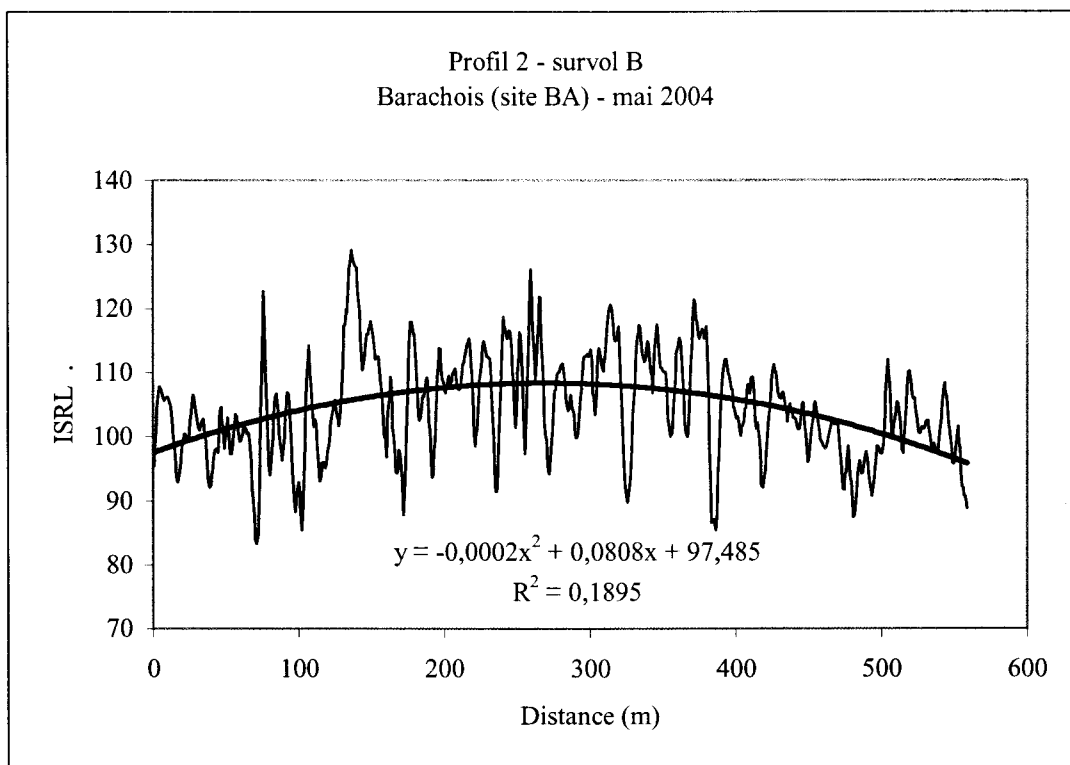


Figure 10. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B2).

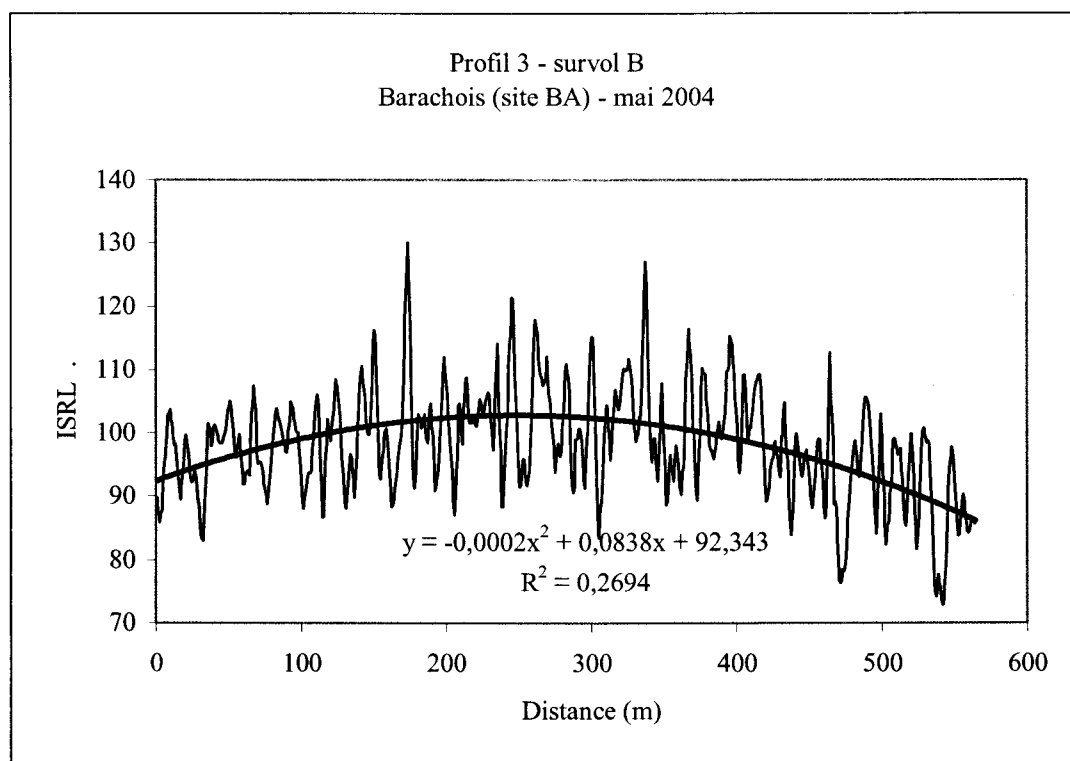


Figure 11. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B3).

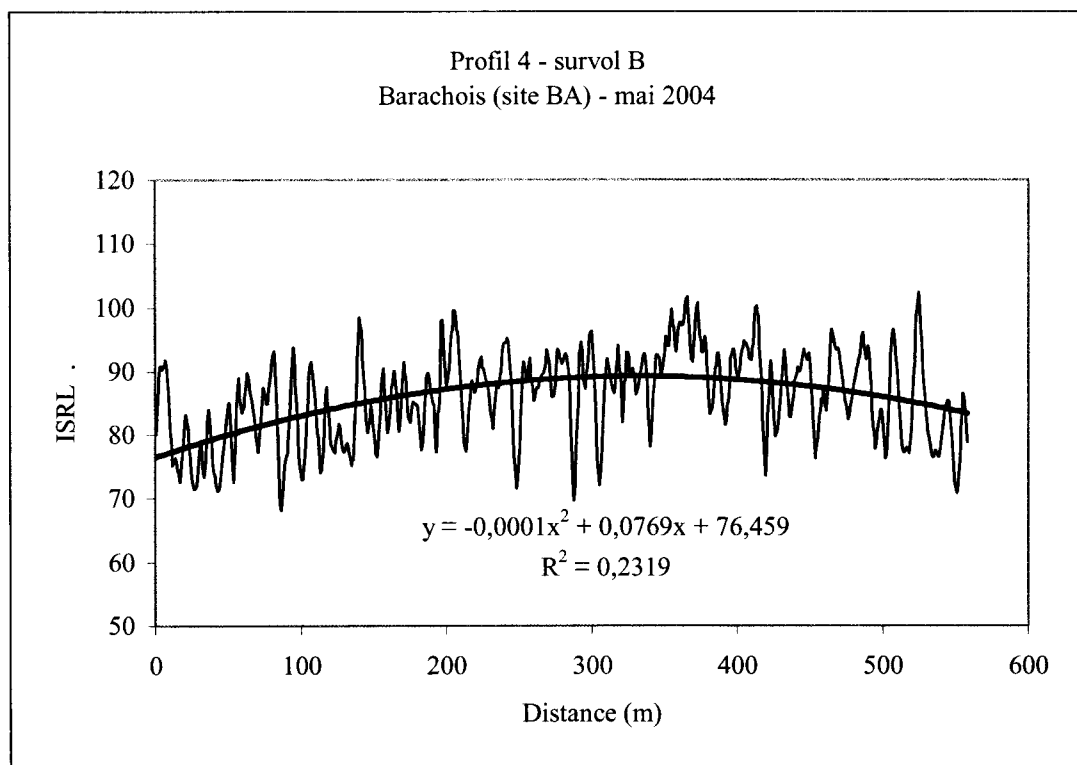


Figure 12. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B4).

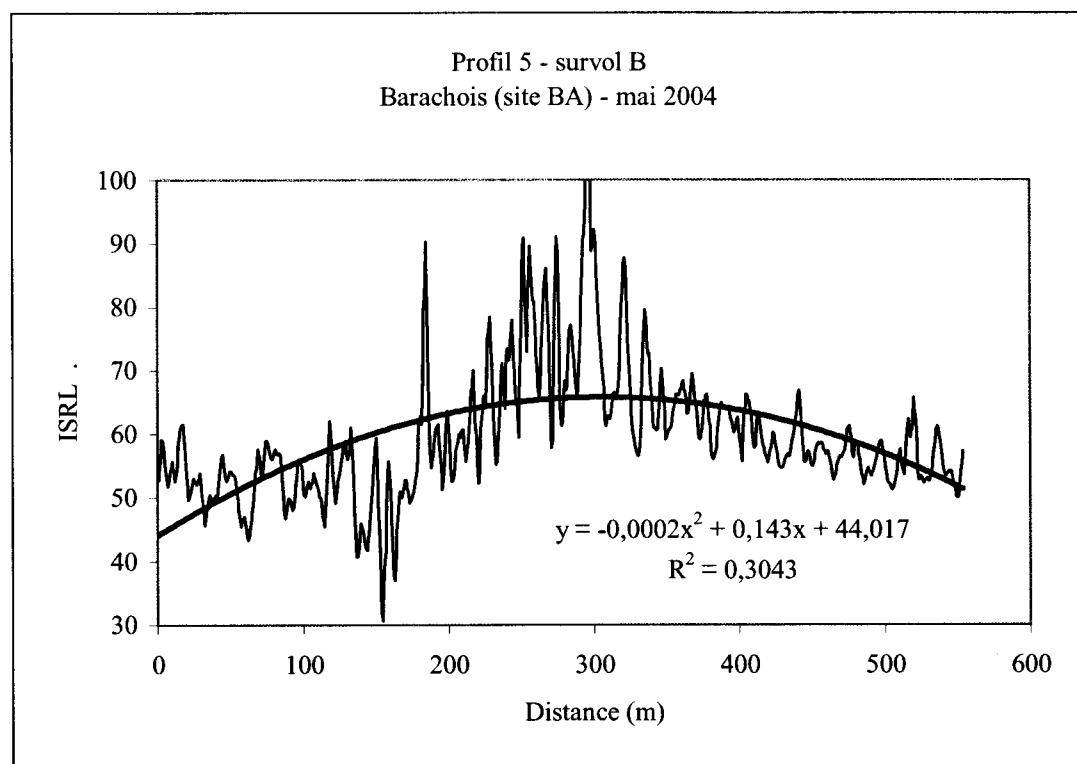


Figure 13. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil B5).

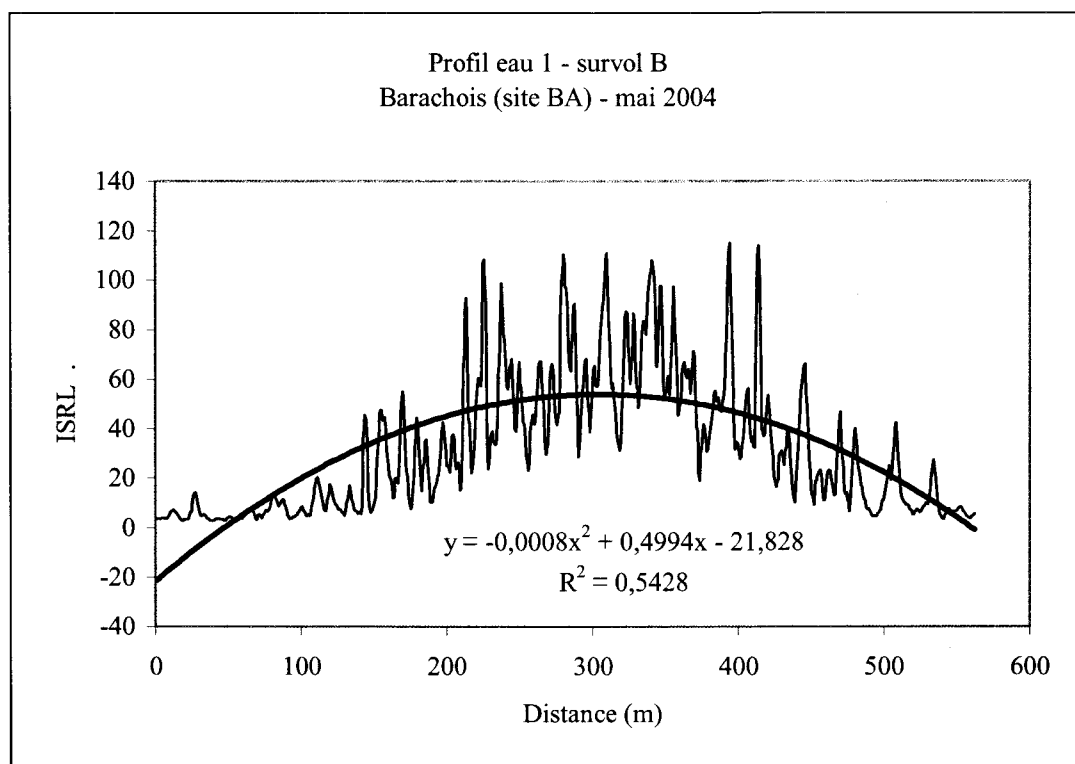


Figure 14. Variation latérale de l'ISRL à Barchois Sud (profil eau-B1).

