

Master Sciences de la Terre et de l'Univers, Environnement

1^{ère} année

Analyse de l'évolution du bilan sédimentaire en Baie de Wissant



(Baie de Wissant, Mai 2014 ; photo N. Beauchamp)

par Niniane BEAUCHAMP

Tuteur : Arnaud HEQUETTE

Remerciements

Je remercie mon tuteur, M. Arnaud Héquette, Professeur des Universités, pour m'avoir accompagnée lors de ce stage,

Je remercie également M. Thibaut Segard, Maire de Tardinghen (62), commune associée étroitement à la réalisation de ce stage,

Je remercie également M. Alain Trentesaux, Professeur des Universités et Mme Yvonne Battiau, Professeur Emérite, pour m'avoir proposé ce stage,

Merci à Vincent Sipka et à Adrien Cartier, Ingénieurs d'Etude, pour la sortie de terrain en Baie de Wissant,

Je remercie toute l'équipe de Morphodynamique des Littoraux, de l'ULCO, pour m'avoir accueillie dans leurs locaux et conseillée tout au long de ce stage,

Merci à M. Patrice Bretel, Ingénieur de Recherche pour avoir répondu à mes questions,

Et merci tout particulièrement à Adrien Crapoulet, doctorant, et Denis Marin, assistant ingénieur cartographe, pour m'avoir accompagnée quotidiennement dans l'utilisation des différents logiciels, et dans mon travail en général.

Table des matières

<i>Résumé</i>	2
<i>Abstract</i>	2
I-Introduction	3
II- Site d'étude	3
III- Méthodologie	5
<i>A) Acquisition des données LIDAR</i>	5
<i>B) Exploitation des données LIDAR</i>	6
1) Création de grilles et méthode de calcul	6
2) Extraction du trait de côte et du niveau des pleines mers moyennes (PMM)	7
3) Détermination de la limite arrière des dunes.....	9
4) Calculs de volumes	10
a) Volumes par secteur	10
b) Volumes par profil	10
5) Evolution du trait de côte	11
6) Calculs des largeurs.....	11
IV- Résultats	12
<i>A) Evolution du trait de côte de 2008 à 2014</i>	12
<i>B) Bilans sédimentaires des dunes et des hauts de plage</i>	14
1) Hauts de plage.....	14
2) Dunes	16
3) Comparaison dunes et hauts de plage.....	17
<i>C) Lien entre l'évolution du trait de côte et les bilans sédimentaires</i>	19
1) Dunes	19
2) Hauts de plage.....	19
<i>D) Liens entre largeurs de hauts de plage et volumes</i>	22
V-Conclusion	24
Liste des figures	25
Liste des tableaux	25
Bibliographie	26
Annexes	27

Résumé

Le travail effectué lors de ce stage porte sur l'étude du bilan sédimentaire côtier en Baie de Wissant (Nord de la France). Des données LiDAR de 2008 à 2014 ont été exploitées grâce au logiciel Golden Software Surfer. Elles ont permis de calculer des volumes de dunes et de hauts de plage et des évolutions de traits de côte sur une période de 6 ans. Les 4 secteurs étudiés sont ceux de la Dune de la Baraque Fricot, de la Dune du Châtelet, de la Dune d'Aval, et de la Dune d'Amont. Cette étude met en évidence le fait que les dunes connaissent une dynamique plus lente que les hauts de plage, ces derniers étant plus souvent affectés par les vagues. Elle propose un stock sédimentaire ou une largeur de haut de plage minimaux pour que le trait de côte soit stable. Cette étude précise également les secteurs en érosion et ceux en accrétion, sur la période 2008-2014.

Mots clefs : *Baie de Wissant, trait de côte, stock sédimentaire, dune, haut de plage*

Abstract

This work is about sediment budgets in Wissant Bay, Northern France. LiDAR data from 2008 to 2014 was used with Golden Software Surfer. It allows us to calculate dune and backshore volumes, but also shoreline evolution on a 6-year period. Four areas were studied: Baraque Fricot, Châtelet, Aval and Amont.

This work shows that coastal dunes and upper beach evolve at different time scales, the morphology of the upper beach being more variable due to the recurrent action of waves, comparatively to dunes that are only reached by waves during storm events. It suggests a minimal volume or width of backshore above which shoreline seems to remain stable.

This work also defines eroding, accreting or stable areas along the coast.

Key words : *Wissant Bay, shoreline, sediment budget, dune, backshore*

I-Introduction

L'érosion des littoraux est un phénomène qui touche plusieurs régions du globe (par exemple l'île de Sylt, Allemagne : Richter *et al* 2011) mais qui prend une importance toute particulière lorsqu'il touche des milieux anthropisés. C'est le cas ici de la Baie de Wissant, dans le Nord de la France. Cette côte sableuse bordée par des dunes est en érosion depuis quelques décennies, bien que certains secteurs semblent être en accrétion (Aernouts & Héquette, 2005). Les différentes études menées sur cette problématique peuvent aider, à terme, à mieux comprendre les causes de l'érosion et de l'accrétion dans ce secteur, et éventuellement à trouver des solutions pour stabiliser le trait de côte. Quelques-unes se sont penchées sur l'évolution de la bathymétrie près de la côte (Clabaut, 1988 ; Vicaire, 1991 ; Aernouts & Héquette, 2005).

Depuis quelques années, le LiDAR (LIght Detection And Ranging, ou encore, télédétection par laser) est utilisé pour des études en zone littorale (Saye *et al.* 2005, Mitasova *et al.* 2010 ; Levoy *et al.* 2013, Montreuil *et al.* 2014,)

Récemment, le projet CLAREC (Contrôle par Laser Aéroporté des Risques Environnementaux Côtiers), regroupant plusieurs universités et laboratoires de la Normandie, la Picardie et le Nord-Pas-de-Calais depuis 2008, a effectué plusieurs campagnes de mesures à l'aide du LiDAR, couvrant une zone allant de la Baie du Mont St Michel à la frontière belge.

Ces données permettent, entre autres, d'obtenir des Modèles Numériques de Terrain que l'on peut ensuite exploiter pour calculer des volumes, ici de sable, et avoir une idée plus précise de l'évolution des littoraux.

Ce mémoire présentera l'exploitation de données LIDAR acquises en 2008, 2011, 2012 et 2014, qui suivra l'évolution du stock sédimentaire sur le haut de plage et les dunes de la Baie de Wissant sur cette période de 6 ans.

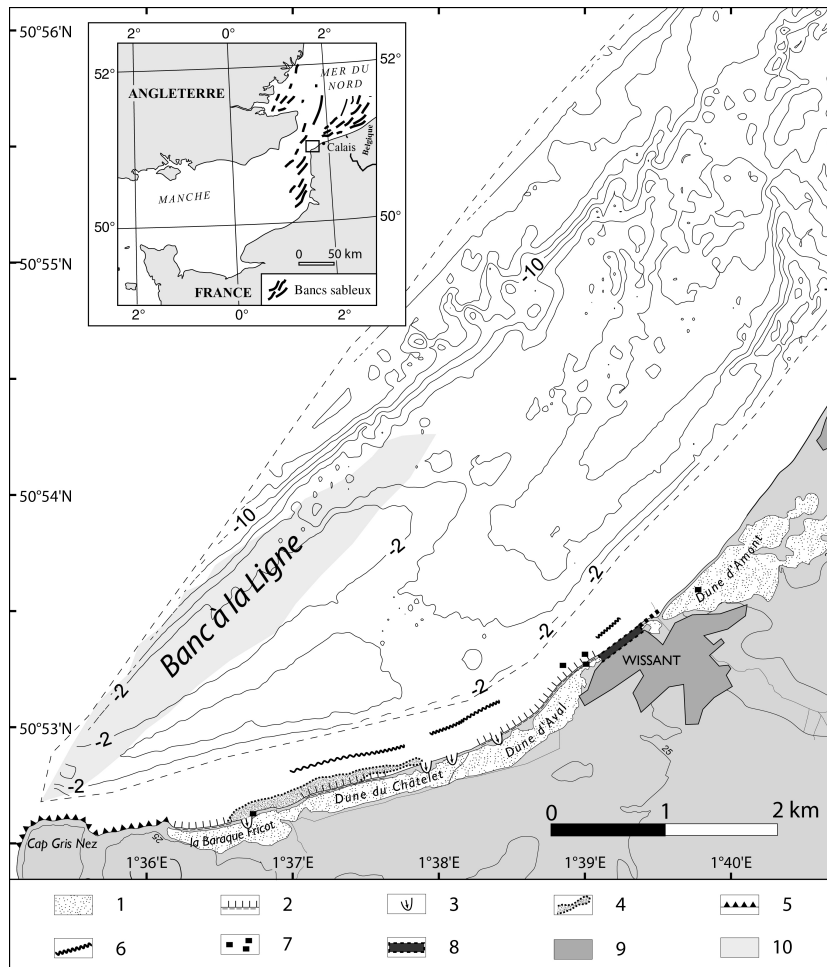
L'objectif principal de ce travail sera de déterminer jusqu'à quel point le stock sédimentaire influe l'évolution du trait de côte.

II- Site d'étude

La Baie de Wissant se situe au bord de la Manche, dans le Nord de la France. Elle s'étend entre les caps Gris-Nez et Blanc-Nez sur environ 10 kilomètres de longueur. La marée y est de type semi-diurne, avec un marnage de 6,95 m en vive-eau et de 4,15 m en morte-eaux (SHOM, 2013).

C'est une côte majoritairement constituée de sable quartzique (Anthony & Héquette, 2007), et qui possède un cordon dunaire en érosion à l'Ouest, pour les dunes de la Baraque Fricot, la dune du Châtelet et la dune d'Aval (Fauchois, 1998). A l'Est, le cordon dunaire est plutôt stable ; on a une tendance à l'accrétion (Figure 1). Nous ne nous intéresserons pas dans cette étude aux falaises, notamment celles des caps Blanc-Nez (au Nord) et Gris-Nez (au Sud) (Figure 1).

Près du Cap Gris-Nez, puis s'éloignant de la côte en remontant vers le Nord-Est, le Banc à la Ligne s'étend sur 3,5 km en longueur et 500 m en largeur. Ce banc de sable est lui aussi sujet à l'érosion et à l'accrétion. (Héquette & Aernouts, 2005).



1 : dunes littorales ; 2 : falaises dunaires ; 3 : brèche ou sifflevent ; 4 : cordon de galets ; 5 : falaises rocheuses ; 6 : affleurement de tourbe ; 7 : blockhaus ; 8 : digue ; 9 : zone urbanisée ; 10 : localisation approximative du banc à la Ligne.

Figure 1 : Localisation du site d'étude (les isobathes correspondent à la bathymétrie de 2002 ; fond de carte de la partie terrestre, modifié d'après Messence et Cohen, 2002). (Héquette & Aernouts, 2005)

Dans cette étude, nous nous intéresserons à 4 secteurs : le secteur de la dune de la Baraque Fricot, celui de la dune du Châtelet, celui de la dune d'Aval et celui de la Dune d'Amont (Figure1). Chaque secteur sera divisé en deux zones : le haut de plage et la dune. Les données étudiées seront celles de 2008 (Mai), 2011 (Mars), 2012 (Octobre) et 2014 (de Décembre 2013 à Janvier 2014) . Nous avons donc 32 compartiments au total.

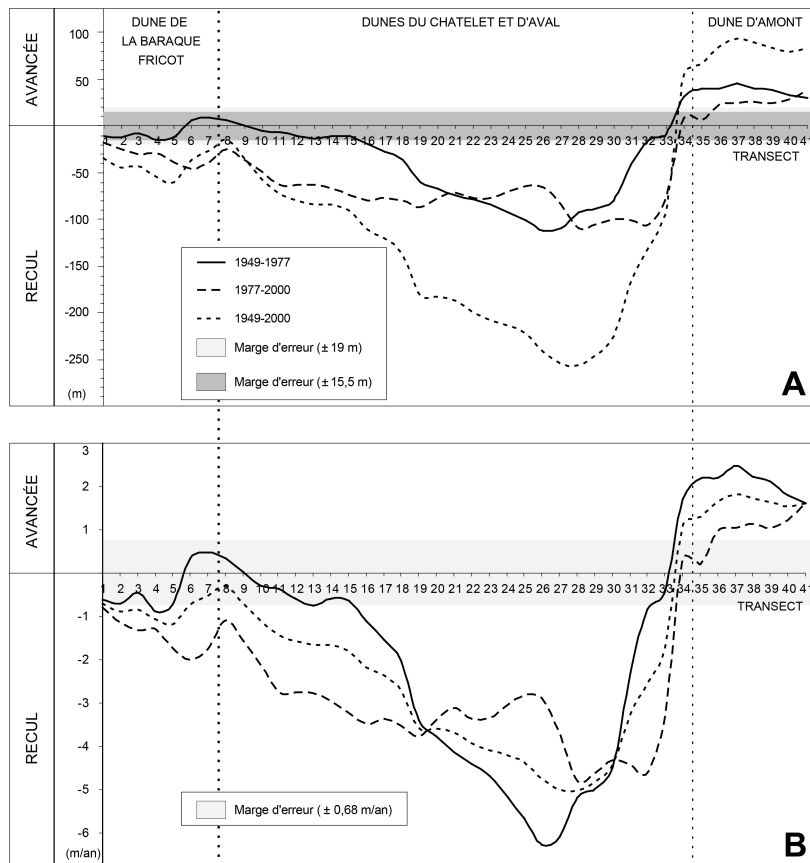


Figure 2 : A) : évolution de la position du trait de côte en Baie de Wissant entre 1949 et 2000 ; B) : rythmes annuels d'évolution du trait de côte pour les périodes 1949-1977, 1977-2000, et 1949-2000. (Héquette & Aernouts, 2005)

III- Méthodologie

A-Acquisition des données LIDAR

En Mai 2008, le bureau d'études Terra Imaging a réalisé une campagne Lidar pour la DDTM du Nord (Direction Départementale des Territoires et de la Mer). Les données à partir de 2011 ont été acquises dans le cadre du projet CLAREC , qui utilise un système de Laser à Balayage Latéral Aéroporté (LBLA) : le Leica ALS60.

Le dispositif est constitué d'un laser réfléchi sur un miroir oscillant perpendiculairement à l'axe de vol (jusqu'à +/- 35° à partir du nadir). Des impulsions laser sont envoyées vers le sol, depuis un avion. Le dispositif enregistre le temps que met le laser (longueur d'onde de 1064 nm, dans le domaine des infra-rouges) pour faire l'aller-retour entre l'avion et le sol, ainsi que divers autres paramètres tels que l'angle du miroir etc., afin de déterminer la distance entre l'avion et le point vers lequel le laser a émis une impulsion. On peut en déduire l'altitude de ce point. (Bretel *et al.*, 2013)

On obtient des données sous forme de fichiers texte que l'on peut ouvrir dans un tableur. Les données brutes se présentent sous la forme de coordonnées (x ; y ; z), où (x ; y) sont les coordonnées en Lambert 93 et où (z) est l'altitude, en IGN 69.

La marge d'erreur pour les campagnes menées par Terra Imaging est de 25 cm en (x,y) et d'environ 10 cm en (z). On a une moyenne de 1.3 points/m² (Boisson, 2013). Pour les campagnes menées dans le cadre du projet CLAREC, on a une marge d'erreur de 10 à 17 cm en (x,y), et de 7 à 9 cm en (z). On a 1 à 10 points/m² (Bretel *et al.* 2013).

Les points obtenus ne sont pas régulièrement espacés, ceci pour plusieurs raisons : la vitesse de l'avion n'est pas parfaitement constante, le taux d'émission des impulsions laser varie, et la vitesse du miroir oscillant est maximale sur les bords et est minimale au nadir.

B-Exploitation des données LIDAR

Les données LiDAR ont ensuite été exploitées à l'aide du logiciel Golden Surfer. Il a fallu reprojeter les données 2008, initialement en Lambert 2 étendu, dans le système de projection Lambert 93, qui est maintenant le système de projection officiel, depuis 2000 (Journal officiel du 28/12/2000). Les données acquises par CLAREC étaient déjà en Lambert 93. La reprojection a été réalisée grâce au logiciel IGN Map.

1) Création de grilles et méthode de calcul

Il faut tout d'abord supprimer certaines données (échos) correspondant à la végétation par exemple, directement dans le tableur. Nous réalisons dans le cadre de cette étude des MNT (Modèles Numériques de Terrain), c'est à dire que l'altitude donnée est celle au niveau du sol. Si l'on n'avait pas trié les données, on aurait obtenu à la fin un MNE : Modèle Numérique d'Élévation, prenant en compte les bâtiments, la végétation...

Les fichiers "texte" sont ensuite importés dans Surfer où ils sont transformés en grille (*utilisation des outils "grid/data"*). En effet, comme les données brutes ne sont pas régulièrement espacées, la grille permet d'obtenir, grâce à la méthode d'interpolation par triangulation linéaire, un quadrillage régulier (composé ici de cellules de forme carrée, de 50 cm de côté), et associe à chaque cellule une unique valeur. Les données sont donc simplifiées (Figure 3). (Il est important que les grilles aient toutes le même espacement, ici 50 cm (on a donc des carrés de 50 cm de côté), pour pouvoir comparer les données par la suite.) Le logiciel ne considère ensuite que le point au centre de chaque carré de la grille. C'est avec ces points, maintenant régulièrement espacés, qu'il pourra faire les calculs suivants. On peut ensuite visualiser les données sous forme de carte, en affichant des lignes de niveau et en remplissant les contours (*utilisation de l'outil "contour map"*).

NB : il est également possible de créer des grilles avec non pas des carrés mais des rectangles, mais cette méthode n'est pas employée ici.

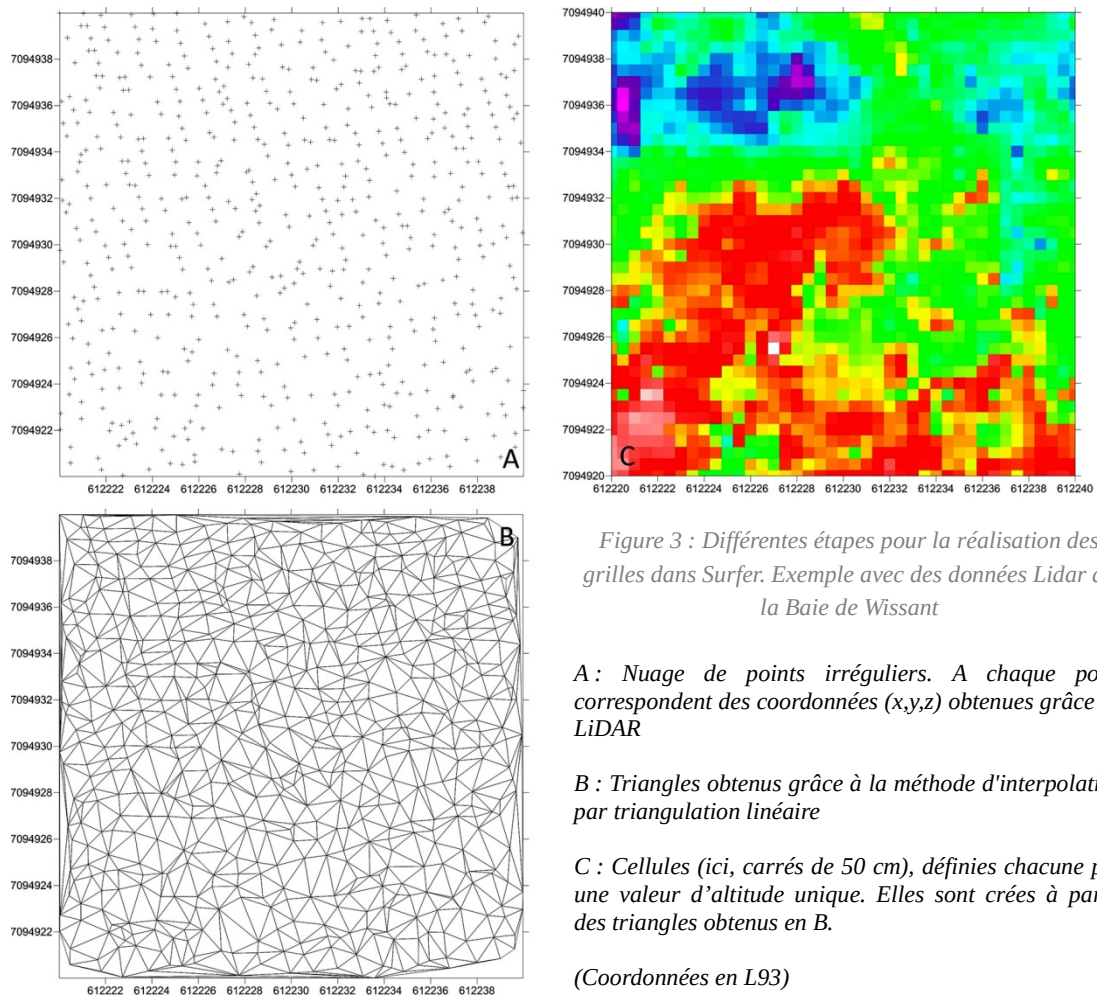


Figure 3 : Différentes étapes pour la réalisation des grilles dans Surfer. Exemple avec des données Lidar de la Baie de Wissant

A : Nuage de points irréguliers. A chaque point correspondent des coordonnées (x,y,z) obtenues grâce au LiDAR

B : Triangles obtenus grâce à la méthode d'interpolation par triangulation linéaire

C : Cellules (ici, carrés de 50 cm), définies chacune par une valeur d'altitude unique. Elles sont créés à partir des triangles obtenus en B.

(Coordonnées en L93)

2) Extraction du trait de côte et du niveau des pleines mers moyennes (PMM)

Plusieurs définitions du trait de côte peuvent être employées. Celle que nous avons retenue ici est celle par la méthode du gradient de pente : à partir des modèles numériques de terrain, on calcule un gradient de pente sur l'ensemble des données Lidar étudiées. On a alors un nombre très important de polygones qui sont créés dans Surfer (Figure 4). On ne sélectionne que les polygones correspondant aux ruptures de pente de valeur 0,15. Grâce à la connaissance du terrain, aux photographies aériennes, et à la visualisation globale des données Lidar, on peut isoler la seule ligne qui nous intéresse : celle du trait de côte, qui correspond au pied de dune.

Le front dunaire est caractérisé par des isolignes très resserrées. On a affiché sur la Figure 4 les lignes de valeurs 0,1 ; 0,15 ; 0,2 ; 0,25 ; 0,3 ; 0,35 ; 0,4 ; 0,45 et 0,5. La ligne rouge correspond à la ligne de valeur 0,15 au niveau du front dunaire. C'est le trait de côte que l'on a isolé.