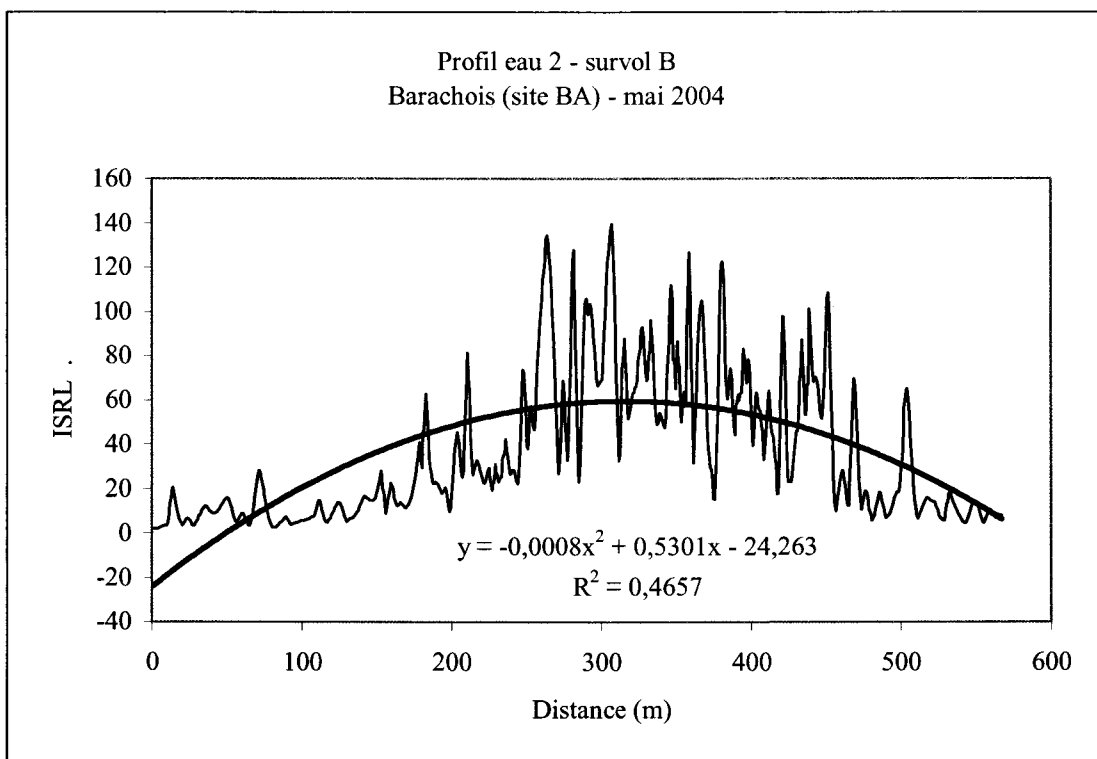


Figure 15. Variation latérale de l'ISRL à Barchois Sud (profil eau-B2).

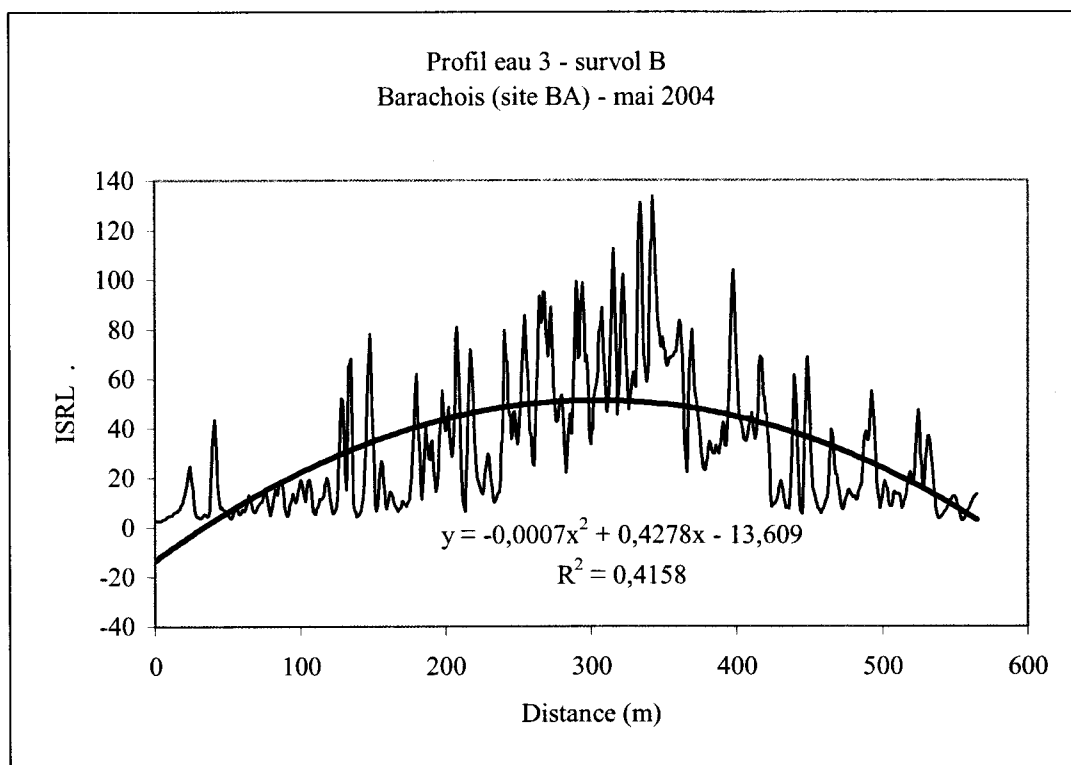


Figure 16. Variation latérale de l'ISRL à Barachois Sud (profil eau-B3).

Tableau 2. Coordonnées et dimensions des profils de variation latérale à Paspébiac Ouest (survol A et B) – mai 2004.

profil	Ouest (m)	Nord (m)	Δ ouest (m)	Δ nord (m)
1	249033	5319935	221,00	477,55
2	249045	5319930	223,54	485,17
3	249054	5319925	222,27	481,36
4	249062	5319919	222,27	482,63
5	249070	5319911	223,54	481,36
eau1	249139	5319841	254,02	518,20
eau2	249165	5319823	255,26	518,22
eau3	249195	5319805	254,02	519,47

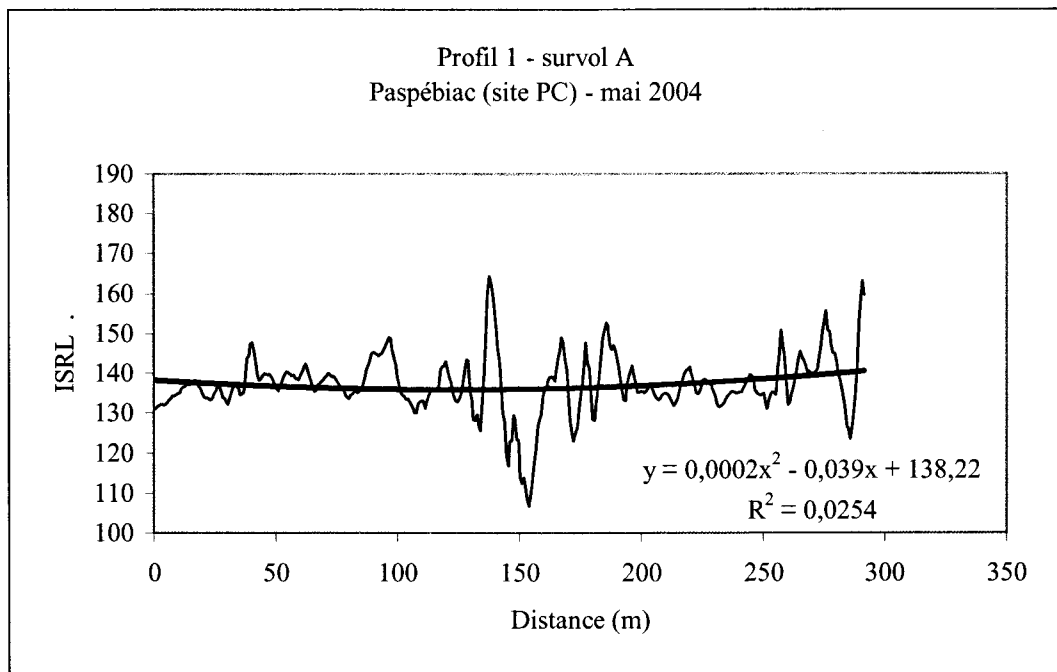


Figure 17. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A1).

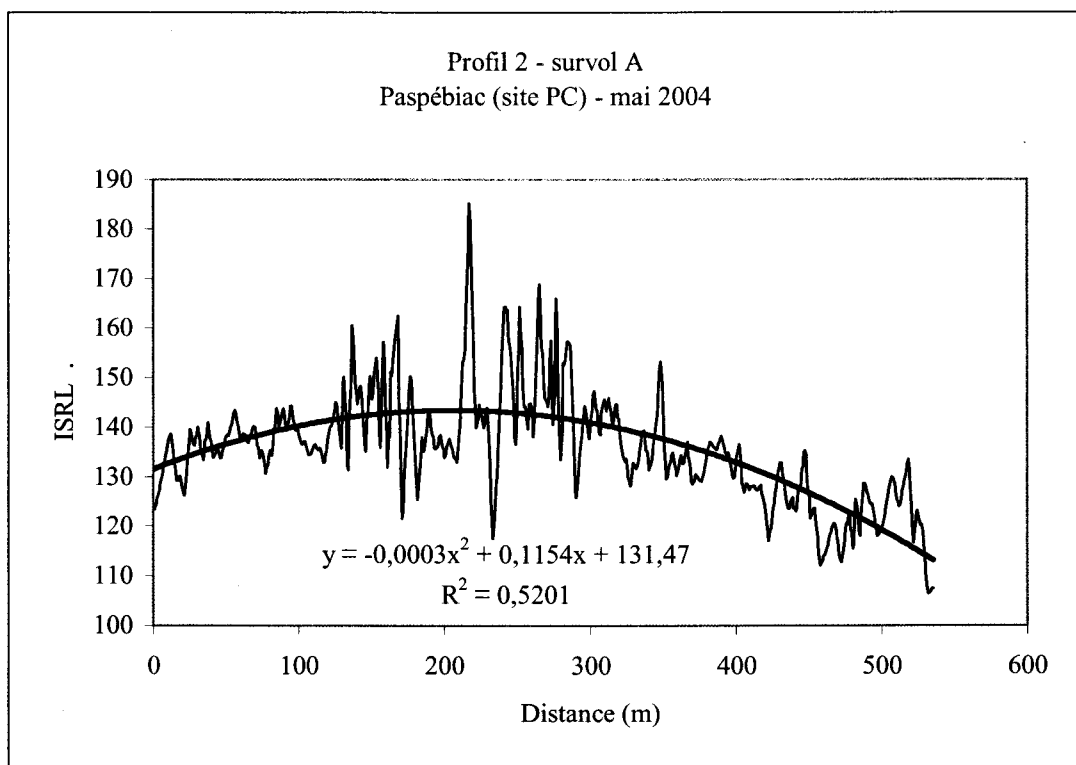


Figure 18. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A2).

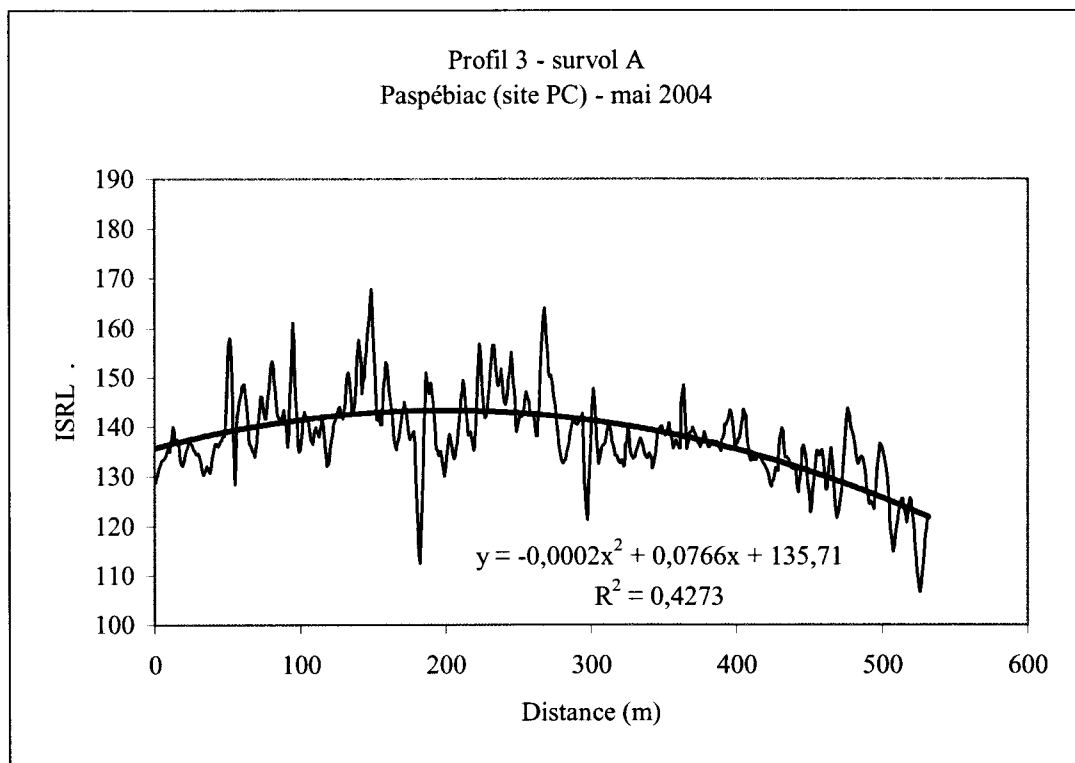


Figure 19. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A3).