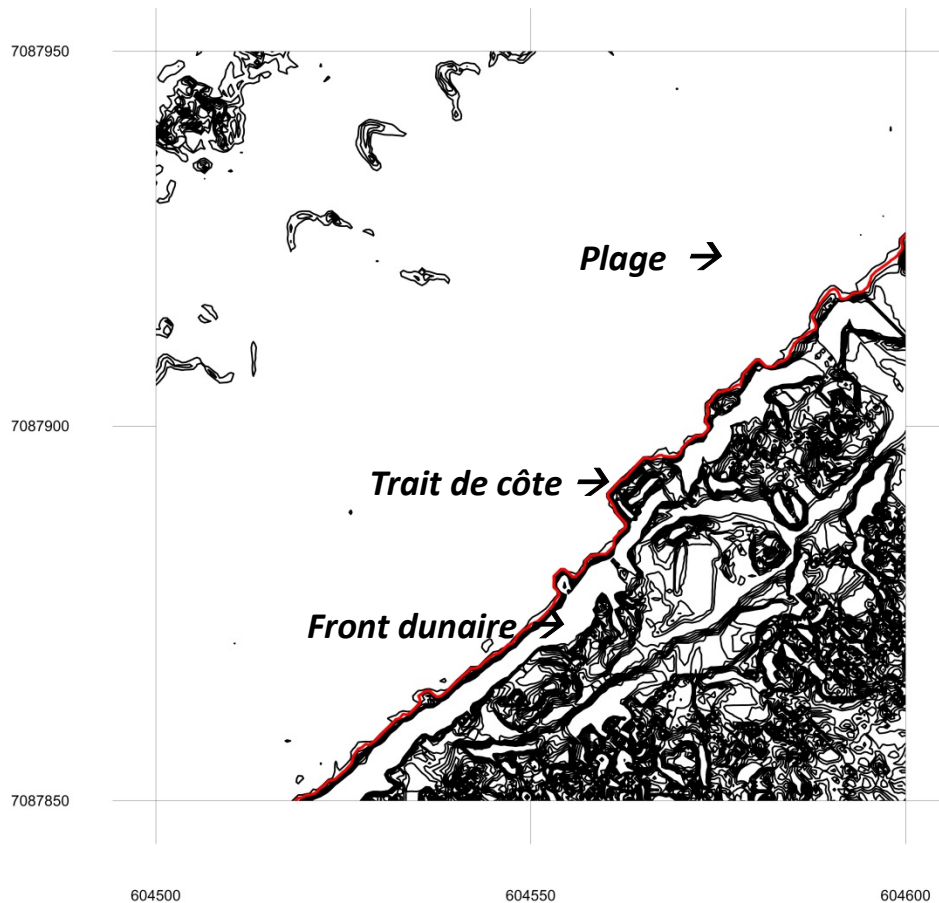
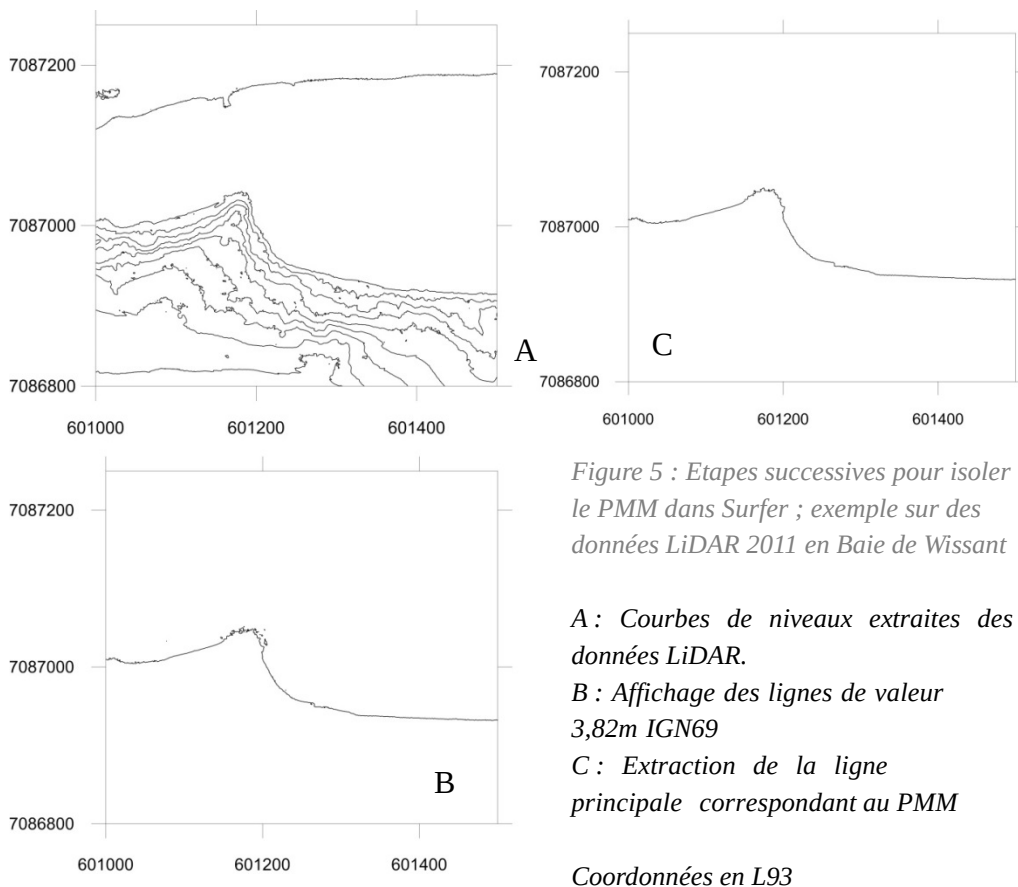


Figure 4 : Extraction du trait de côte gradient dans Surfer.
Exemple en baie de Wissant. Coordonnées en L93

Le PMM a été défini, dans notre étude, comme la limite inférieure du haut de plage. D'après les données 2013 du SHOM, il correspond à la cote d'altitude 3,82 m en Baie de Wissant. Le PMM est la moyenne entre la valeur des pleines mers de vive-eau et les pleines mers de morte-eau. Pour extraire la ligne correspondant au PMM, on a affiché les données dans Surfer, puis on n'a sélectionné que la ligne de niveau de valeur 3,82 m (Figure 5). Il a fallu supprimer les polygones et les polygones isolés (ce sont par exemple des îlots émergés, mais dont l'altitude vaut aussi par endroit 3,82 mètres), afin d'obtenir une ligne continue le long de la côte.

L'espace limité par le trait de côte (vers les terres) et le PMM (vers la mer), est défini comme étant le haut de plage. C'est au sein de cet espace en 3D appelé "compartiment" que l'on effectuera les calculs de stocks sédimentaires. Lorsque le trait de côte se situe en avant du PMM, le haut de plage est inexistant à cet endroit ; sa largeur et son volume valent zéro.



3) Détermination de la limite arrière des dunes

La limite arrière des dunes (vers l'intérieur des terres) a été définie sur la base de critères morphologiques et de végétation, à partir de photographies aériennes de 2009. Elle est considérée fixe pendant toute la période d'étude (2008 à 2014).

Les dunes en Baie de Wissant sont en grande partie fixées par de la végétation, et il y a donc vraisemblablement peu de variations au-delà de la limite choisie. Par contre, il n'est pas exclu qu'il y ait des modifications localement.

L'espace délimité par le trait de côte (vers la mer) et par la limite arrière des dunes (vers l'intérieur des terres), correspond donc au compartiment "dune", qui complète le compartiment "haut de plage" pour un même secteur.

4) Calculs de volumes

a) Volumes par secteur

On a calculé le volume de chaque compartiment dans son ensemble, donc 32 compartiments différents au total, (2 par secteur et par an) à l'aide du logiciel Surfer, grâce à l'outil "volume". Le plancher a été fixé à 0,988 m IGN 69. Cette valeur est inférieure aux plus basses valeurs d'altitude pour les hauts de plage.

Il est important de prendre un plancher commun pour tous les calculs de volumes réalisés, et que ce plancher prenne bien en compte tout le compartiment.

Afin de comparer les variations de volume entre chaque secteur, on calcule les volumes en m^3 par mètre linéaire, c'est à dire qu'on divise le volume d'un compartiment par sa longueur, obtenue grâce au logiciel Surfer.

b) Volumes par profil

Ont ensuite été réalisés les calculs de volume par profil. Ces profils ont été tracés perpendiculairement à la côte, et sont espacés de 50 m (Figure 6).

Au total, 984 profils ont été analysés : pour chacun d'entre eux, on a calculé le volume (en m^3 par m linéaire) à partir de l'aire du profil (Figure 7). (Des m^3 par mètres linéaires s'écrivent aussi : m^3/m , ce qui revient, après simplification des unités, à des m^2).