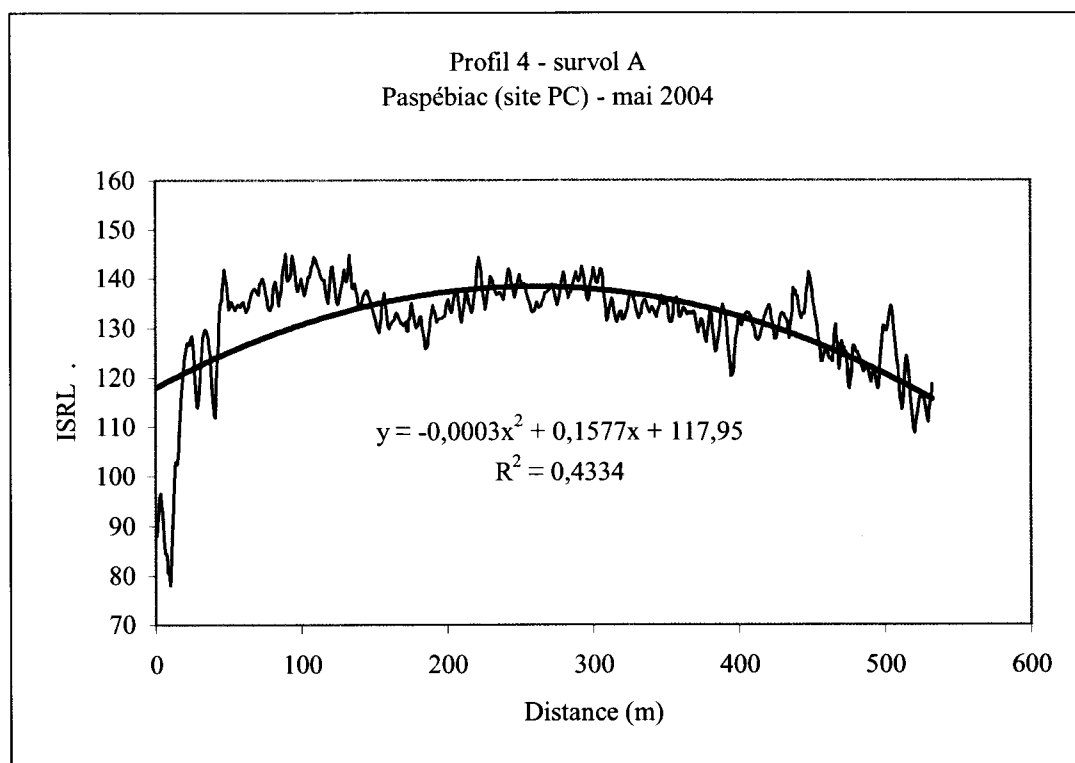


Figure 20. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A4).

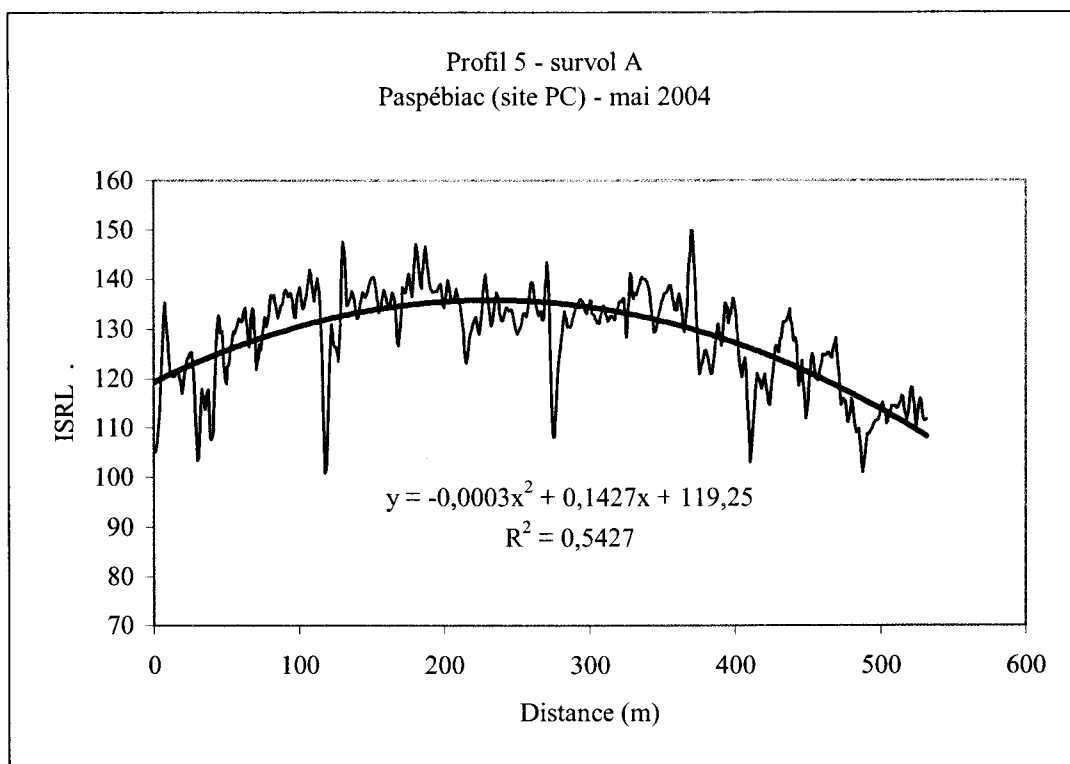


Figure 21. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil A5).

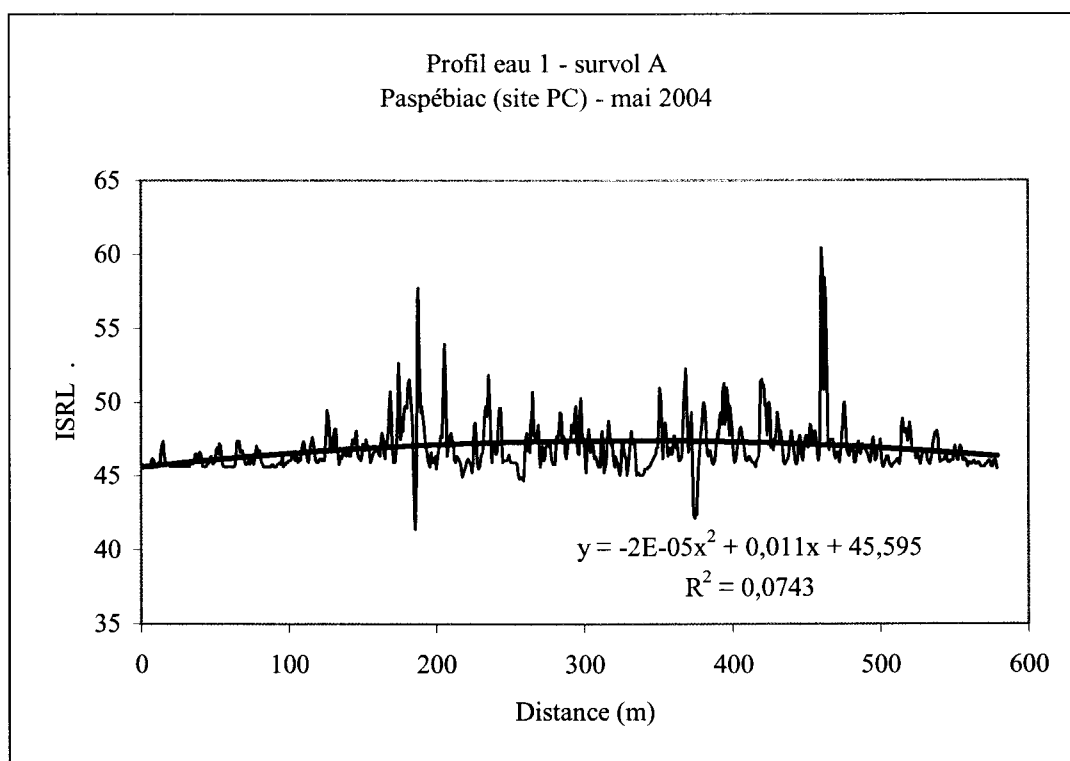


Figure 22. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-A1).

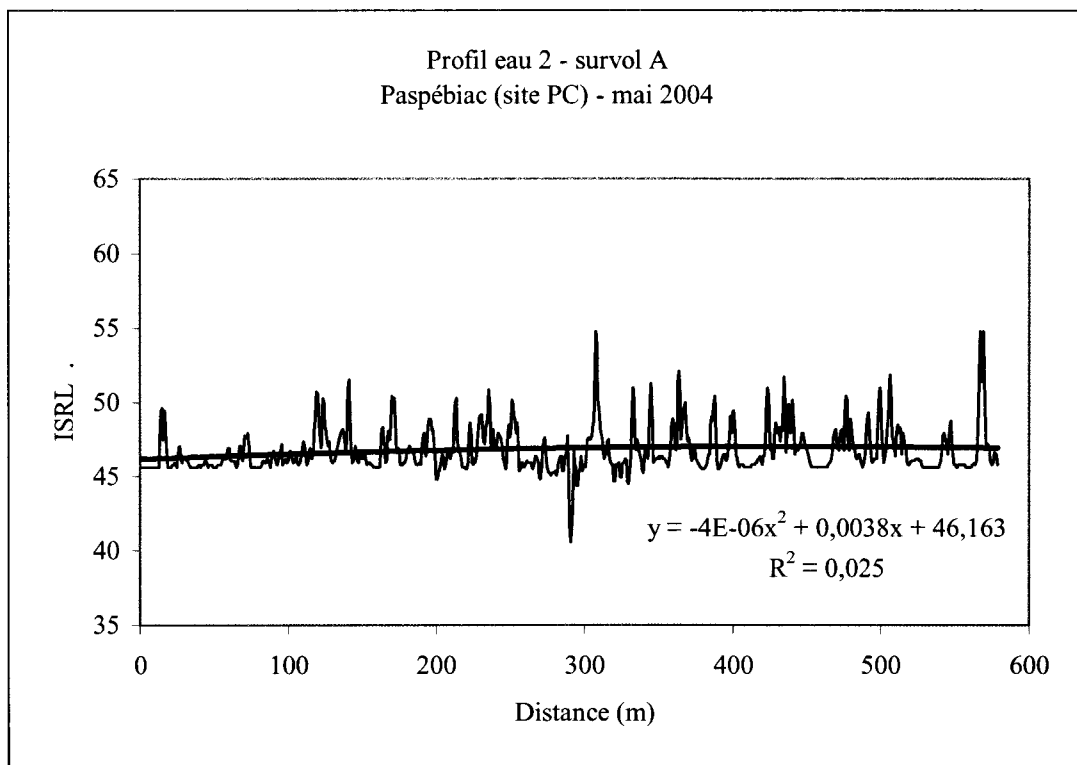


Figure 23. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-A2).

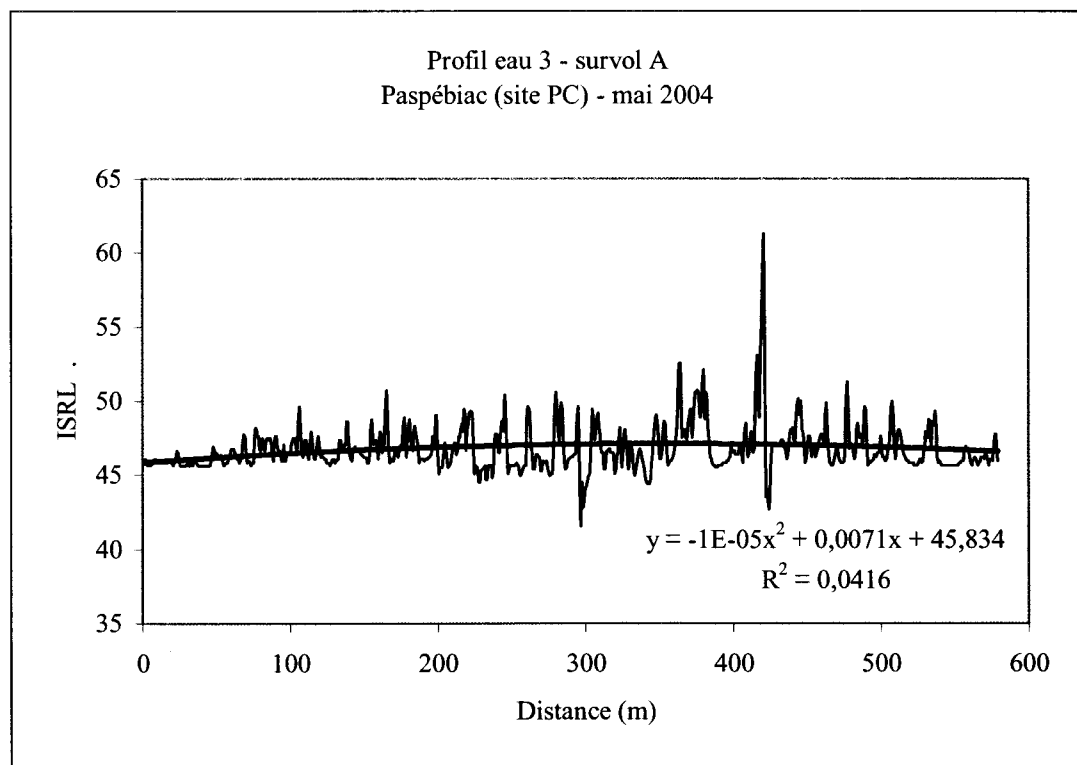


Figure 24. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-A3).