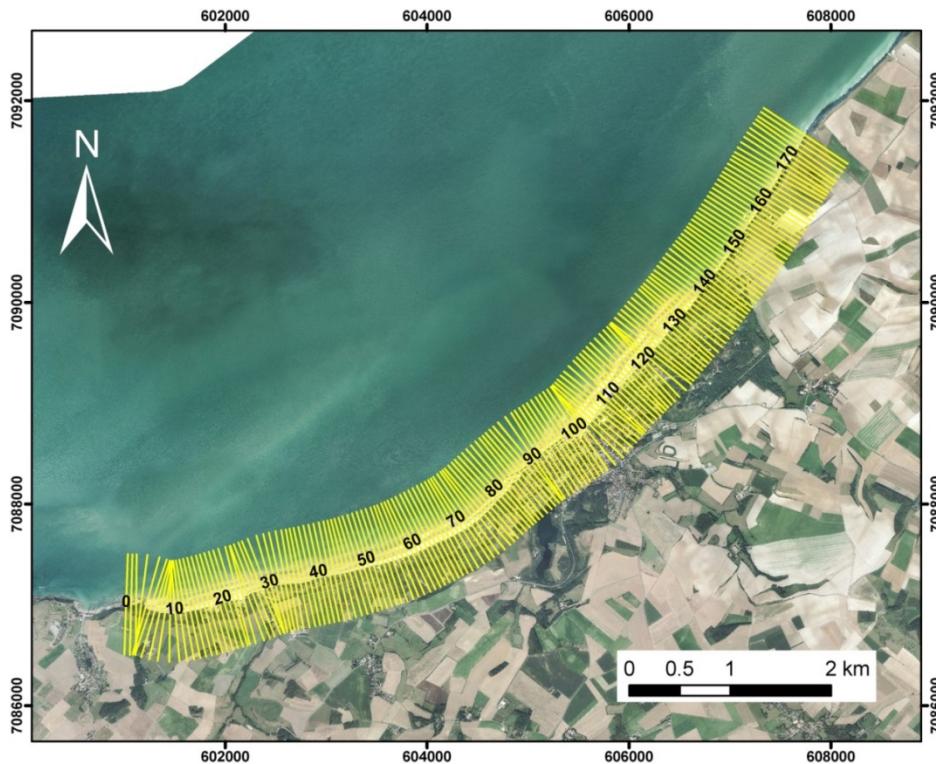


Figure 6 : Localisation des profils en Baie de Wissant

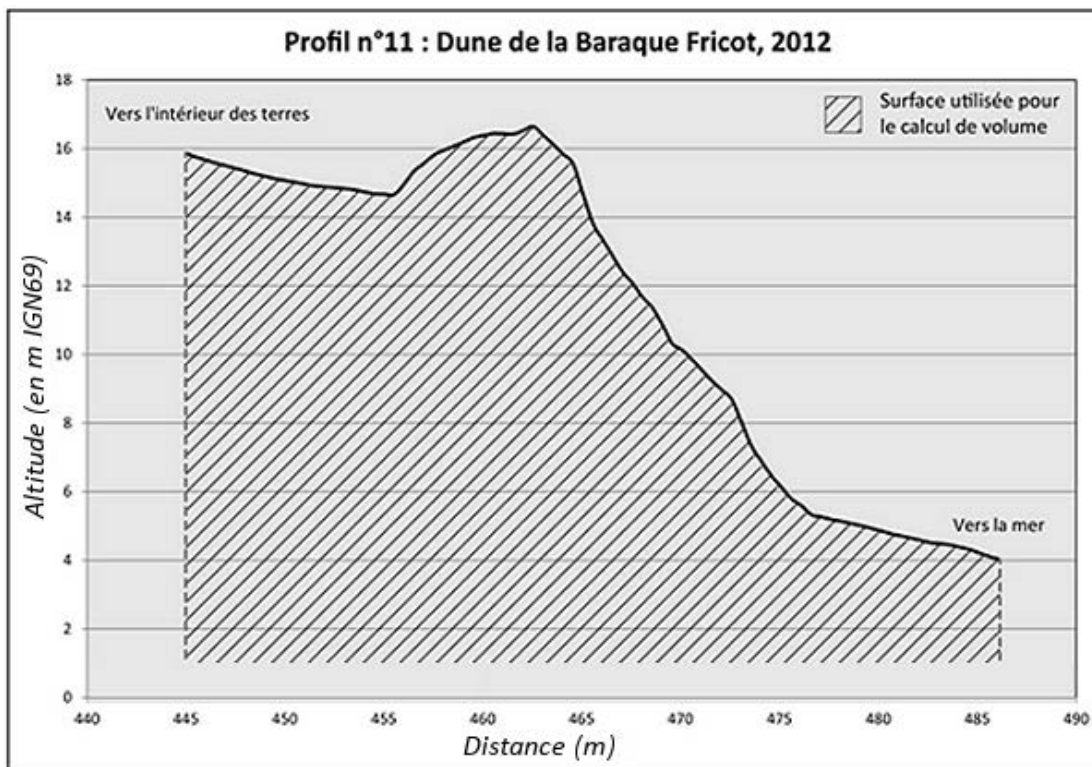


Figure 7 : Exemple de profil extrait des données LIDAR 2012 : profil n°11 : Dune de la Baraque Fricot

5) Evolution du trait de côte

L'évolution du trait de côte a été calculée grâce au logiciel "MobiTC", pour chaque profil et entre chaque année (2008 à 2011, 2011 à 2012, 2012 à 2014 et 2008 à 2014). A chaque volume de profil calculé précédemment, on peut maintenant associer une évolution du trait de côte, en mètres (avancée, recul, ou stabilité).

6) Calculs des largeurs

Dans cette étude, on calcule des volumes pour les hauts de plage et les dunes. Cependant, nous avons voulu voir si un lien existait entre le volume et la largeur des hauts de plage. Le haut de plage étant défini entre le niveau des pleines mers moyennes (PMM) et le trait de côte, on a calculé la distance, par profil, entre ces deux niveaux. Pour évaluer la position du PMM au fil des ans, on a utilisé à nouveau le logiciel MobiTc.

IV- Résultats

A) Evolution du trait de côte de 2008 à 2014

On a tracé l'évolution du trait de côte en Baie de Wissant de 2008 à 2014 (Figure 8). Les trois courbes représentent la position du trait de côte par rapport à 2008.

Secteur de la Baraque Fricot (profils 10 à 24/25): Pour le secteur de la dune de la Baraque Fricot, on observe un recul général, allant jusqu'à presque 20 m par endroit, de 2008 à 2014, sauf en quelques points (profils 10 à 13 et profil 24, soit les extrémités du secteur).

Secteur de la Dune du Châtelet (profils 24 à 64) : Le secteur de la dune du Châtelet a connu un recul progressif dans sa partie Sud-Ouest, entre 2008 et 2014. Le recul sur cette période atteint par endroits plus de 40 m. On observe une légère avancée dans le reste du secteur, jusqu'en 2012, mais de 2012 à 2014, on assiste à un recul de 5 à 10 m en moyenne.

Secteur de la Dune d'Aval (profils 65 à 85/86) : Le secteur de la dune d'Aval a connu une très légère avancée dans sa partie Sud de 2008 à 2011, mais depuis, on assiste à un recul généralisé, surtout dans sa partie Nord, atteignant parfois 30 m.

Secteur de la Dune d'Amont (profils 103 à 147) : Le secteur de la dune d'Amont connaît un recul progressif dans sa partie Sud-Ouest, aux alentours du profil 110. Ailleurs, on a pu constater une légère avancée (entre 0 et 10 m) jusqu'en 2012, mais depuis 2012, on assiste plutôt à un recul.

Evolution du trait de côte en Baie de Wissant de 2008 à 2014

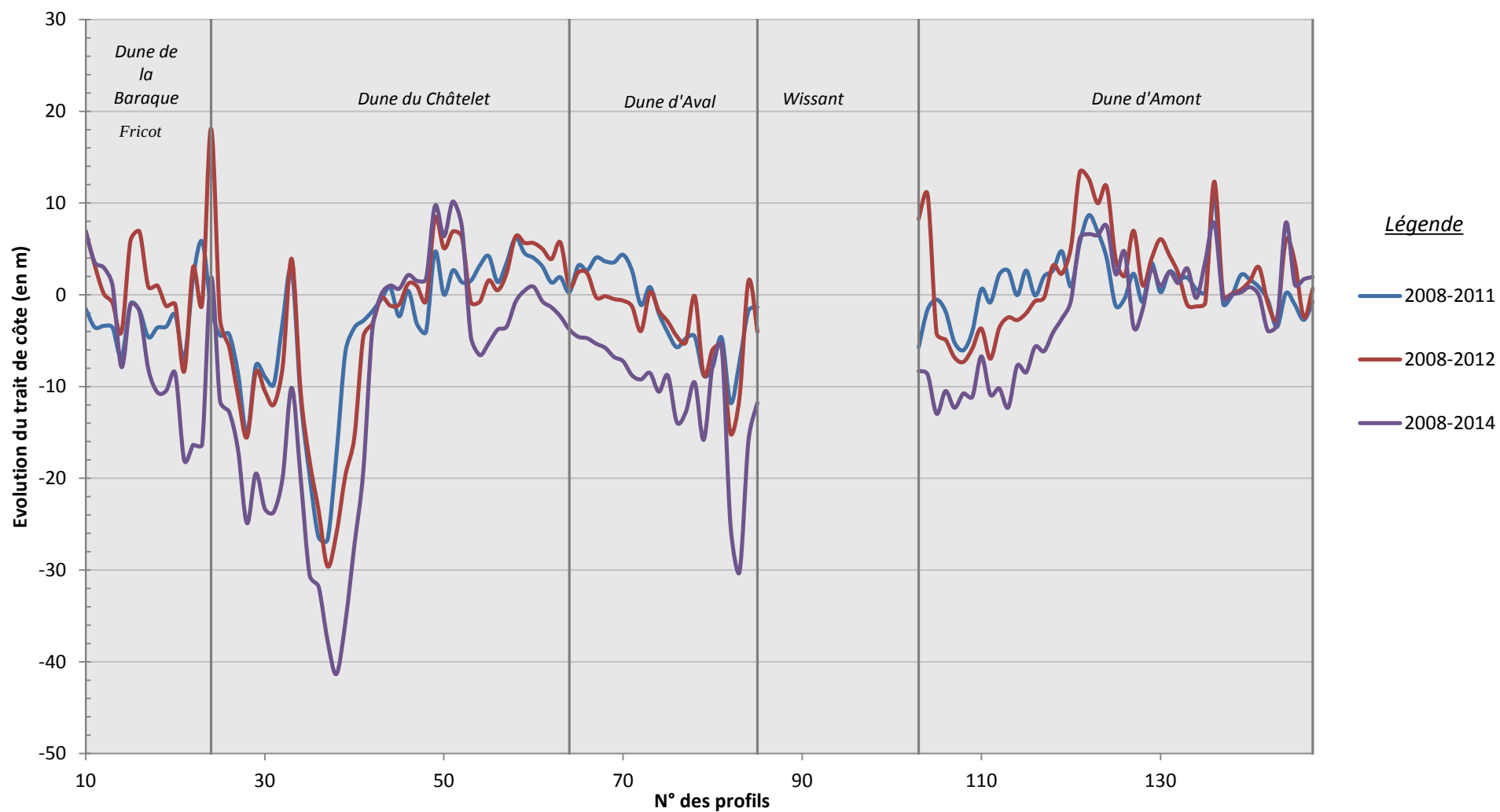


Figure 8 : Evolution du trait de côte en Baie de Wissant de 2008 à 2014

B) Bilans sédimentaires des dunes et des hauts de plage

Les volumes globaux par mètres linéaires ont été calculés pour les 32 compartiments étudiés. Est présentée dans cette partie l'évolution des volumes en m³ par mètre linéaire entre les différentes années d'études.

1) Hauts de plages

Le Tableau 1 représente les volumes des hauts de plage par secteur et par année.

Années	Secteur de la dune de la Baraque Fricot	Secteur de la dune du Châtelet	Secteur de la dune d'Aval	Secteur de la dune d'Amont
2008	19521.6	45933.8	39188.7	145337.5
2011	40839.1	74232	48882.3	191859.4
2012	13551.4	59532.1	45474.5	203188
2014	25639	97711.1	51320.7	182398

Tableau 1 : Volumes des hauts de plage de la Baie de Wissant en m³ ; de 2008 à 2014. Plancher à 0,988 m IGN 69

Afin de pouvoir comparer les secteurs, on a ramené les volumes globaux (Tableau 1) en mètres linéaires, en les divisant par la longueur du secteur (Tableau 2) :

Secteur	Longueur en mètres
Haut de plage / Baraque Fricot	724.1
Haut de plage/ Châtelet	2020.8
Haut de plage / Aval	1047.6
Haut de plage / Amont	2238.6

Tableau 2 : Longueur moyenne des hauts de plage en Baie de Wissant en mètres. Référence : données Lidar 2012.

On obtient les volumes par mètre linéaire et par année d'étude (Tableau 3). L'évolution de ces stocks est présentée dans la Figure 9.

Années	Secteur de la dune de la Baraque Fricot	Secteur de la dune du Châtelet	Secteur de la dune d'Aval	Secteur de la dune d'Amont
2008	27	22.7	37.4	64.9
2011	56.4	36.7	46.7	85.7
2012	18.7	29.5	43.4	90.8
2014	35.4	48.4	49	81.5

Tableau 3 : Volumes des hauts de plage de la Baie de Wissant en m³/ mètre linéaire ; de 2008 à 2014. Plancher 0,988 m IGN 69

Evolution des stocks sédimentaires des hauts de plage en Baie de Wissant de 2008 à 2014

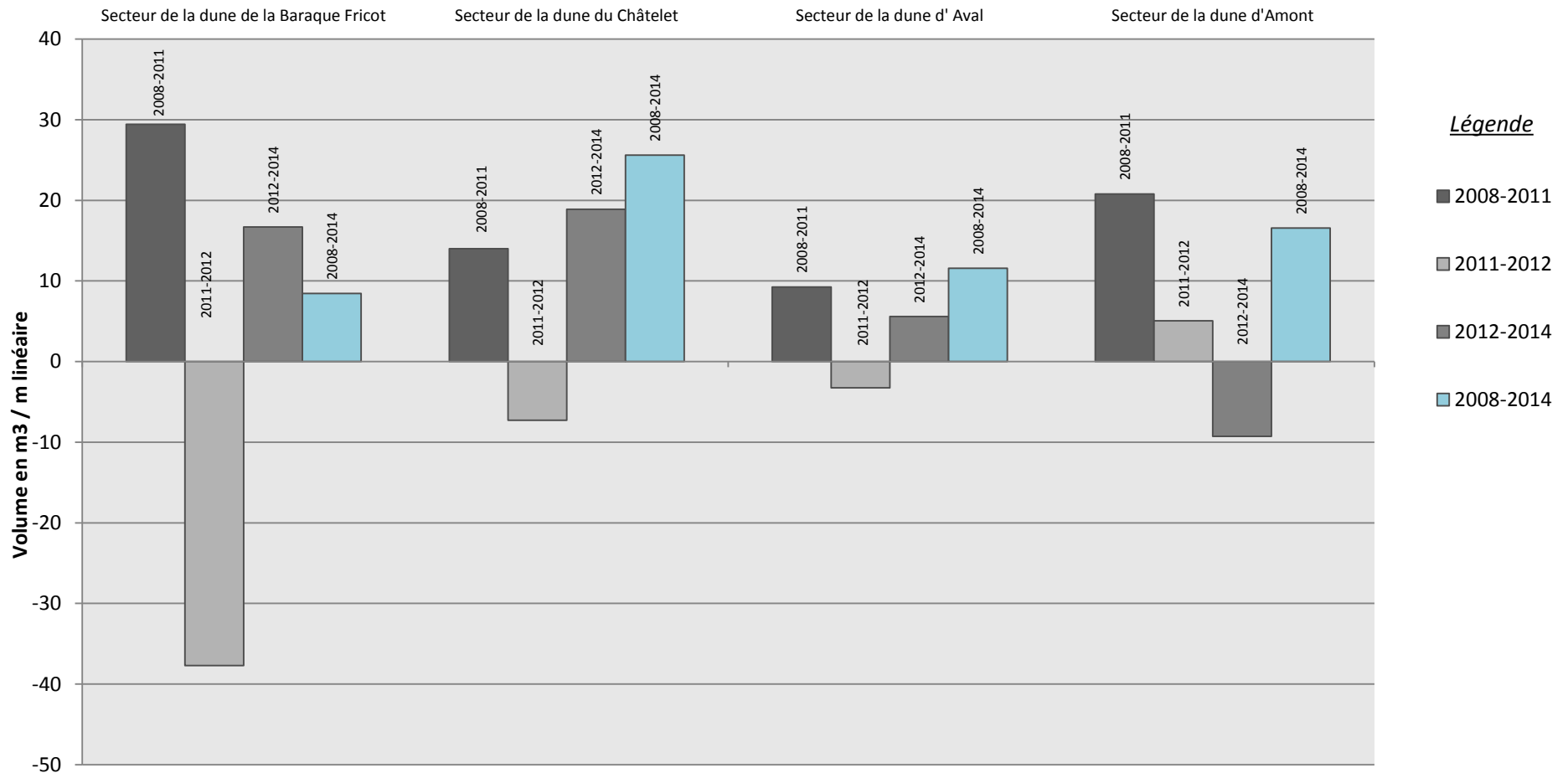


Figure 9 : Evolution des stocks sédimentaires des hauts de plage en Baie de Wissant de 2008 à 2014

On constate, pour tous les secteurs, une augmentation de volume entre 2008 et 2011. Entre 2011 et 2012, on observe deux évolutions différentes : les hauts de plage des secteurs de la Baraque Fricot, de la dune du Châtelet et de la dune d'Aval voient leur volume diminuer, tandis que le haut de plage de la dune d'Amont voit son volume augmenter. La tendance s'inverse de 2012 à 2014 : les 3 premiers secteurs connaissent une nouvelle augmentation de volume, alors que celui de la dune du Châtelet diminue. Cependant, pour la période d'étude globale, de 2008 à 2014, on constate une augmentation du volume des hauts de plage dans tous les secteurs.

Les volumes sont ramenés en mètres linéaires, ce qui nous permet de mieux comparer les secteurs entre eux : le secteur de la Baraque Fricot connaît de fortes variations : de 2008 à 2011, il gagne presque 30 m³/m linéaire, alors que de 2011 à 2012, il en perd presque 40. Le secteur de la Dune d'Aval connaît peu de variations sur la période d'étude : il gagne un peu plus de 10 m³/m linéaire en 6 ans.

2) Dunes

On raisonne de la même façon pour les dunes que pour les hauts de plage. Le Tableau 4 donne les volumes globaux, le Tableau 5 les longueurs de chaque secteur, et le Tableau 6 donne les volumes globaux par mètre linéaire. La Figure 10 donne l'évolution des stocks sédimentaires dans les dunes de 2008 à 2014.

Années	Dune de la Baraque Fricot	Dune du Châtelet	Dune d' Aval	Dune d'Amont
2008	472904.7	120439.3	956835.9	2533048
2011	477465.5	1205794.8	965700.8	2579964.3
2012	482971	1221790.9	981138.3	2634599.4
2014	449196	1101638.5	871658.3	2555292.7

Tableau 4: Volumes des différentes dunes de la Baie de Wissant en m³ ; de 2008 à 2014. Plancher à 0,988 m IGN 69

Secteur	Longueur en mètres
Dune de la baraque Fricot	781
Dune du Châtelet	1970
Dune d'Aval	1090
Dune d'Amont	2242

Tableau 5 : Longueur moyenne des dunes en Baie de Wissant en mètres. Référence : données Lidar 2012

Années	Dune de la Baraque Fricot	Dune du Châtelet	Dune d' Aval	Dune d'Amont
2008	605.7	611.4	877.4	1129.6
2011	611.5	612.1	885.6	1150.6
2012	618.6	620.3	899.7	1175
2014	575.3	559.2	799.3	1139.6

Tableau 6 : Volumes des différentes dunes en Baie de Wissant en m³/m linéaire, de 2008 à 2014. Plancher à 0,988 m IGN 69

Pour les secteurs dunaires, on observe une légère augmentation des volumes entre 2008 et 2011 (entre 0,7 et 8,2 m³/m linéaire pour les secteurs Sud-Ouest, et jusqu'à 21 m³/m linéaire pour la dune d'Amont). On a à nouveau une augmentation des volumes entre 2011 et 2012, bien que cette période soit plus courte que celle de 2008-2011. Entre 2012 et 2014, on assiste à une forte érosion des dunes, c'est pendant cette période que l'on a les pertes de sable les plus importantes. Cette érosion peut peut-être s'expliquer par la succession de tempêtes pendant l'hiver 2013-2014, et notamment la tempête Xaver. D'après le Réseau de Référence des observations marégraphiques (REFMAR), le littoral Atlantique-Manche-Mer du Nord a connu pendant cet hiver-là 7 évènements de tempête entre le 26 Octobre 2013 et le 7 Février 2014 (SHOM, 2014).

Au final, le volume des dunes a diminué entre 2008 et 2014 (jusqu'à -78,1 m³/m linéaire pour la dune d'Aval), sauf pour la dune d'Amont, qui a vu son volume augmenter (de 10 m³/m linéaire). Cependant, la dune d'Amont suit la même évolution accrétion/érosion que les autres secteurs dunaires, mais la perte de volume a été moins importante qu'ailleurs lors de la période 2012-2014, ce qui explique que le bilan 2008-2014 soit positif.

3) Comparaison dunes et hauts de plages

Alors que les hauts de plage connaissent une évolution différente (le secteur de la dune d'Amont ne suit pas la même évolution que les autres) les dunes suivent, elles, la même évolution quelque soit le secteur, même si la dune du Châtelet, qui a connu une forte accrétion de 2008 à 2012, reste, pour l'instant (en Janvier 2014, date de la campagne Lidar), moins affectée par l'érosion que les autres dunes.

Si l'on regarde les volumes bruts pour chaque année (Tableaux 1 et 4, et Annexe 4), on remarque que le volume des dunes varie peu par rapport au volume total, alors que les hauts de plage rencontrent, proportionnellement à leur volume, des variations plus importantes.

Cela peut s'expliquer par l'exposition plus importante des hauts de plage aux vagues que les dunes. La morphologie des hauts de plage est plus dynamique et plus variable, alors que les dunes ont une dynamique plus lente : après un évènement érosif, il leur faut davantage de temps pour se reconstituer.

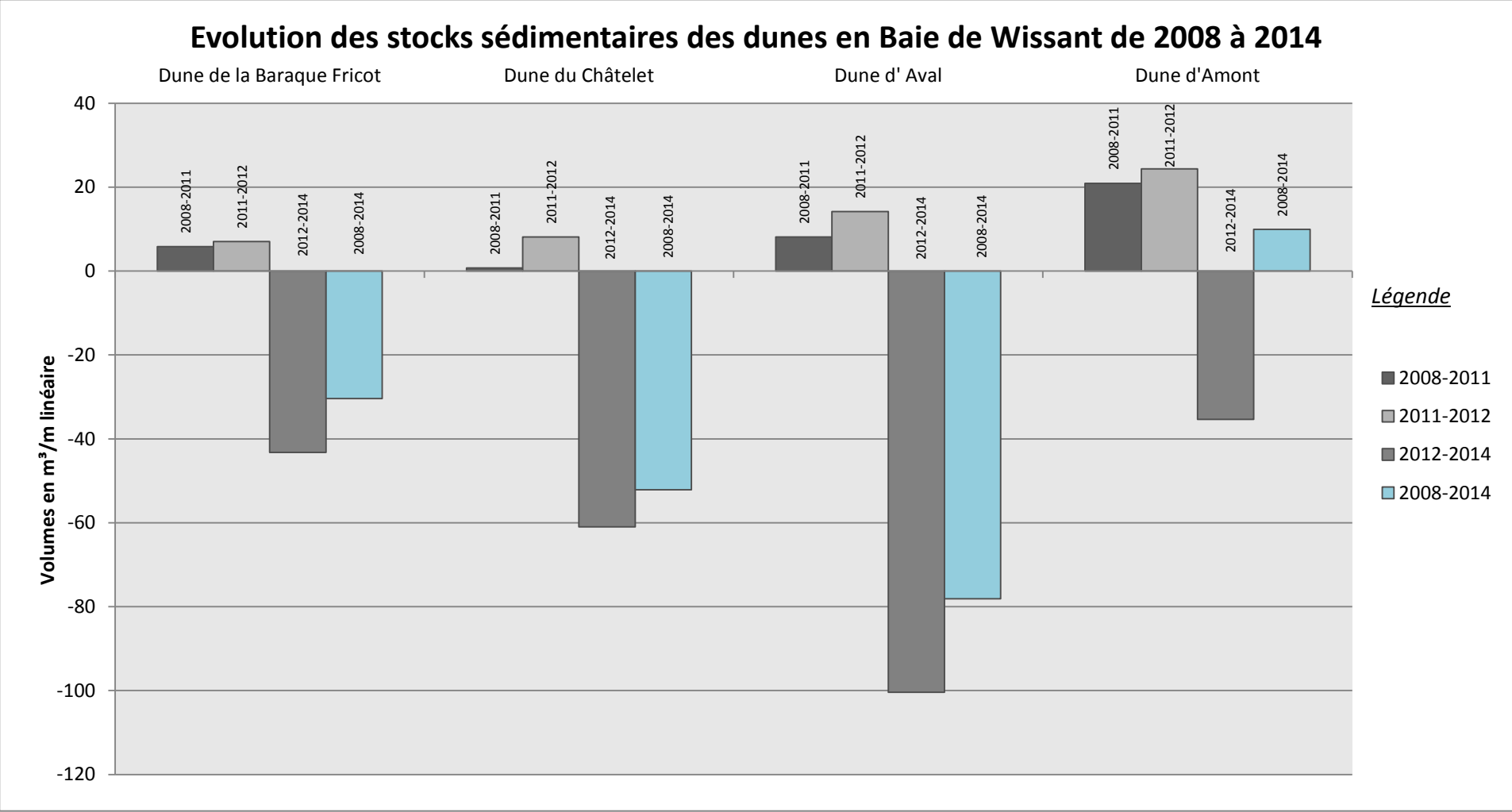


Figure 10 : Evolution des stocks sédimentaires des dunes en Baie de Wissant de 2008 à 2014

C) Lien entre l'évolution du trait de côte et les bilans sédimentaires

1) Dunes

On a comparé, pour chaque profil de dune, l'évolution du trait de côte entre les différentes périodes étudiées et l'évolution du volume entre ces mêmes périodes (Figure 11). On observe une relation de type linéaire avec un coefficient de corrélation (R^2) d'environ 0,5.