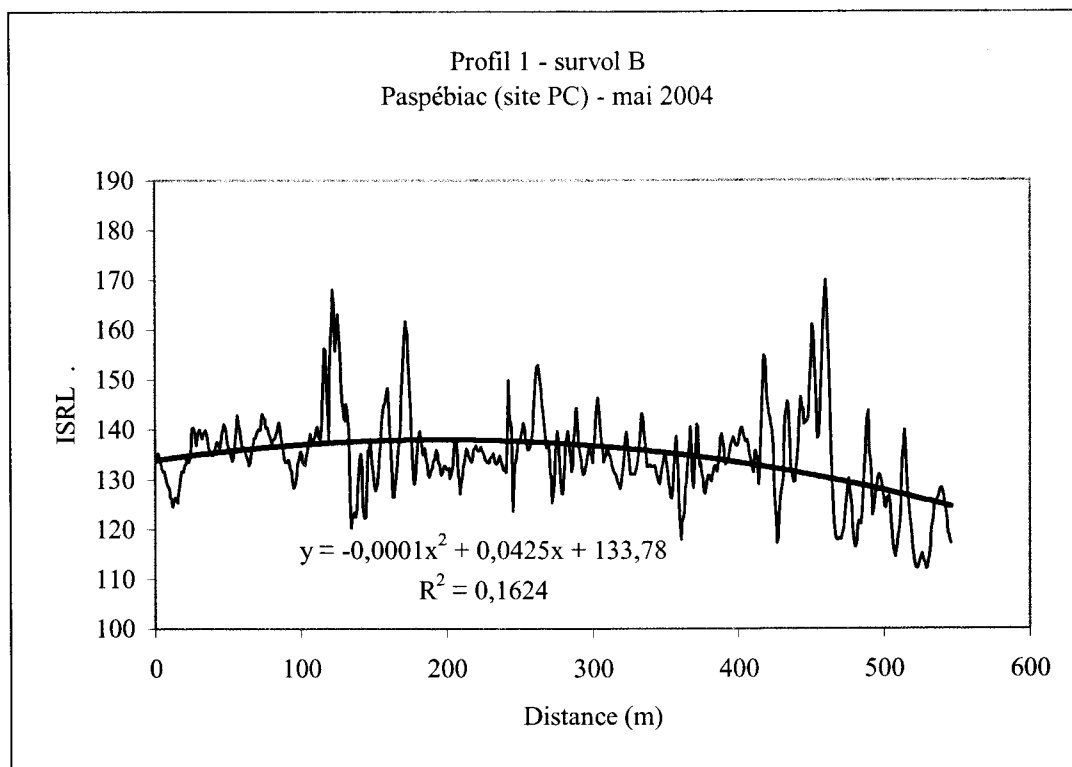


Figure 25. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B1).

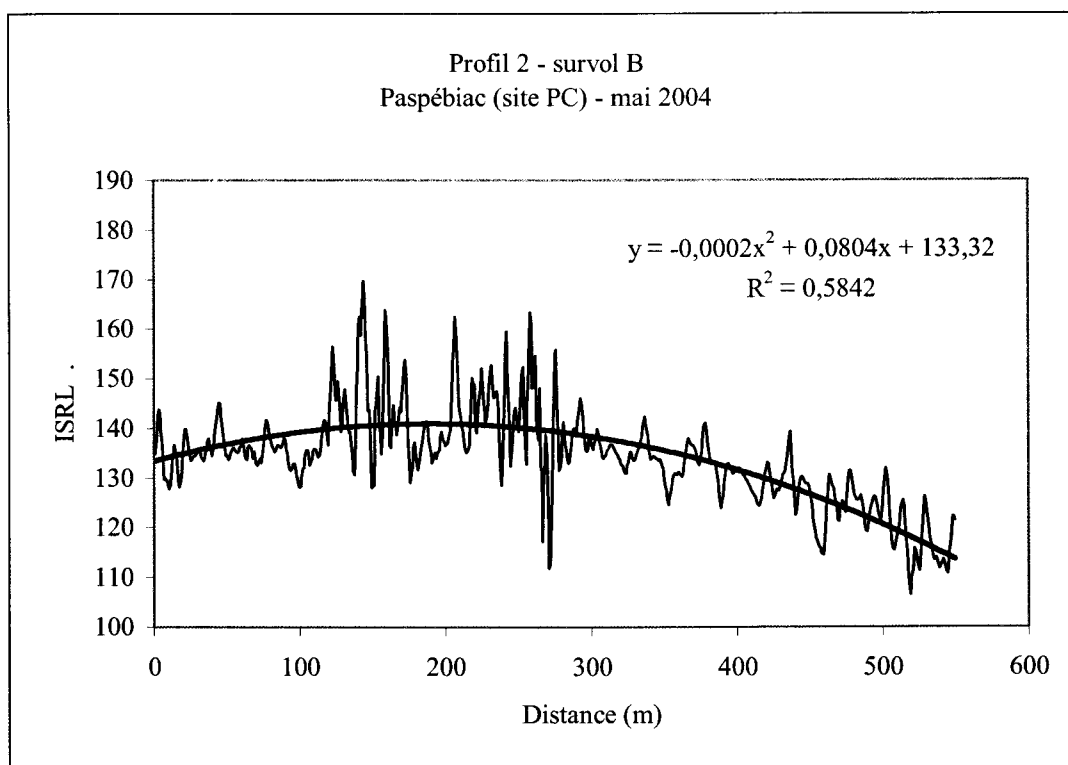


Figure 26. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B2).

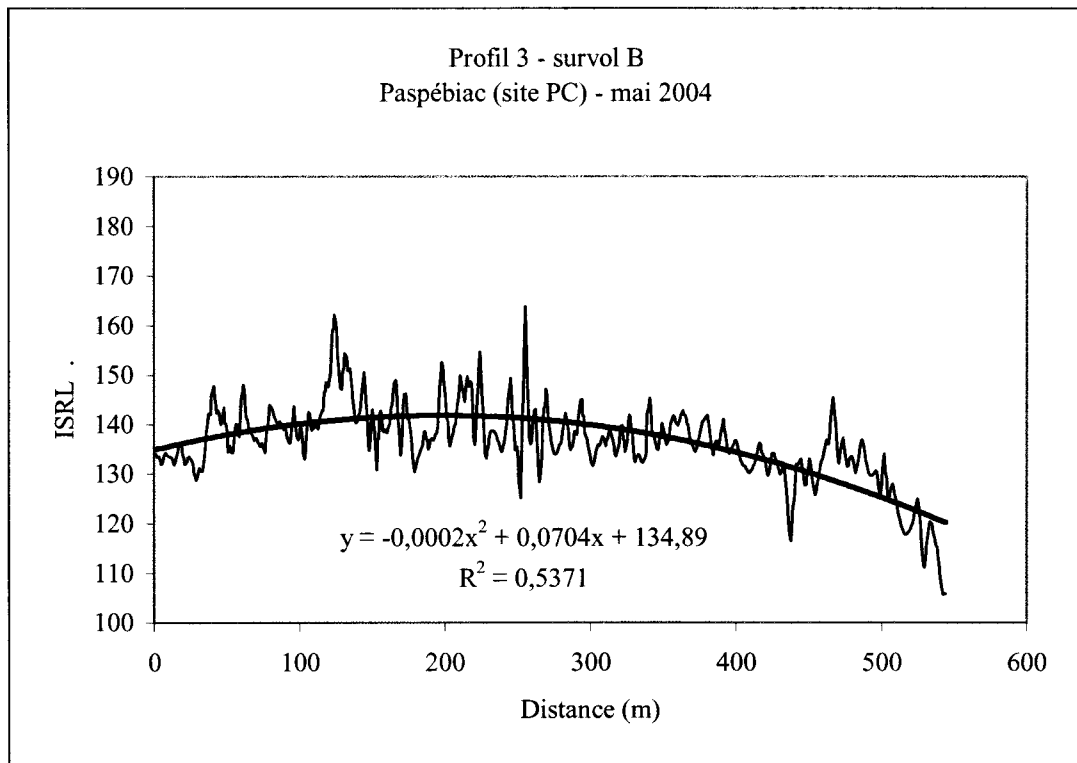


Figure 27. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B3).

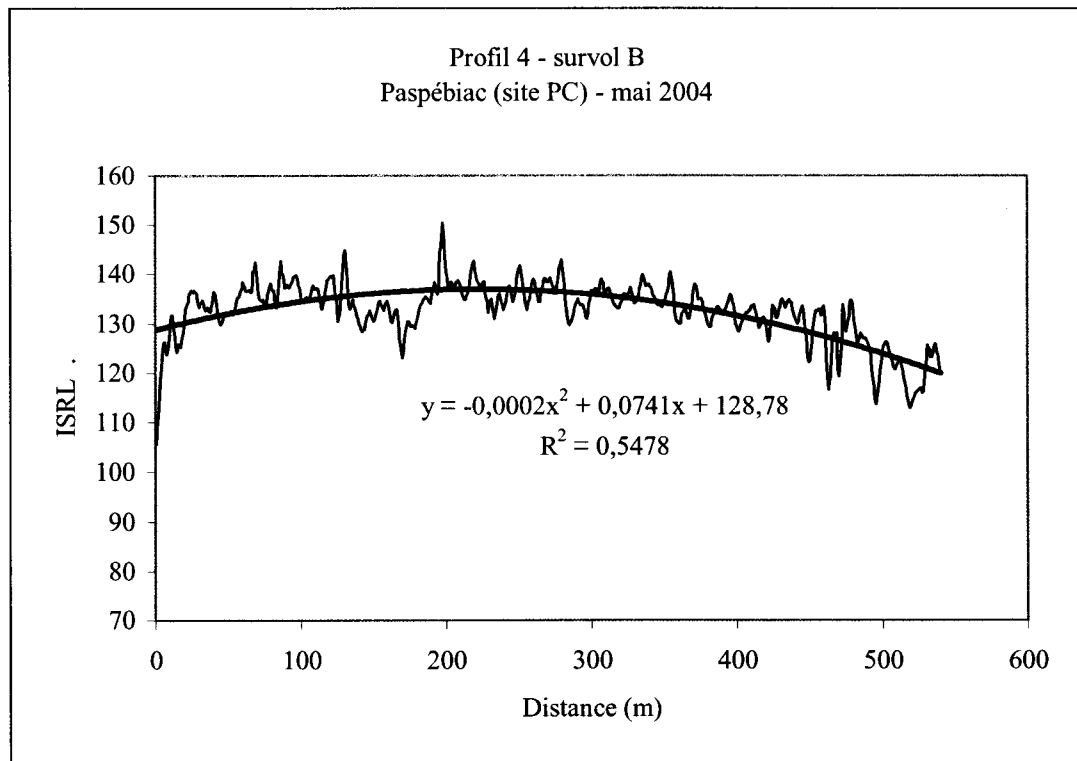


Figure 28. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B4).

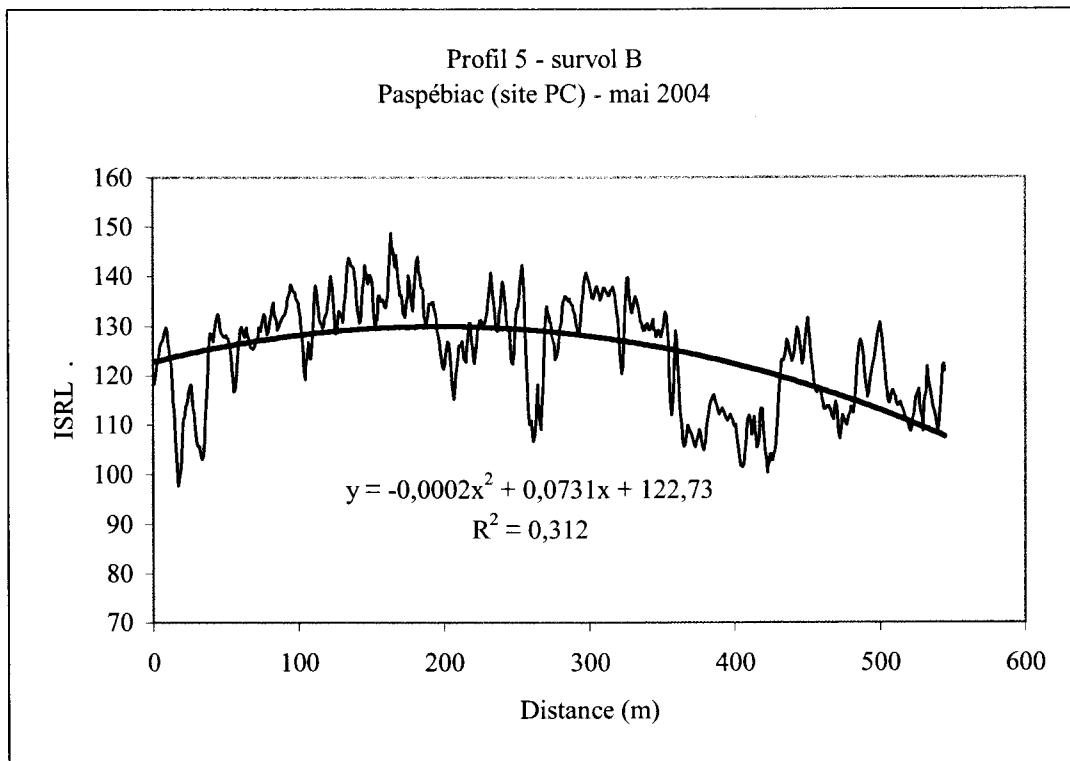


Figure 29. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil B5).

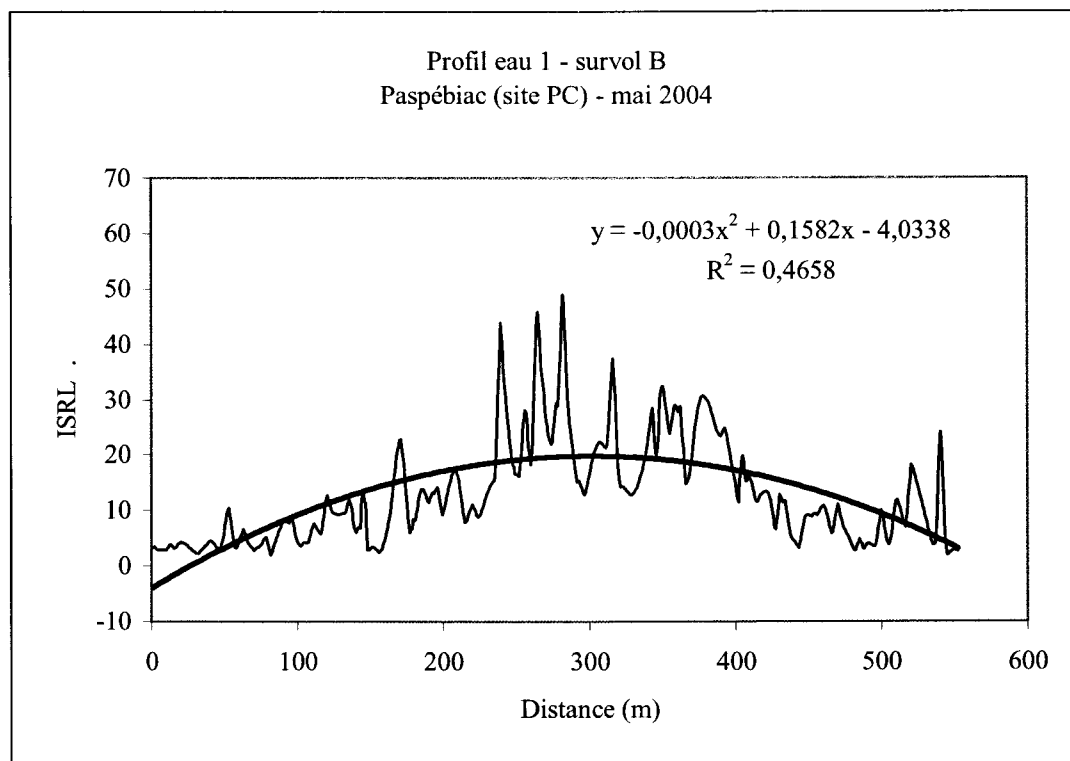


Figure 30. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B1).

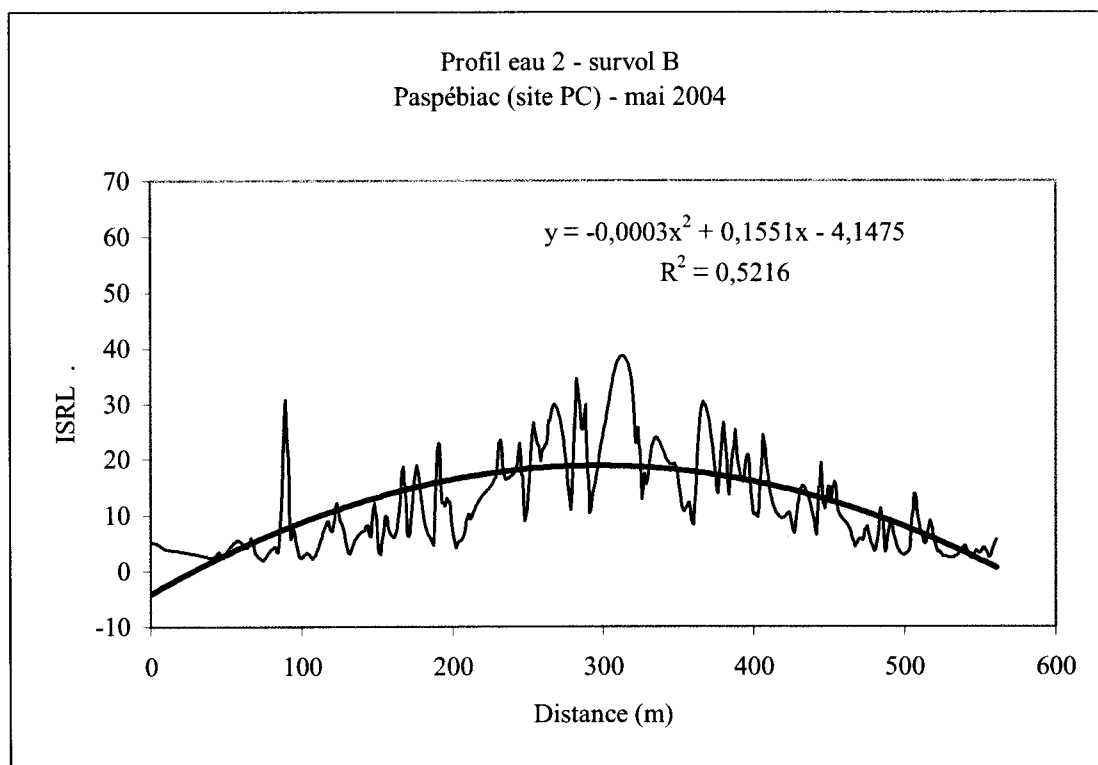


Figure 31. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B2).

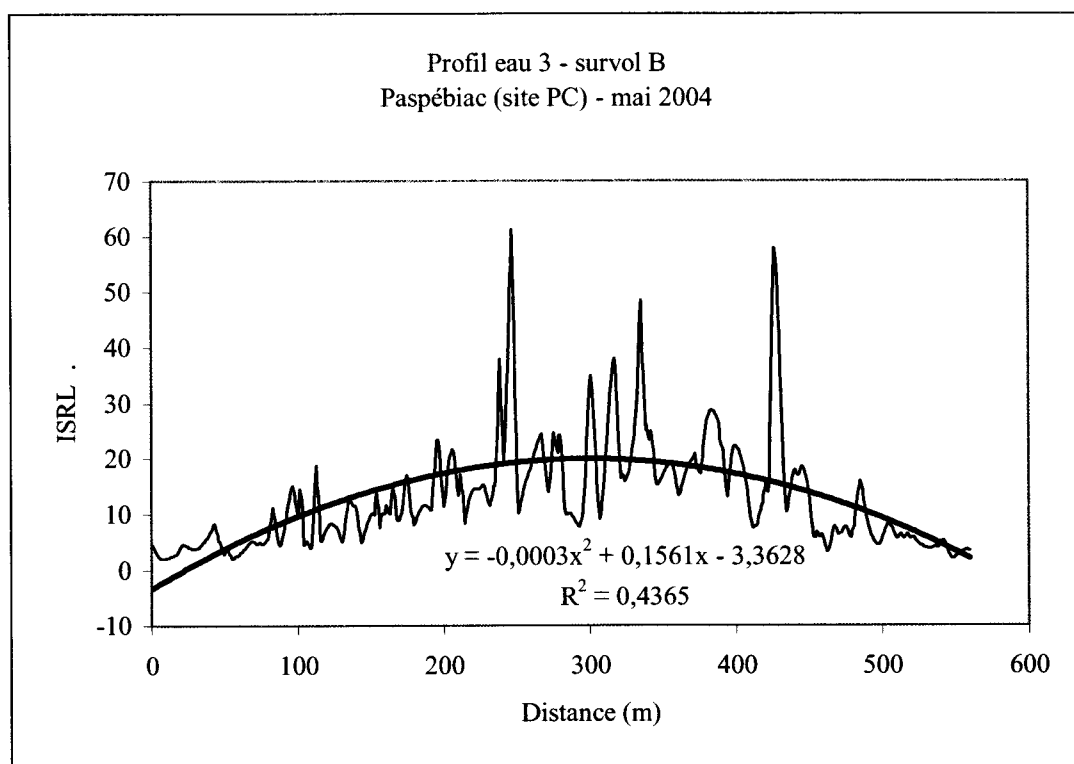


Figure 32. Variation latérale de l'ISRL à Paspébiac Ouest (profil eau-B3).

Tableau 3. Variables et coefficients de confiance des équations polynomiales obtenues sur les profils d'ISRL à Barachois Sud et Paspébiac Ouest – mai 2004.

Plage					Surface de l'eau				
profils	A	B	C	R ²	profils	A	B	C	R ²
Barachois Sud - survol A									
bara-A_01	-0,0002	0,108	99,938	0,3622	bara-A_eau01	-0,0008	0,4994	-21,828	0,5428
bara-A_02	-0,0002	0,0935	95,362	0,2926	bara-A_eau02	-0,0009	0,5411	-24,334	0,4673
bara-A_03	-0,0002	0,0796	92,117	0,2991	bara-A_eau03	-0,0008	0,4434	-13,566	0,4161
bara-A_04	-0,0001	0,0744	80,879	0,2444					
bara-A_05	-0,00005	0,0392	61,334	0,088					
Barachois Sud - survol B									
bara-B_01	-0,0002	0,1022	102,27	0,2922	bara-B_eau01	-0,0008	0,4994	-21,828	0,5428
bara-B_02	-0,0002	0,0808	97,485	0,1895	bara-B_eau02	-0,0008	0,5301	-24,263	0,4657
bara-B_03	-0,0002	0,0838	92,343	0,2694	bara-B_eau03	-0,0007	0,4278	-13,609	0,4158
bara-B_04	-0,0001	0,0769	76,459	0,2319					
bara-B_05	-0,0002	0,143	44,017	0,3043					
Paspébiac Ouest - survol A									
pasp-A_01	0,0002	-0,039	138,22	0,0254	pasp-A_eau01	-0,00002	0,011	45,595	0,0743
pasp-A_02	-0,0003	0,1154	131,47	0,5201	pasp-A_eau02	0,000004	0,0038	46,163	0,025
pasp-A_03	-0,0002	0,0766	135,71	0,4273	pasp-A_eau03	-0,00001	0,0071	45,834	0,0416
pasp-A_04	-0,0003	0,1577	117,95	0,4334					
pasp-A_05	-0,0003	0,1427	119,25	0,5427					
Paspébiac Ouest - survol B									
pasp-B_01	-0,0001	0,0425	133,78	0,1624	pasp-B_eau01	-0,0003	0,1582	-4,0338	0,4658
pasp-B_02	-0,0002	0,0804	133,32	0,5842	pasp-B_eau02	-0,0003	0,1551	-4,1475	0,5216
pasp-B_03	-0,0002	0,0704	134,89	0,5371	pasp-B_eau03	-0,0003	0,1561	-3,3628	0,4365
pasp-B_04	-0,0002	0,0741	128,78	0,5478					
pasp-B_05	-0,0002	0,0731	122,73	0,312					

Annexe 7

Morpho-topographie

Liste des figures

- Figure 1. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 7) – mai 2003.
- Figure 2. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 7) – mai 2004.
- Figure 3. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 11) – mai 2003.
- Figure 4. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 11) – mai 2004.
- Figure 5. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 16) – mai 2003.
- Figure 6. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 16) – mai 2004.
- Figure 7. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 18) – mai 2003.
- Figure 8. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 18) – mai 2004.
- Figure 9. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 20) – mai 2003.
- Figure 10. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 20) – mai 2004.
- Figure 11. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 25) – mai 2003.
- Figure 12. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 25) – mai 2004.
- Figure 13. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 27) – mai 2003.
- Figure 14. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 27) – mai 2004.
- Figure 15. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 28) – mai 2003.
- Figure 16. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 28) – mai 2004.

Liste des tableaux

- Tableau 1. Coordonnées et dimensions des profils de morpho-topographie faits à Paspébiac – mai 2003 et mai 2004.

Tableau 1. Coordonnées et dimensions des profils de morpho-topographie faits à Paspébiac – mai 2003 et mai 2004.

profil	Ouest (m)	Nord (m)
1	248737,91	5319650,84
2	248761,97	5319694,75
3	248786,4	5319738,66
4	248810,84	5319782,19
5	248835,28	5319826,11
6	248859,34	5319870,02
7	248884,16	5319913,93
8	248908,6	5319957,46
9	248933,03	5320000,99
10	248957,47	5320045,29
11	248981,91	5320088,82
12	249005,97	5320132,73
13	249030,41	5320176,26
14	249054,46	5320220,18
15	249079,28	5320263,71
16	249103,34	5320307,62
17	249127,78	5320351,15
18	249152,22	5320395,06
19	249176,66	5320438,98
20	249201,09	5320482,89
21	249225,53	5320526,42
22	249249,97	5320569,95
23	249274,79	5320613,86
24	249298,47	5320657,4
25	249322,9	5320700,93
26	249347,72	5320745,22
27	249371,4	5320789,52
28	249396,22	5320833,05
29	249420,66	5320876,2
30	249445,1	5320920,49
31	249469,53	5320964,4
32	249493,97	5321007,93
33	249518,03	5321051,47
34	249542,85	5321095
35	249566,14	5321139,29

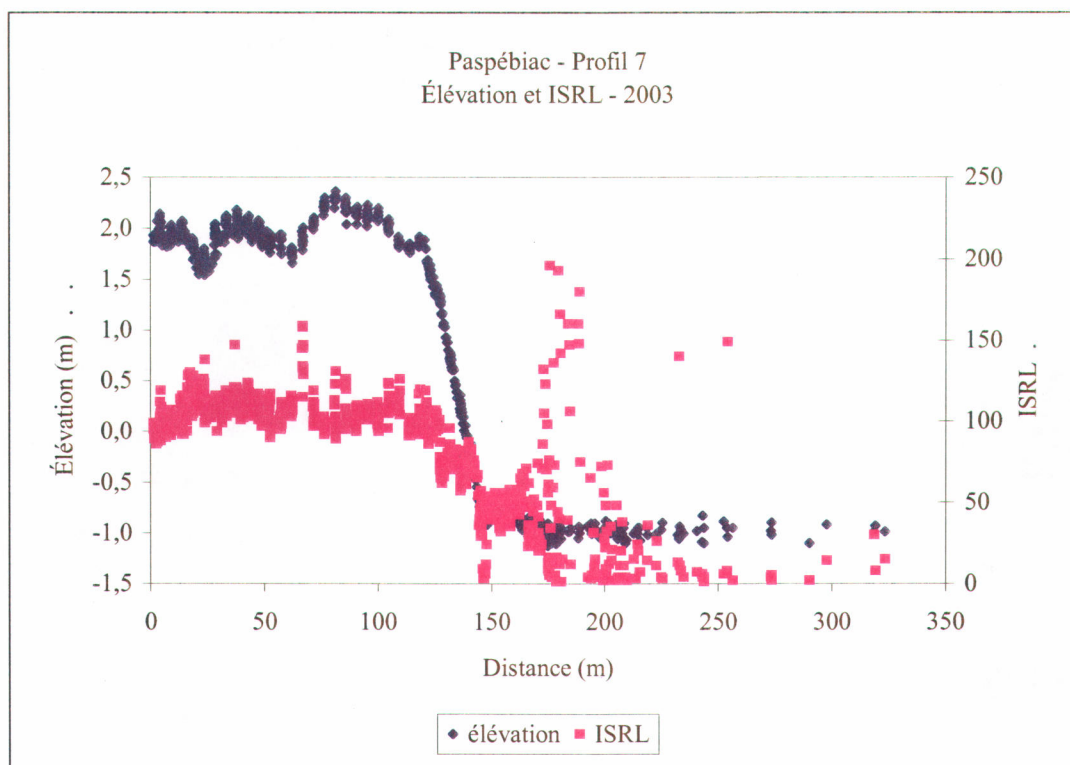


Figure 1. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 7) – mai 2003.