Ce résultat est cohérent : quand le trait de côte avance, c'est la dune qui se développe. Quand le trait de côte recule, alors on a une perte de volume pour la dune.

Lorsque l'on examine les relations entre l'évolution du trait de côte et le bilan sédimentaire des dunes côtières, pour les différentes périodes de mesure, les résultats montrent que les meilleures corrélations sont obtenues pour la période la plus longue (2008 à 2014) avec un R^2 de 0,5, et que les corrélations sont nettement moins bonnes pour la période la plus courte (2011-2012) avec un R^2 de 0,01 (Annexe 4). En effet, l'ampleur des variations n'est sans doute pas assez importante par rapport à la marge d'erreur.

2) Hauts de plage

En comparant l'évolution du trait de côte pour chaque profil de haut de plage avec l'évolution du volume pour ces mêmes profils, on n'obtient pas une relation nette (Annexe 1). Ceci est dû au fait que la plage, ici le haut de plage, est plus variable et plus sensible que la dune. Les événements qui influencent l'évolution du trait de côte sont des événements de grande ampleur, alors que le volume du haut de plage peut-être influencé par des événements d'ampleur moins importante.

Par exemple, on peut avoir un recul du trait de côte à un temps t_1 , auquel est associée une baisse du volume du haut de plage toujours à un temps t_1 . A un temps t_2 , on a un nouveau recul du trait de côte, auquel est encore associée une baisse du volume du haut de plage. A un temps t_3 , un petit événement ramène du sable sur la plage, augmentant son volume, qui est maintenant plus important qu'en t_1 . En t_3 , le trait de côte ne varie pas. Si l'on regarde la période t_1 à t_3 , le volume du haut de plage a augmenté alors que le trait de côte a reculé.

On a donc ensuite analysé les données différemment, en traçant des graphiques comparant l'évolution du trait de côte entre 2008 et 2014 et le stock sédimentaire de 2008 (Figure 12).

On voit d'abord que les reculs les plus forts sont associés aux stocks sédimentaires nuls, c'est à dire là où le haut de plage est inexistant en 2008 (Secteur de la dune du Châtelet : reculs d'environ 20 à 40 m). A l'inverse, aux stocks sédimentaires les plus importants sont associées des avancées du trait de côte, donc de l'accrétion (secteur de la dune d'Amont : stocks sédimentaires jusqu'à 150 m³/m linéaire).

On observe un seuil, à environ 80 m³/m linéaire, à partir duquel le stock sédimentaire semble garantir une avancée, ou du moins une stabilité du trait de côte, sur l'échelle de temps étudiée (6 ans, de 2008 à 2014). En dessous de ce seuil, on observe majoritairement de l'érosion, même si une vingtaine de points correspondent à de l'accrétion, mais il est difficile de définir une tendance.

Evolution du trait de côte et des volumes des dunes de 2008 à 2014 en Baie de Wissant

Légende

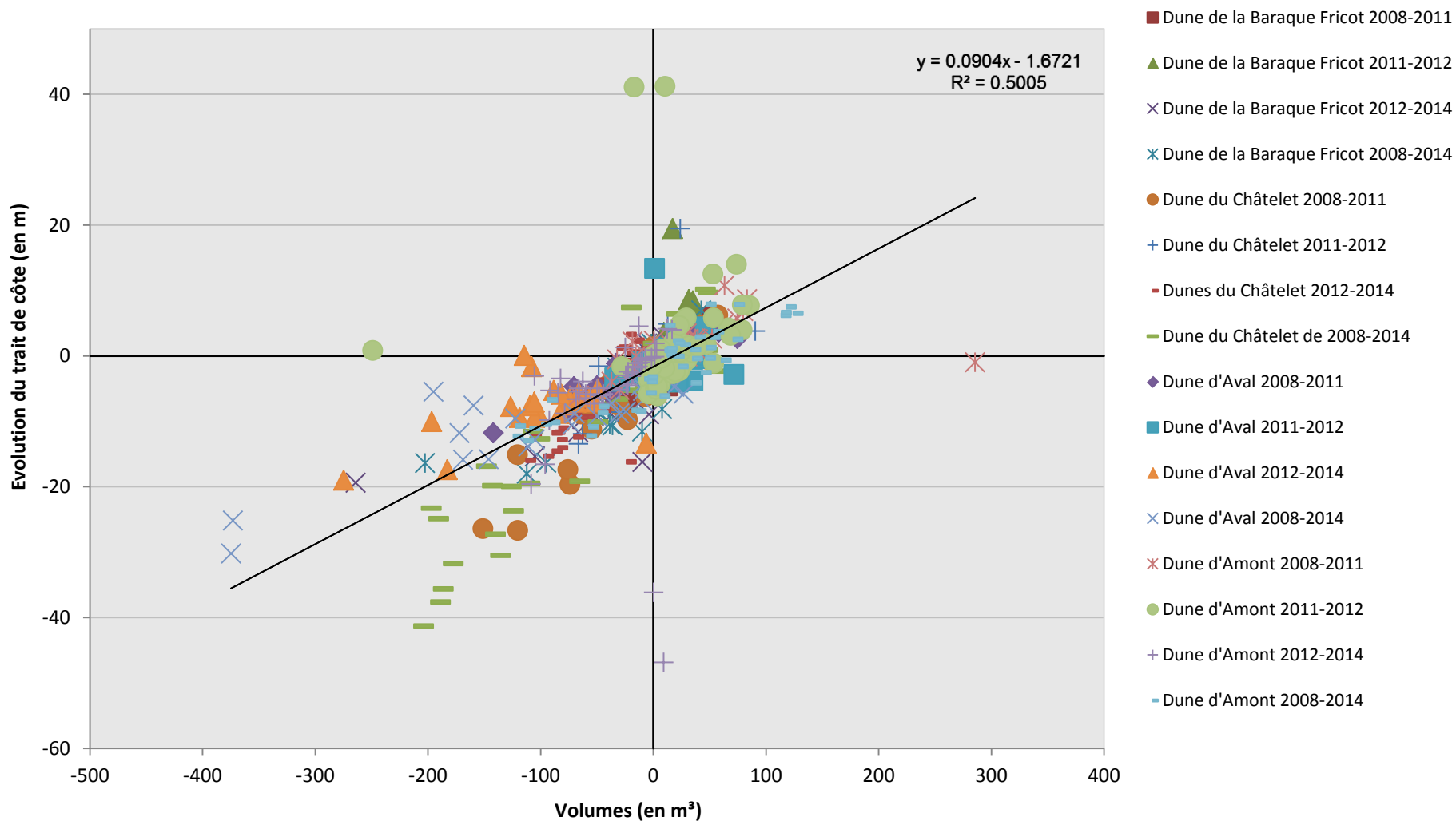


Figure 11 : Evolution du trait de côte et des volumes des dunes de 2008 à 2014 en Baie de Wissant

Evolution du trait de côte entre 2008 et 2014 en Baie de Wissant en fonction du volume initial des hauts de plage

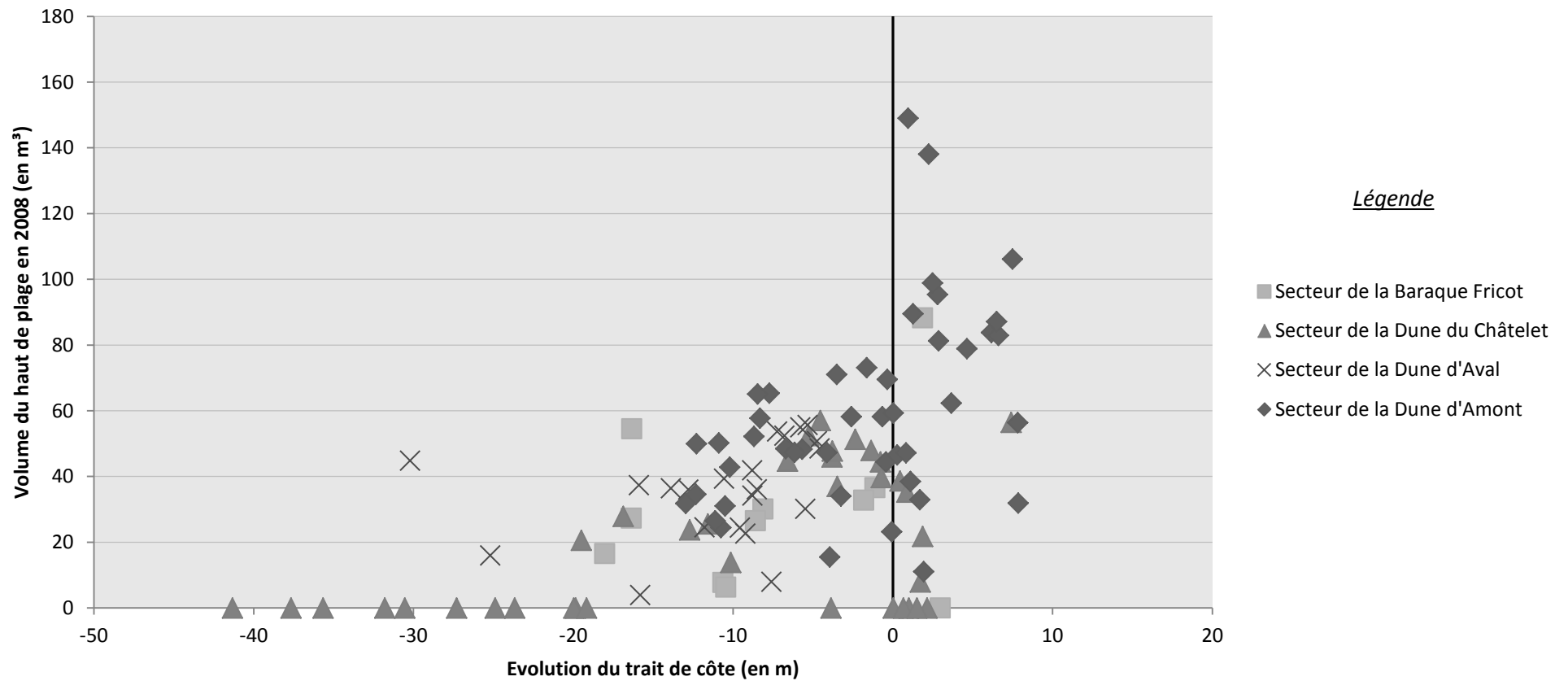


Figure 12 : Evolution du trait de côte entre 2008 et 2014 en Baie de Wissant en fonction du volume initial (2008) des hauts de plages

D) Liens entre largeurs de hauts de plage et volumes

On s'est proposé de montrer la corrélation entre les largeurs et les volumes des hauts de plage. La Figure 13 montre le lien entre les largeurs des hauts de plage en 2008 et le volume sédimentaire associé. On observe une excellente corrélation entre les deux, avec un R^2 (coefficient de corrélation) de plus de 0,9. (Les meilleures corrélations ont un R^2 qui tend vers 1.)

On a refait la figure 12 (qui présente l'évolution du trait de côte en fonction du volume initial) en remplaçant les volumes par les largeurs des hauts de plage (Figure 14). On observe la même distribution que précédemment, et on peut estimer le seuil qui était précédemment à $80\text{m}^3/\text{m}$ linéaire à maintenant 24 m environ. Cette valeur est visible aussi sur la Figure 13.