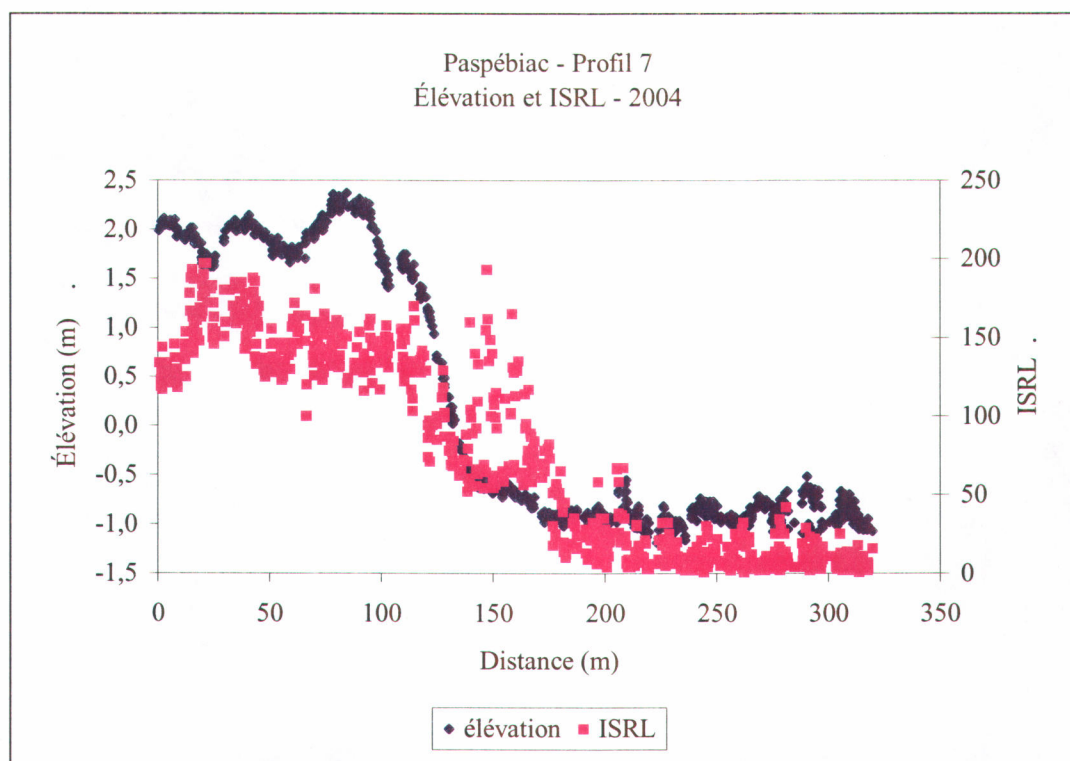


Figure 2. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 7) – mai 2004.

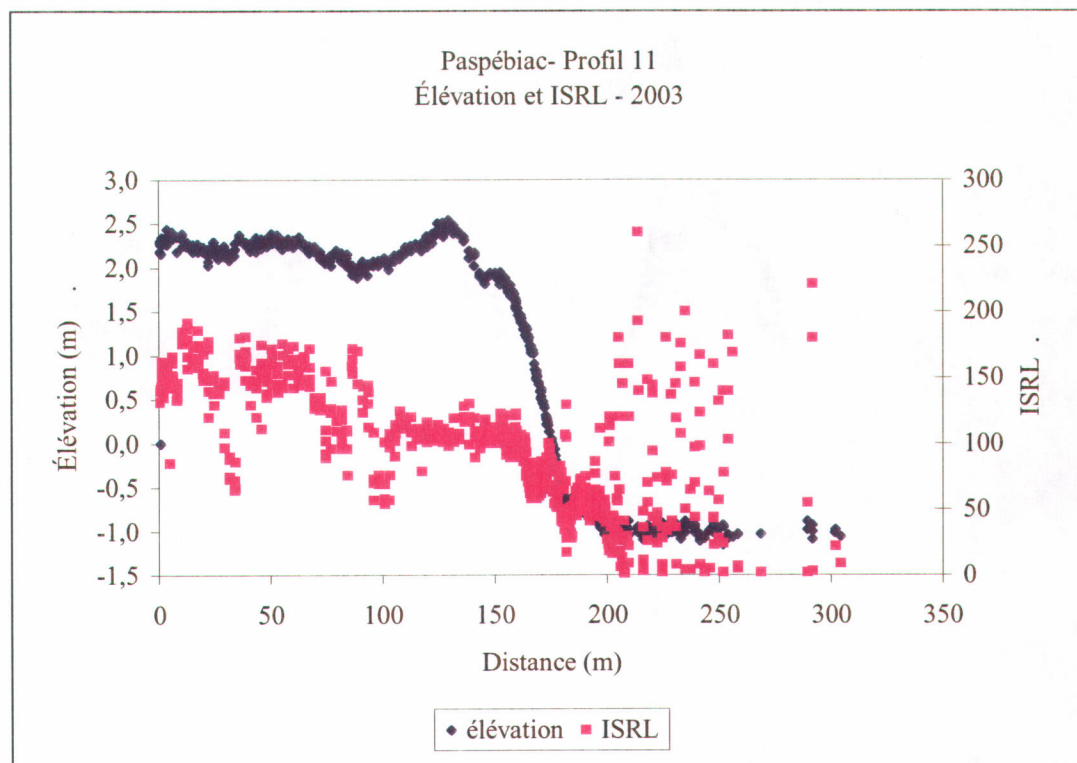


Figure 3. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 11) – mai 2003.

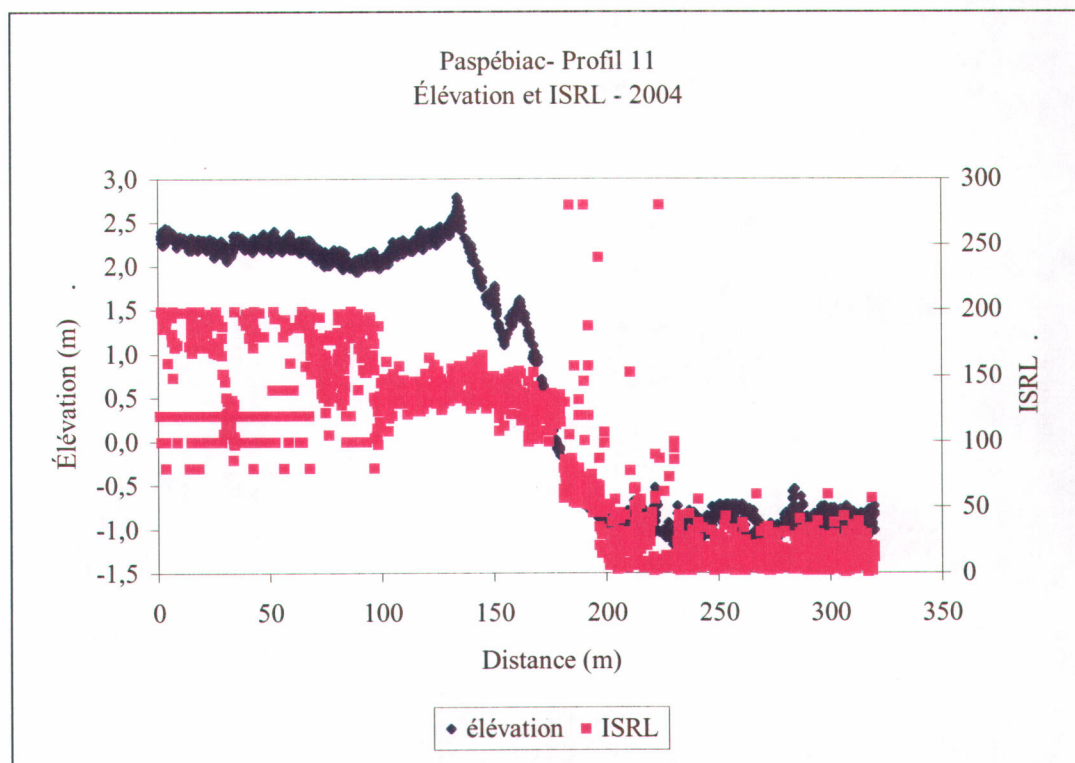


Figure 4. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 11) – mai 2004.

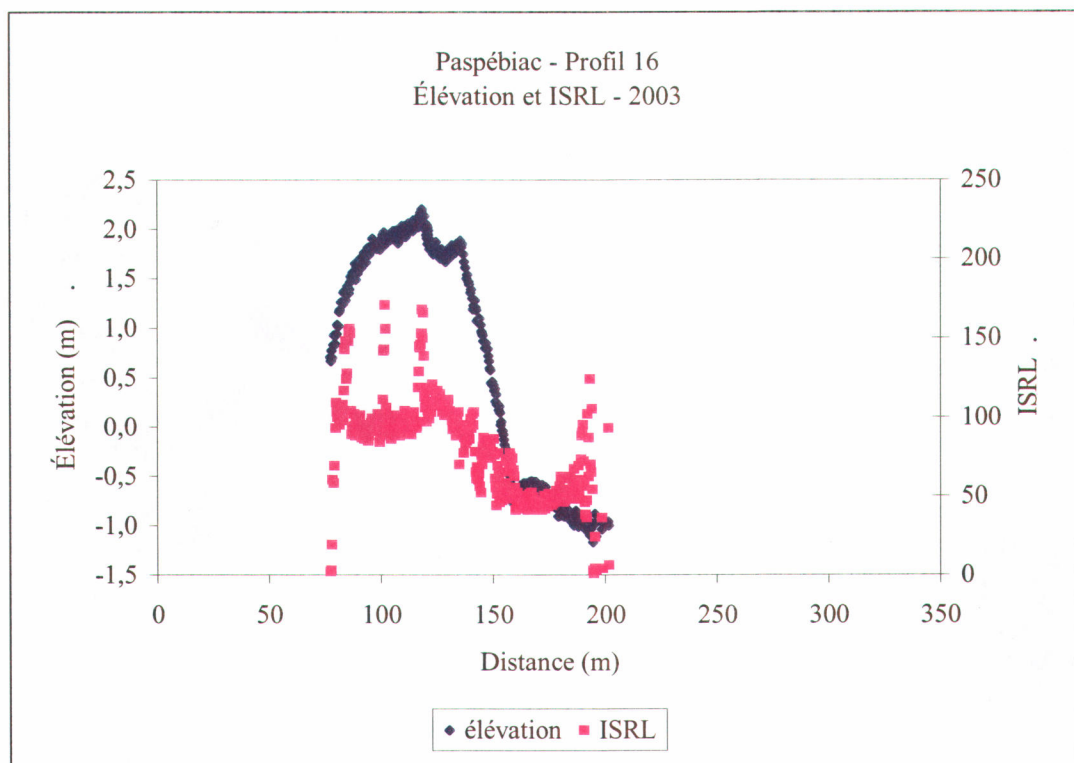


Figure 5. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 16) – mai 2003.

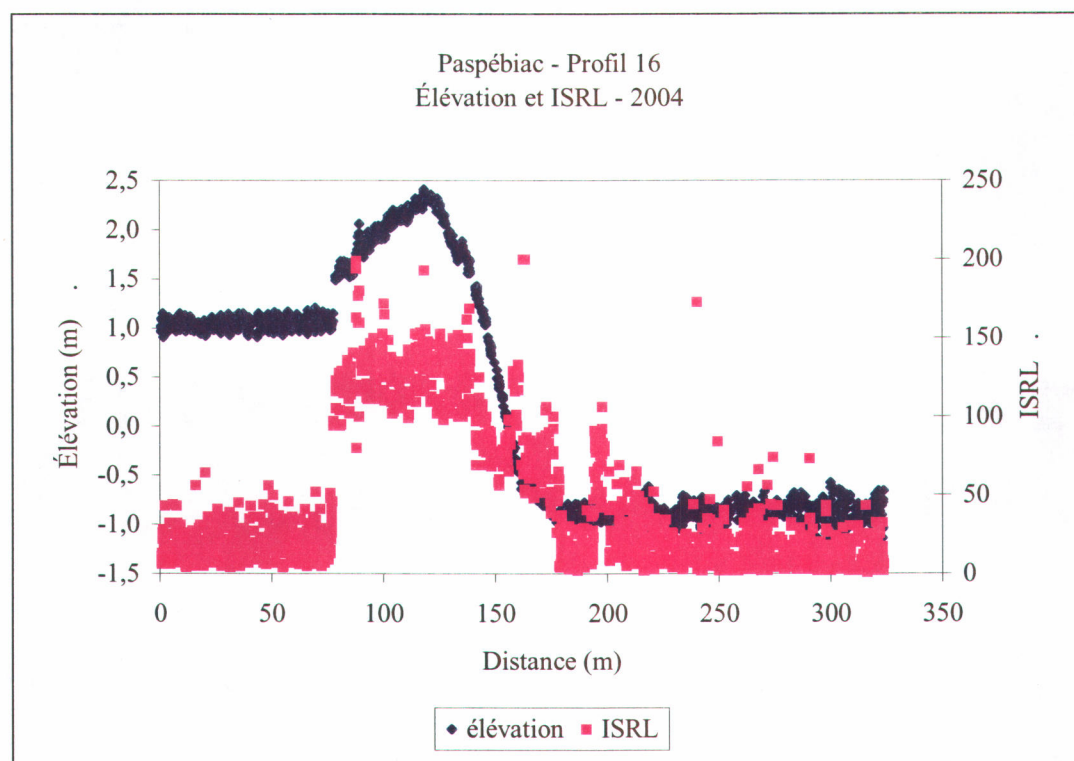


Figure 6. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 16) – mai 2004.

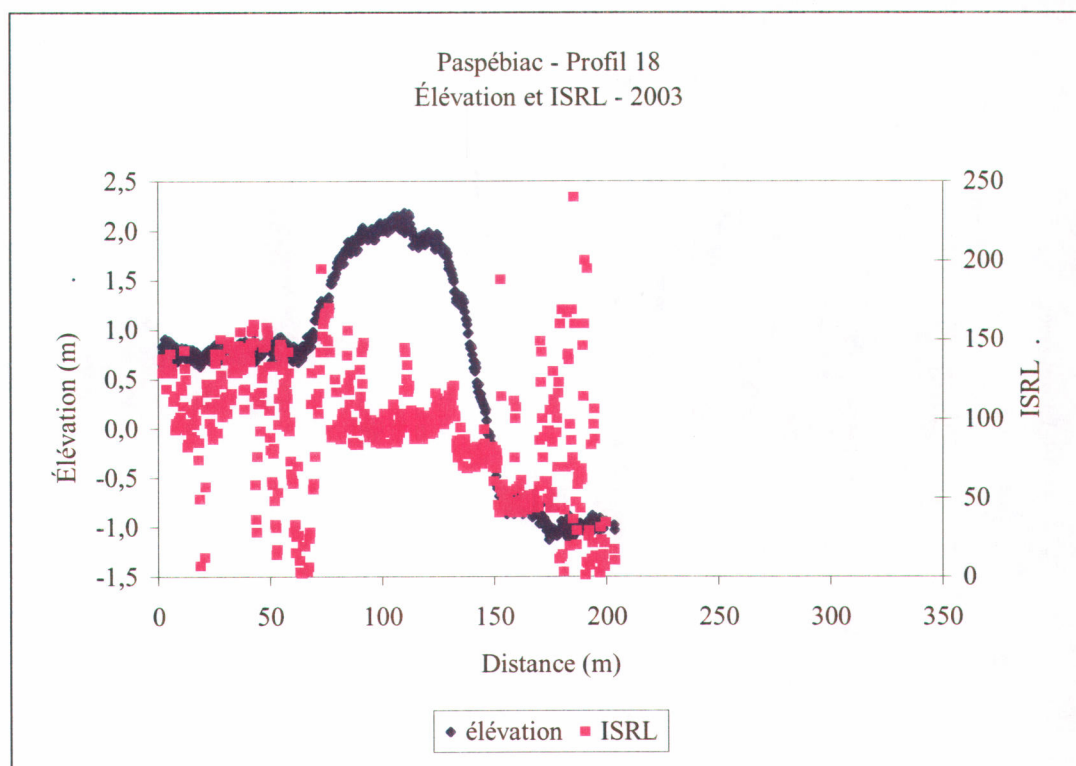


Figure 7. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 18) – mai 2003.

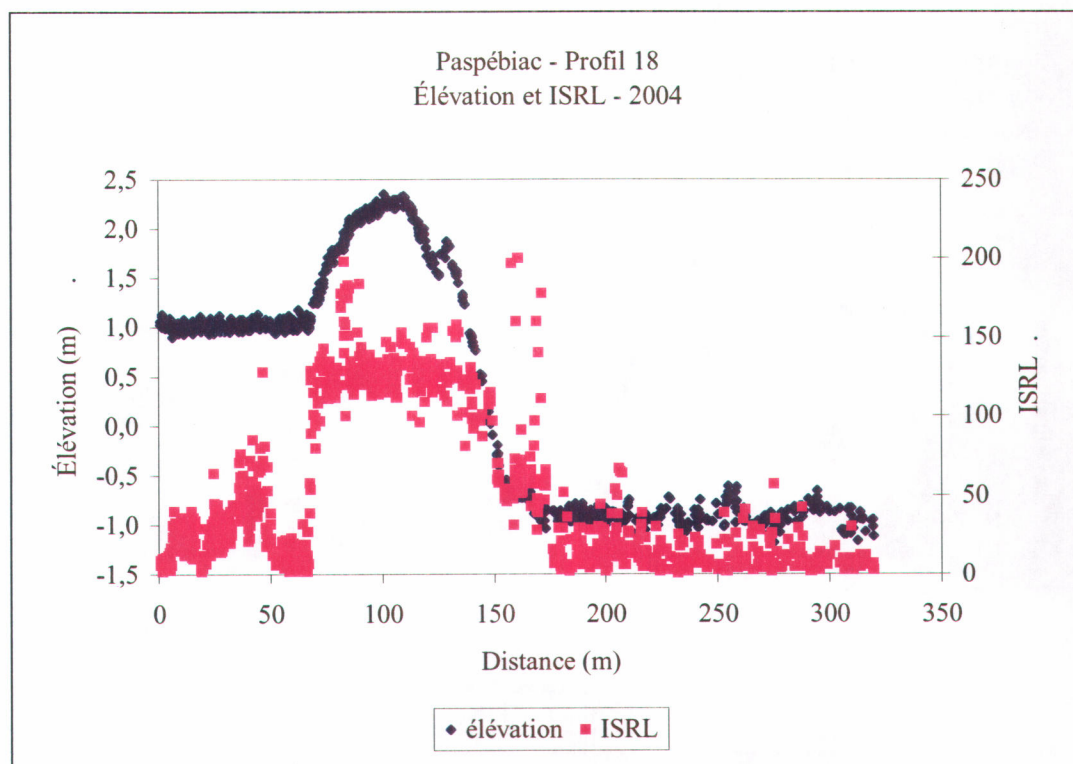


Figure 8. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 18) – mai 2004.

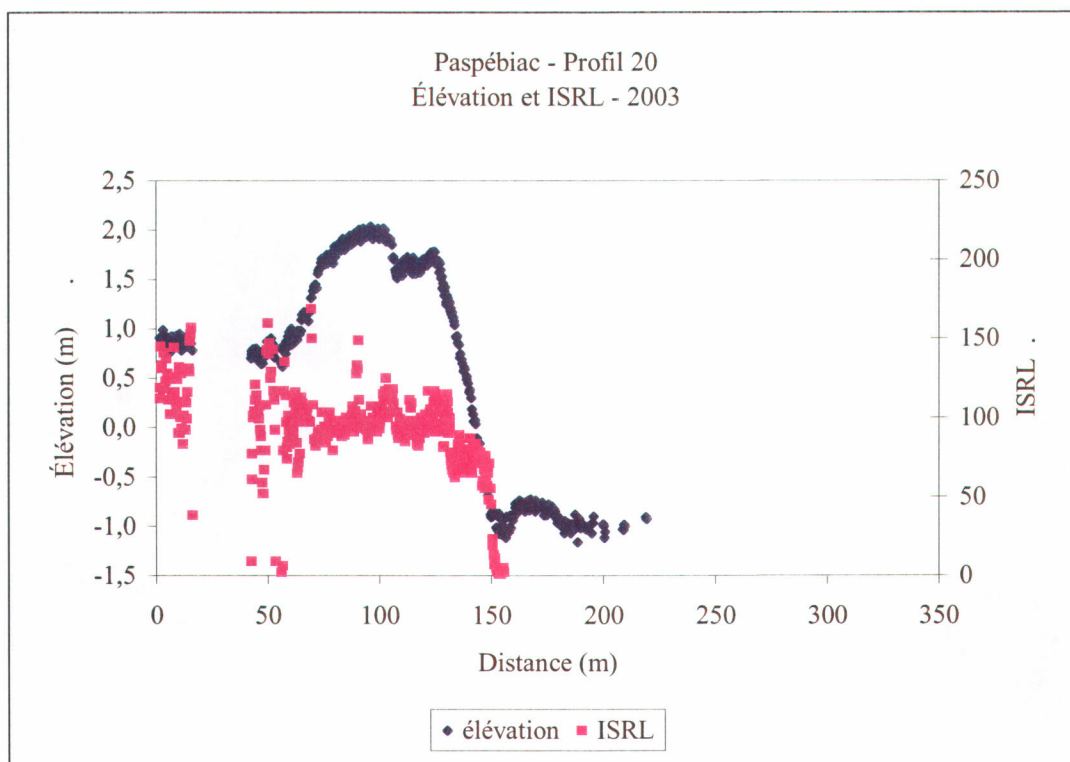


Figure 9. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 20) – mai 2003.

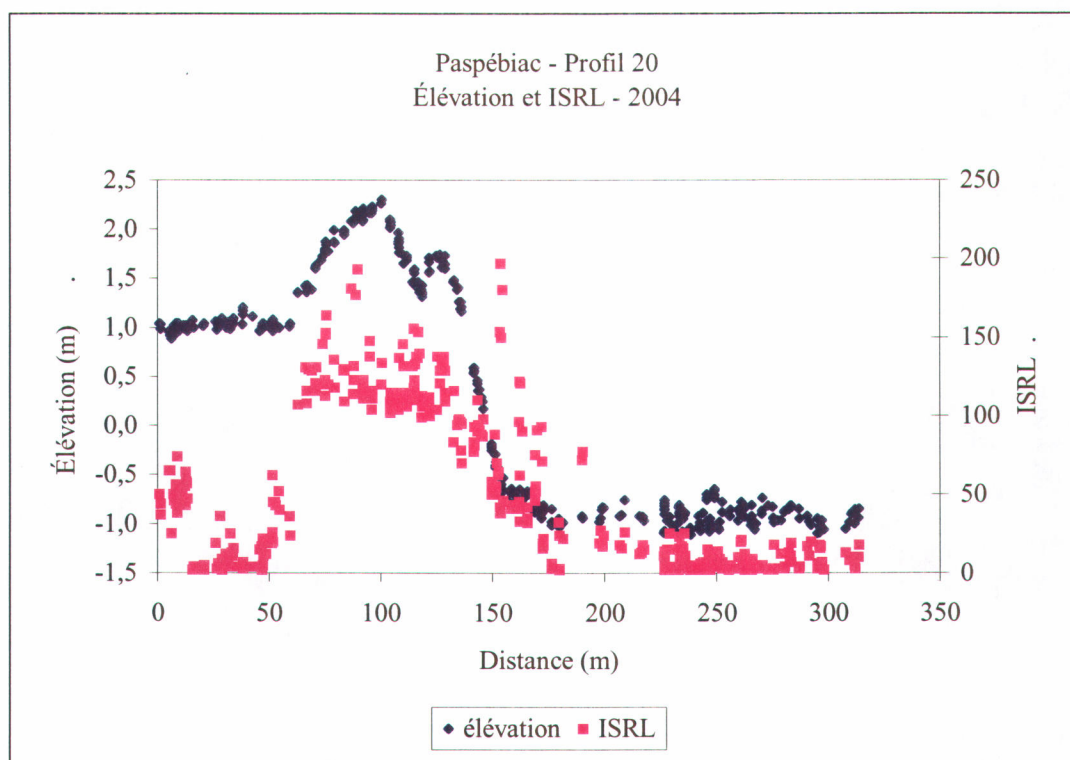


Figure 10. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 20) – mai 2004.

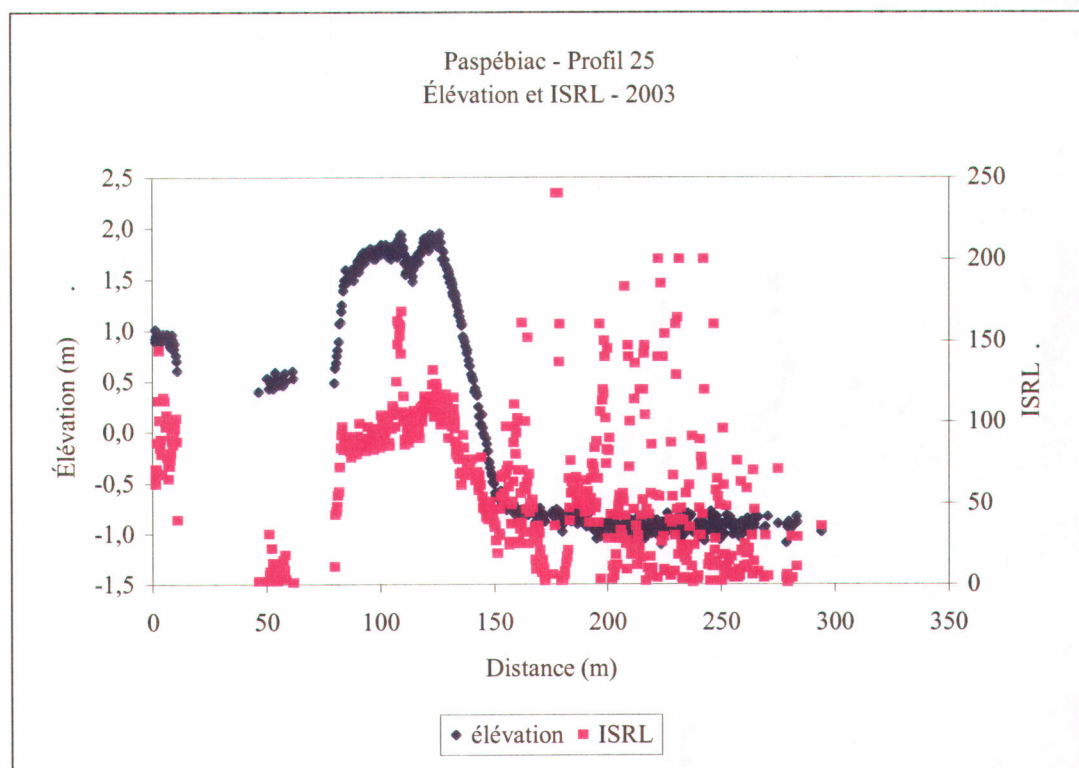


Figure 11. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 25) – mai 2003.