Ce lien entre les volumes et les largeurs est utile, car les volumes des hauts de plage ne sont pas forcément accessibles, alors que les largeurs des hauts de plage sont des données que l'on peut plus facilement mesurer ou calculer.

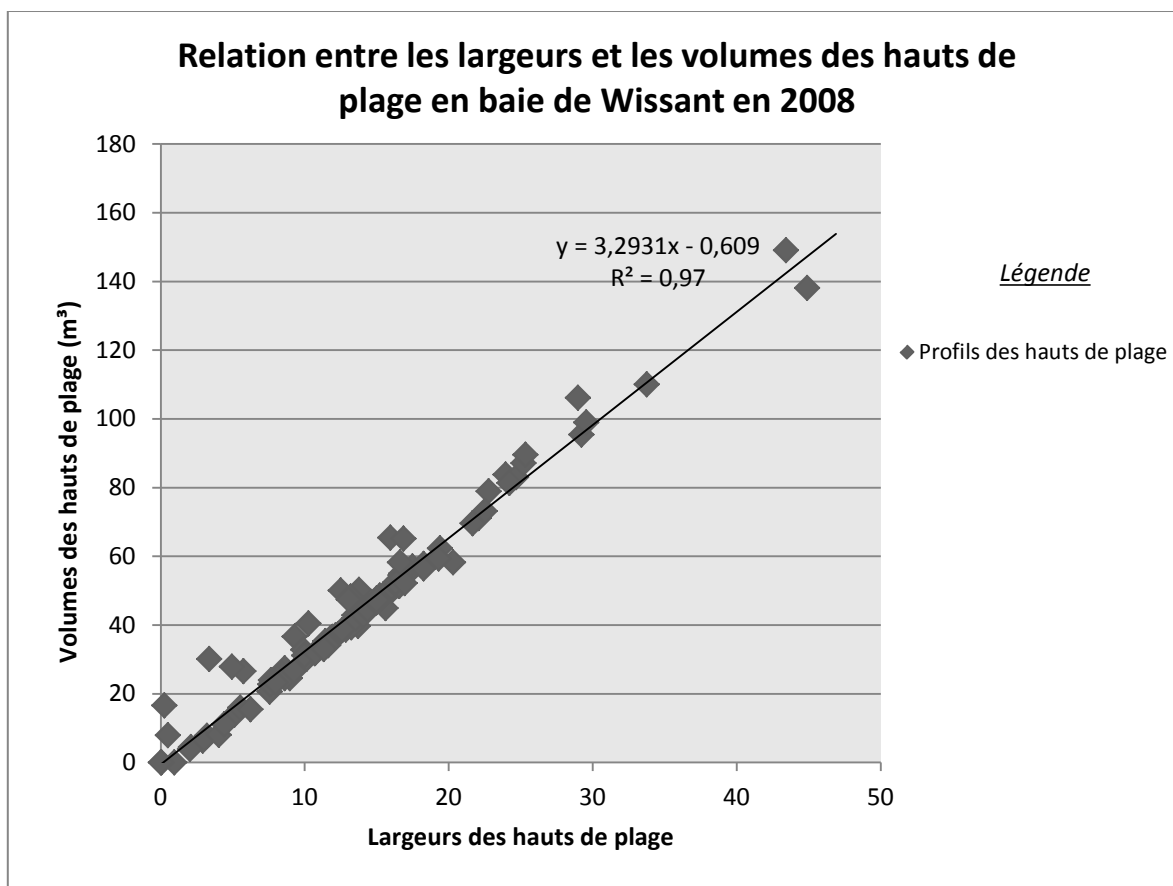


Figure 13 : Relation entre les largeurs et les volumes des hauts de plage en baie de Wissant en 2008.
Plancher à 0,988 m IGN 69 pour les volumes

Evolution du trait de côte entre 2008 et 2014 en Baie de Wissant en fonction de la largeur initiale des hauts de plage

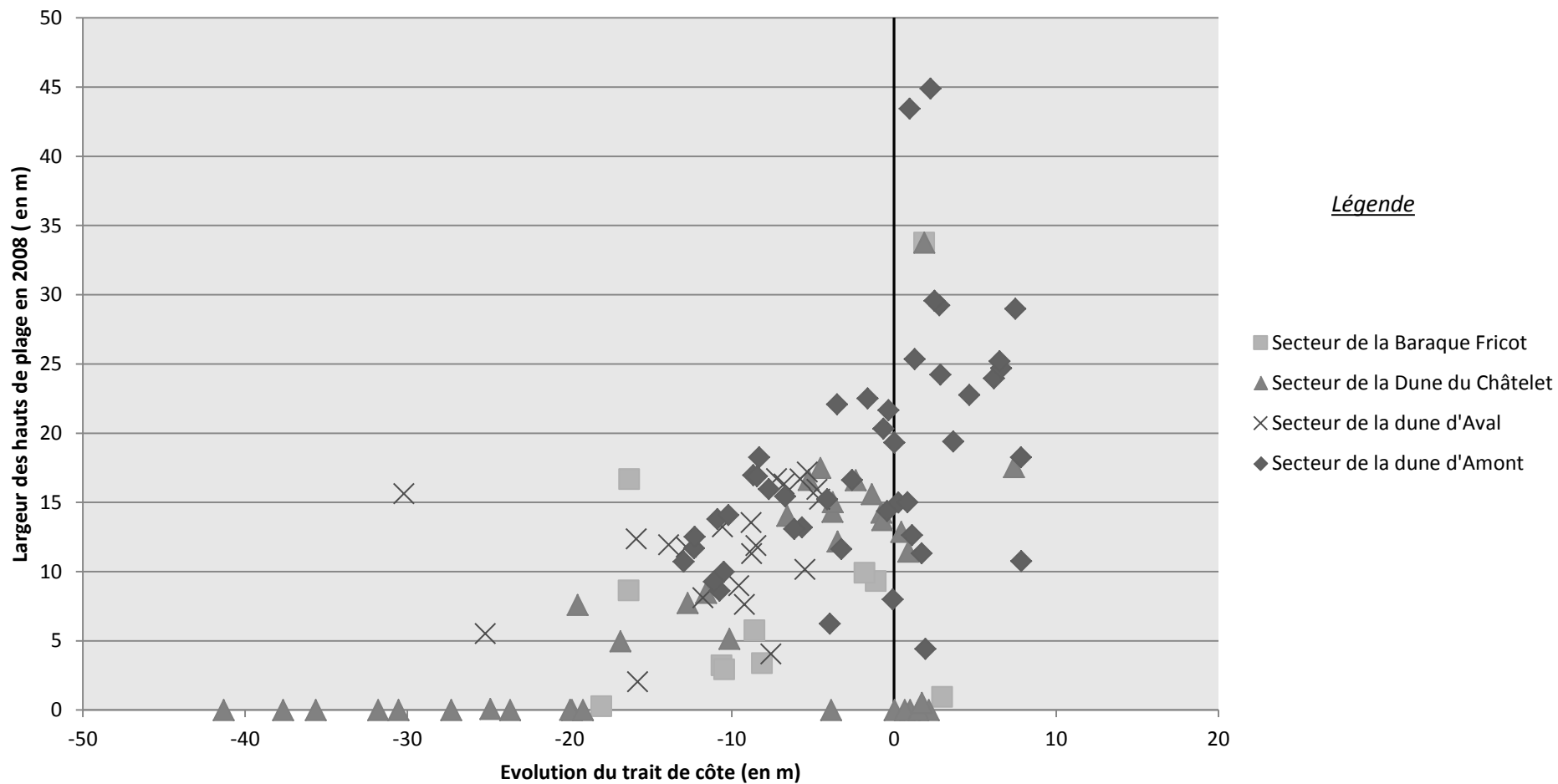


Figure 14 : Evolution du trait de côte entre 2008 et 2014 en Baie de Wissant en fonction des largeurs initiales (2008) des hauts de plage

V-Conclusion

A travers l'exploitation de données Lidar, sur une période relativement courte (6 ans) on a pu comparer des évolutions de volumes et de traits de côte en Baie de Wissant, de manière plus précise qu'avec de simples photographies aériennes par exemple. Cependant, cette technique, et l'expérience du terrain dont on ne peut se passer en géologie et en géographie physique, ont permis d'améliorer la méthodologie, et donc par conséquent d'affiner les résultats, de les rendre plus précis.

Grâce à l'exploitation et la comparaison de ces données, plusieurs phénomènes semblent avoir été mis en évidence : un seuil de stock sédimentaire (environ $80 \text{ m}^3 / \text{m}$ linéaire) et une largeur de hauts de plage (environ 24 m) au-dessus desquels le trait de côte semble rester stable, ou prograder vers le large, sur la période d'étude. Le stock sédimentaire des hauts de plage semble donc bien influencer l'évolution du trait de côte. Cette valeur, que l'on ne peut pour l'instant donner que pour ce secteur, pourrait servir, si elle est confirmée par des études sur des périodes plus longues, à gérer d'éventuels rechargements en sable du littoral.

On observe aussi dans cette étude l'évolution différente du secteur de la dune d'Amont par rapport aux autres, même si cette différence avait déjà été observée dans des études précédentes (Aernouts & Héquette, 2005).

La période d'étude est assez courte, ce qui nous oblige à être prudent quant à nos résultats et aux hypothèses que l'on propose. Mais cette étude permet aussi de mettre en évidence et de quantifier des changements sur de courtes périodes, point de vue qu'il est plus difficile d'obtenir avec des études s'intéressant à une période plus longue. Ce travail de mémoire s'intègre dans la thèse d'Adrien Crapoulet, en cours de réalisation à l'ULCO, et qui permettra d'avoir une vision plus large, complétée par d'autres données, des phénomènes affectant les littoraux sableux de la côte d'Opale.

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du site d'étude (les isobathes correspondent à la bathymétrie de 2002 ; fond de carte de la partie terrestre, modifié d'après Messence et Cohen, 2002). (Héquette & Aernouts, 2005)	4
Figure 2 : A) : évolution de la position du trait de côte en Baie de Wissant entre 1949 et 2000 ; B) : rythmes annuels d'évolution du trait de côte pour les périodes 1949-1977, 1977-2000, et 1949-2000.(Héquette & Aernouts, 2005)....	5
Figure 3 : Différentes étapes pour la réalisation des grilles dans Surfer. Exemple avec des données Lidar de la Baie de Wissant.....	7
Figure 4 : Extraction du trait de côte gradient dans Surfer. Exemple en baie de Wissant. Coordonnées en L93	8
Figure 5 : Etapes successives pour isoler le PMM dans Surfer ; exemple sur des données LiDAR 2011 en Baie de Wissant.....	9
Figure 6 : Localisation des profils en Baie de Wissant	10
Figure 7 : Exemple de profil extrait des données LIDAR 2012 : profil n°11 : Dune de la Baraque Fricot	11
Figure 8 : Evolution du trait de côte en Baie de Wissant de 2008 à 2014.....	13
Figure 9 : Evolution des stocks sédimentaires des hauts de plage en Baie de Wissant de 2008 à 2014.....	15
Figure 10 : Evolution des stocks sédimentaires des dunes en Baie de Wissant de 2008 à 2014	18
Figure 11 : Evolution du trait de côte et des volumes des dunes de 2008 à 2014 en Baie de Wissant.....	20
Figure 12 : Evolution du trait de côte entre 2008 et 2014 en Baie de Wissant en fonction du volume initial (2008) des hauts de plage.....	21
Figure 13 : Relation entre les largeurs et les volumes des hauts de plage en baie de Wissant en 2008.	22
Plancher à 0,988 m IGN 69 pour les volumes	22
Figure 14 : Evolution du trait de côte entre 2008 et 2014 en Baie de Wissant en fonction des largeurs initiales (2008) des hauts de plage.....	23

Liste des tableaux

Tableau 1 : Volumes des hauts de plage de la Baie de Wissant en m ³ ; de 2008 à 2014. Plancher à 0,988 m IGN 69...14	14
Tableau 2 : Longueur moyenne des hauts de plage en Baie de Wissant en mètres. Référence : données Lidar 2012..14	14
Tableau 3 : Volumes des hauts de plage de la Baie de Wissant en m ³ /mètre linéaire ; de 2008 à 2014. Plancher 0,988 m IGN 69.....	14
Tableau 4: Volumes des différentes dunes de la Baie de Wissant en m ³ ; de 2008 à 2014. Plancher à 0,988 m IGN 69	16
Tableau 5 : Longueur moyenne des dunes en Baie de Wissant en mètres. Référence : données Lidar 2012.....	16
Tableau 6 : Volumes des différentes dunes en Baie de Wissant en m ³ /m linéaire, de 2008 à 2014. Plancher à 0,988 m IGN 69	17

Bibliographie

AERNOUTS D., HEQUETTE A. (2005) L'évolution du rivage et des petits-fonds en baie de Wissant pendant le XXe siècle (Pas-de-Calais, France). *Géomorphologie*. N°1/2006, p.49-64

ANTHONY E.J., HEQUETTE A.,(2007). The grain-size characterisation of coastal sand from the Somme estuary to Belgium: Sediment sorting processes and mixing in a tide- and storm-dominated setting. *Sedimentary Geology*. N°309, p.369-382

BOISSON A. (2013) Identification et cartographie du trait de côte à partir de photographies aériennes, données LiDAR et mesures in situ par GPS différentiel. Rapport de stage de Master 1 Sciences pour l'Environnement. Université du Littoral Côte d'Opale. 49 p.