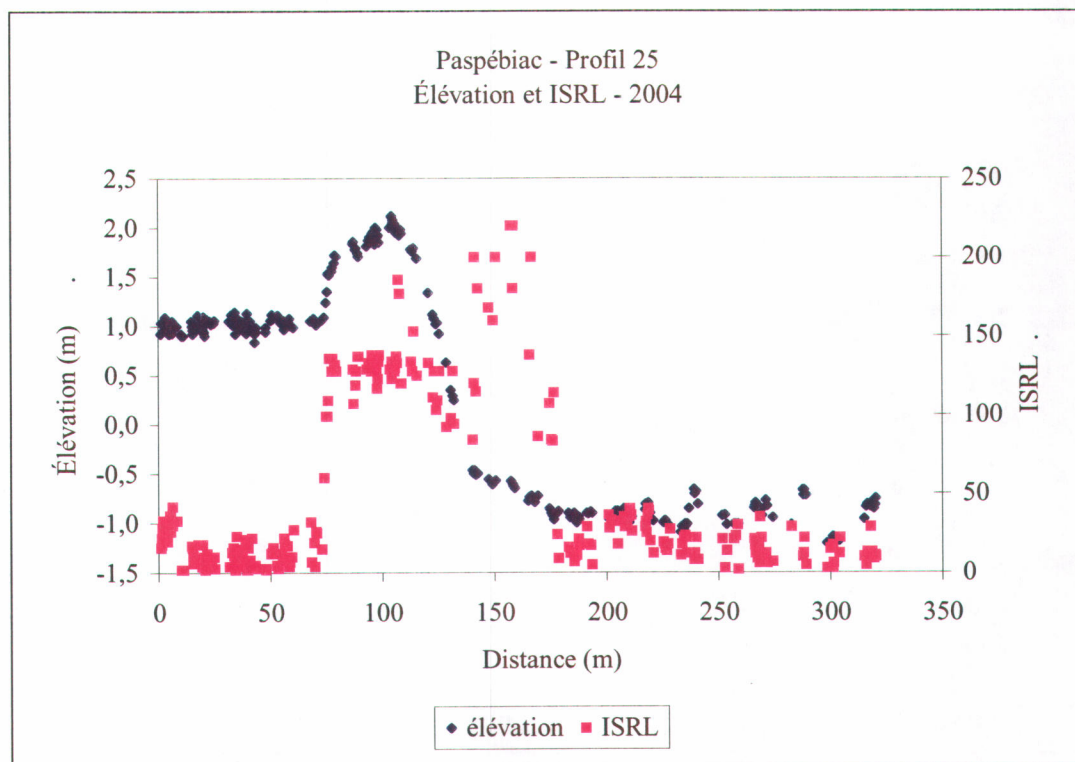


Figure 12. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 25) – mai 2004.

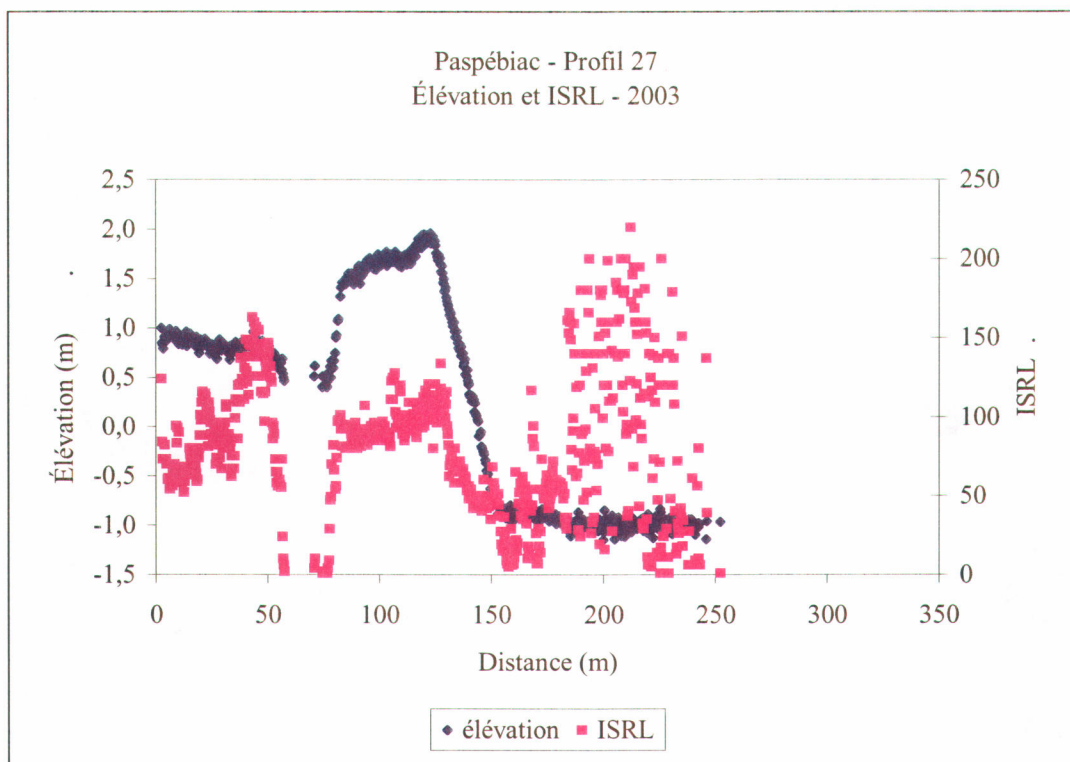


Figure 13. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 27) – mai 2003.

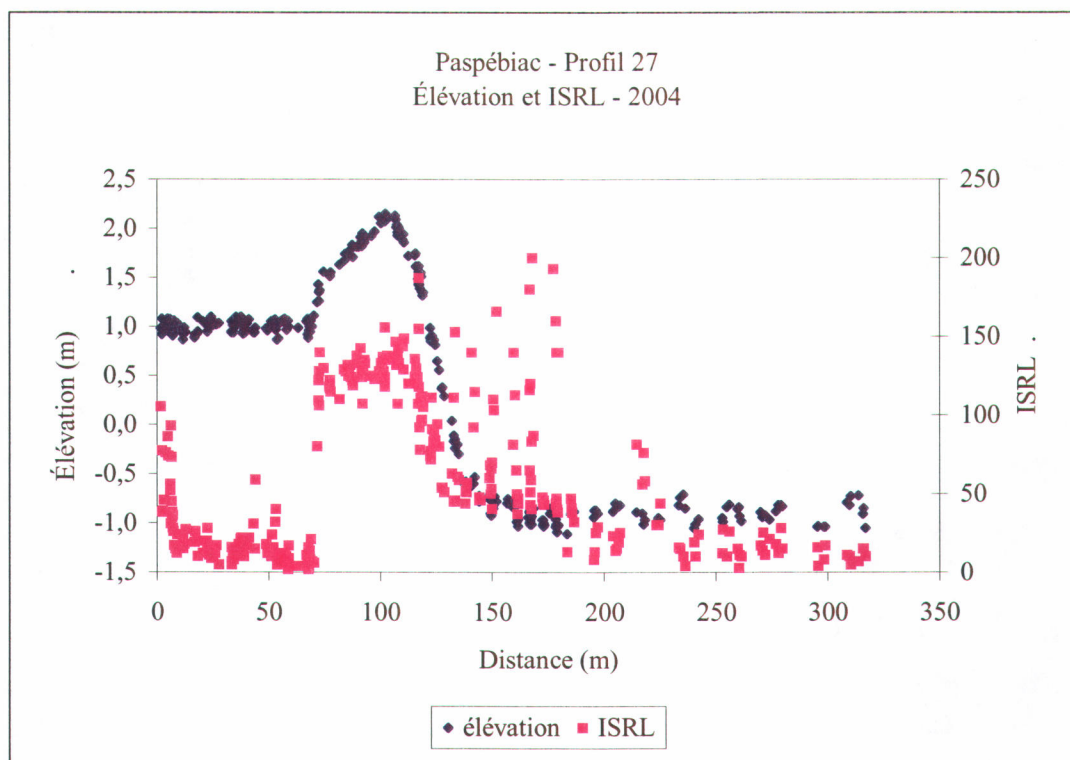


Figure 14. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 27) – mai 2004.

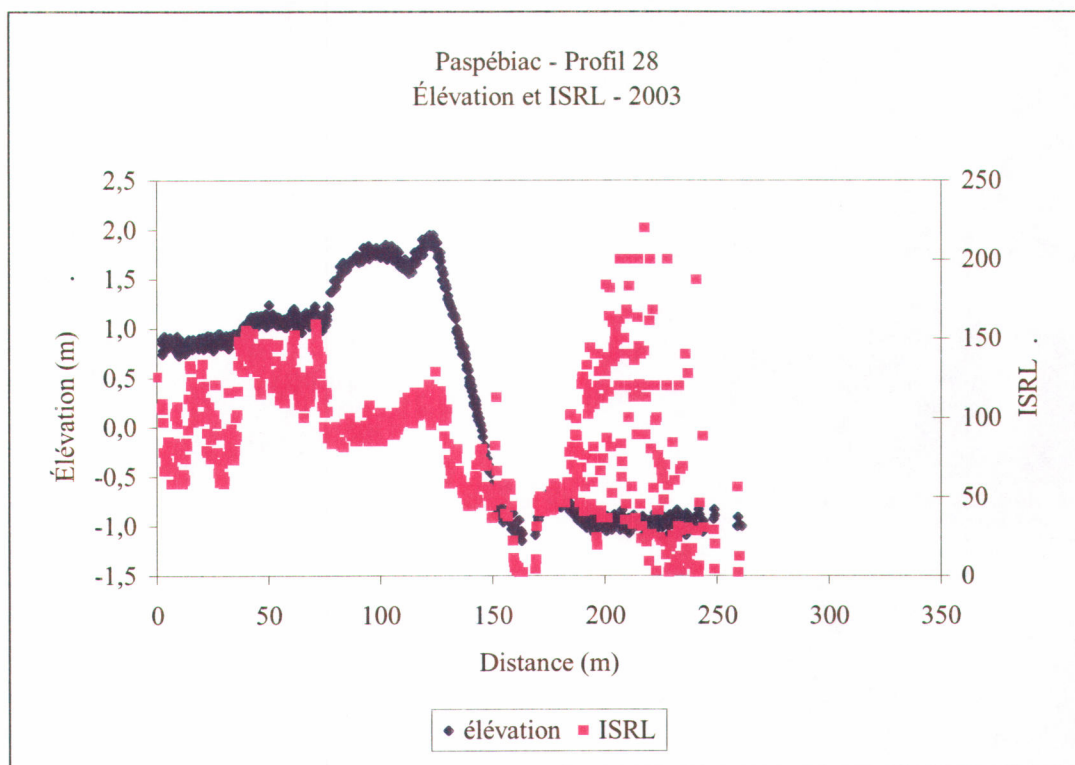


Figure 15. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 28) – mai 2003.

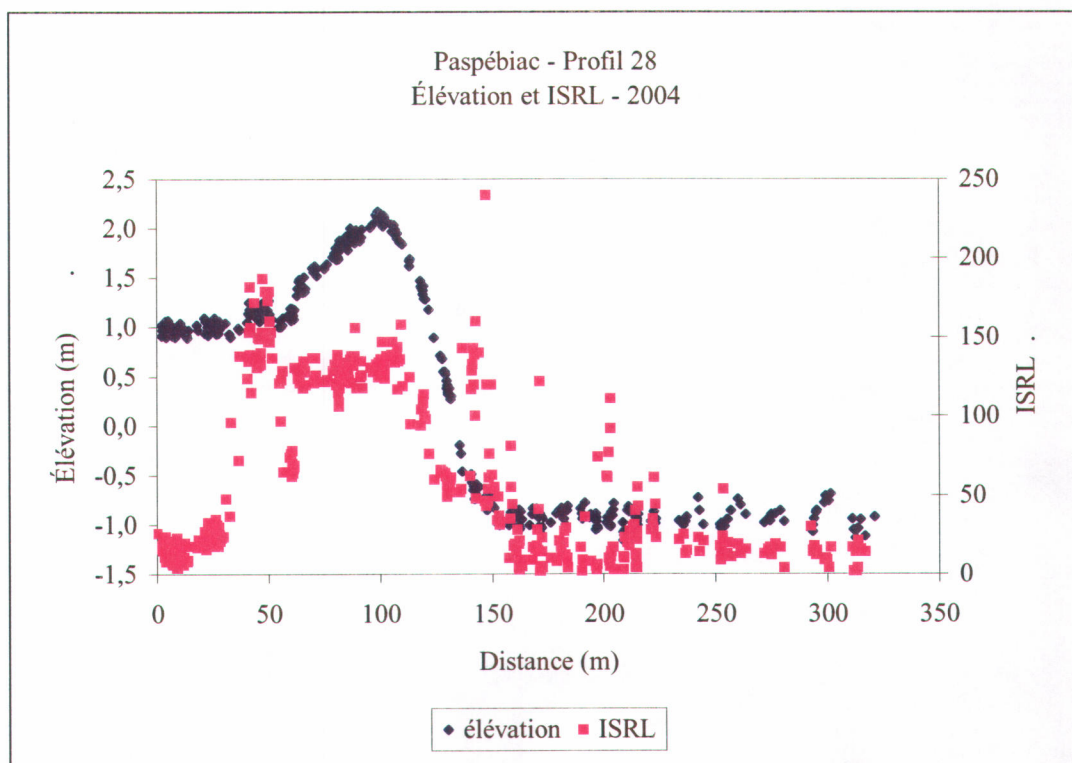


Figure 16. Profils d'élévation et d'ISRL à Paspébiac (profil 28) – mai 2004.

**REPROGRAPHIE DE LA REMISE FINALE
DU MÉMOIRE OU DE LA THÈSE**

Lors de la remise finale de mon mémoire ou de ma thèse, les photocopies ont été effectuées par :

l'étudiant(e) :



*Les photocopies effectuées par l'étudiant(e)
seront sous sa responsabilité.*

Mande Boucher
Nom

Mande Boucher
Signature

Nom du directeur de recherche: Bernard Long

Nom du co-directeur de recherche: —

Boursier ou non-boursier: —