BRETEL P., FROIDEVAL L., OLIVIER M., LEVOY F. (2013) Coastal identification from airborne LiDAR surveys a multi criteria approach. 7th International Conference on Coastal Dynamics. 24-28 Juin 2013, Bordeaux. P. 213-216

CLABAUT P. (1988) Dynamique sédimentaire dans le détroit du Pas-de-Calais. Thèse de doctorat, université des Sciences et Technologie de Lille, 251 p.

DAUBORD C. (2014) Caractérisation de 7 évènements de l'automne-hiver 2013-2014 à partir des données disponibles au SHOM. Rapport du SHOM. 31 p.

LEVOY F., ANTHONY E.J., MONFORT O., ROBIN N., BRETEL, P. (2013) Formation and migration of transverse bars along a tidal sandy coast deduced from multi-temporal datasets. *Marine Geology*, n°342, p.39-52

MINISTERE DE 'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT. Décret no 2000-1276 du 26 décembre 2000 portant application de l'article 89 de la loi no 95-115 du 4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics. *Journal officiel*, n°300 du 28 Décembre 2000. p.20746

MITASOVA H., HARDIN E., OVERTON M.F., ONUR KURUM M. (2010) Geospatial analysis of vulnerable beach foredune systems from decadal time series of lidar data. *Coastal Conservation*, vol. 4, issue 3. p .61-172

MONTREUIL A-L., LEVOY F., BRETEL P., ANTHONY E.J., (2014) Morphological diversity and complex sediment recirculation on the ebb delta of a macrotidal inlet (Normandy, France) : A multiple LiDAR dataset approach. *Geomorphology*, n°219, p.114-125

RICHTER A., FAUST D., MAAS H-G. (2013) Dune cliff erosion and beach width change at the northern and southern spits of Sylt detected with multi-temporal LiDAR. *Catena*, n°103, p.103-111

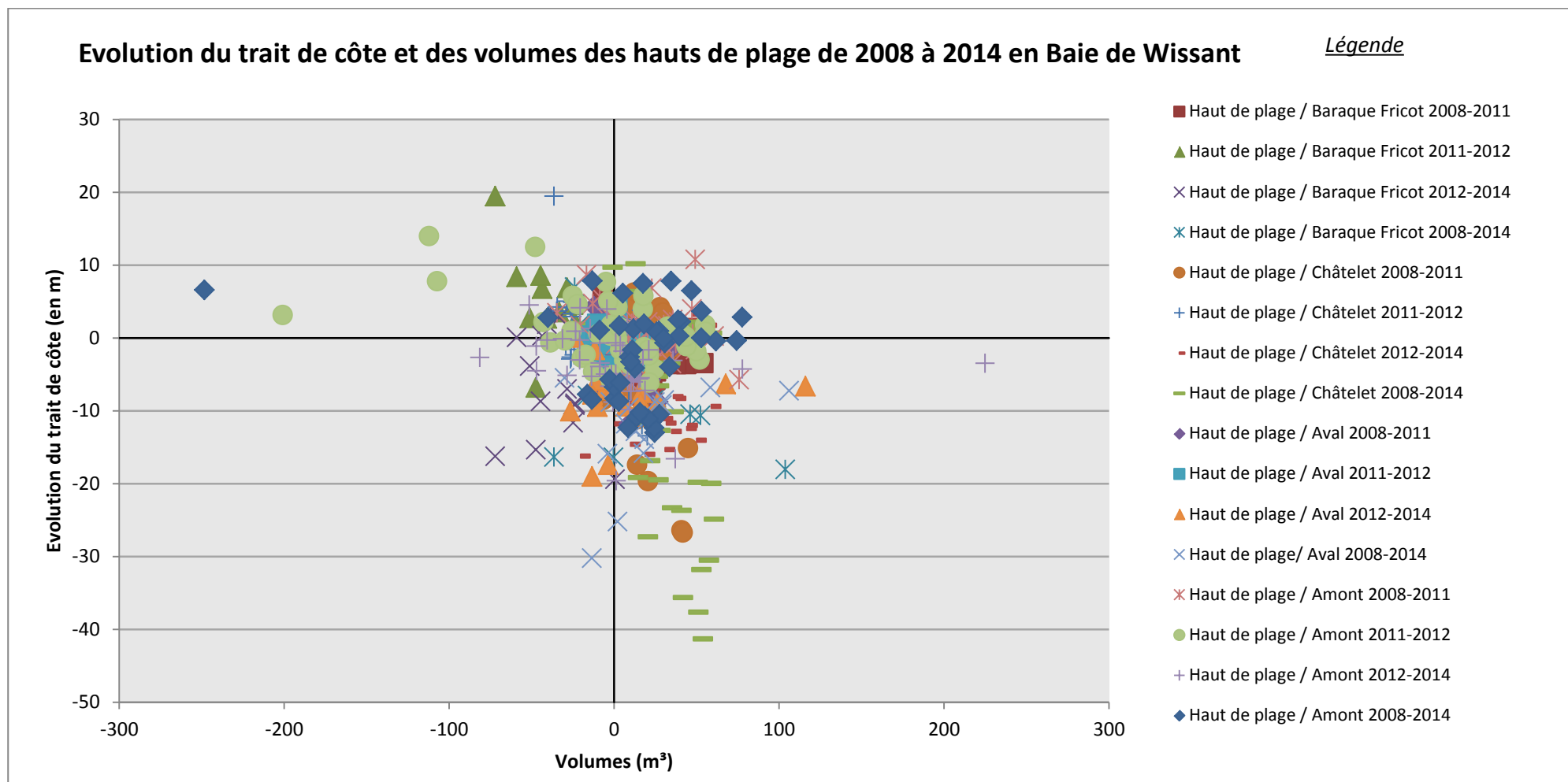
SAYE S.E., VAN DER WAL D., PYE K., BLOTT S.J. (2005) Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion : An investigation at five sites in England and Wales using LiDAR data. *Geomorphology*, n°72,p.128-155

SHOM (2013) Références altimétriques maritimes. Ports de France Métropolitaine et d'Outre-Mer. Edition 2013. 116 p.

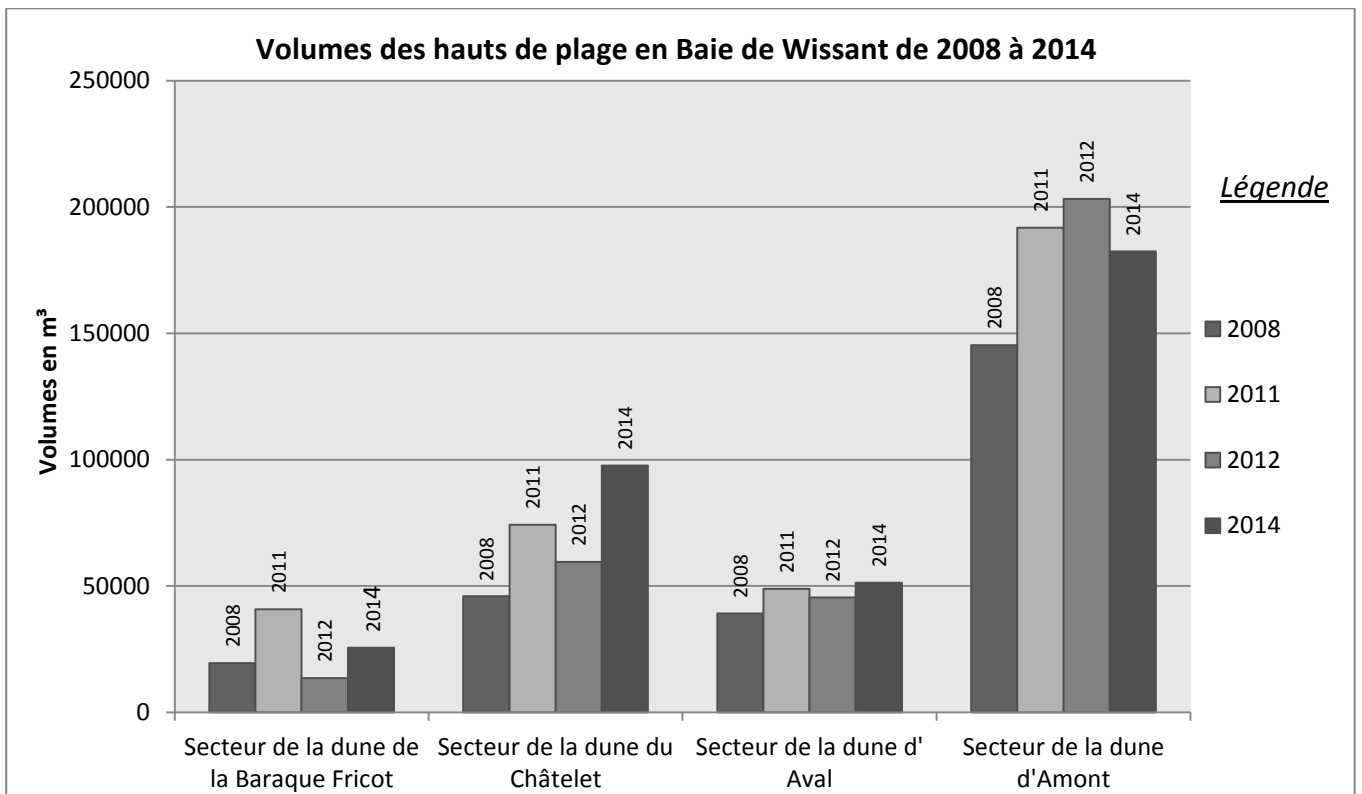
VICAIRE O. (1991) Dynamique hydro-sédimentaire en mer du Nord méridionale (du cap Blanc-nez à la frontière belge). Thèse. Université des Sciences et Technologies de Lille, 264 p.

CHAVEROT S., HEQUETTE A., COHEN O. (2008) , Changes in shoreline evolution along the northern coast of France during the second half of the 20th century. *Zeitschrift für Geomorphology*, n°52, Supplementary Issue 3

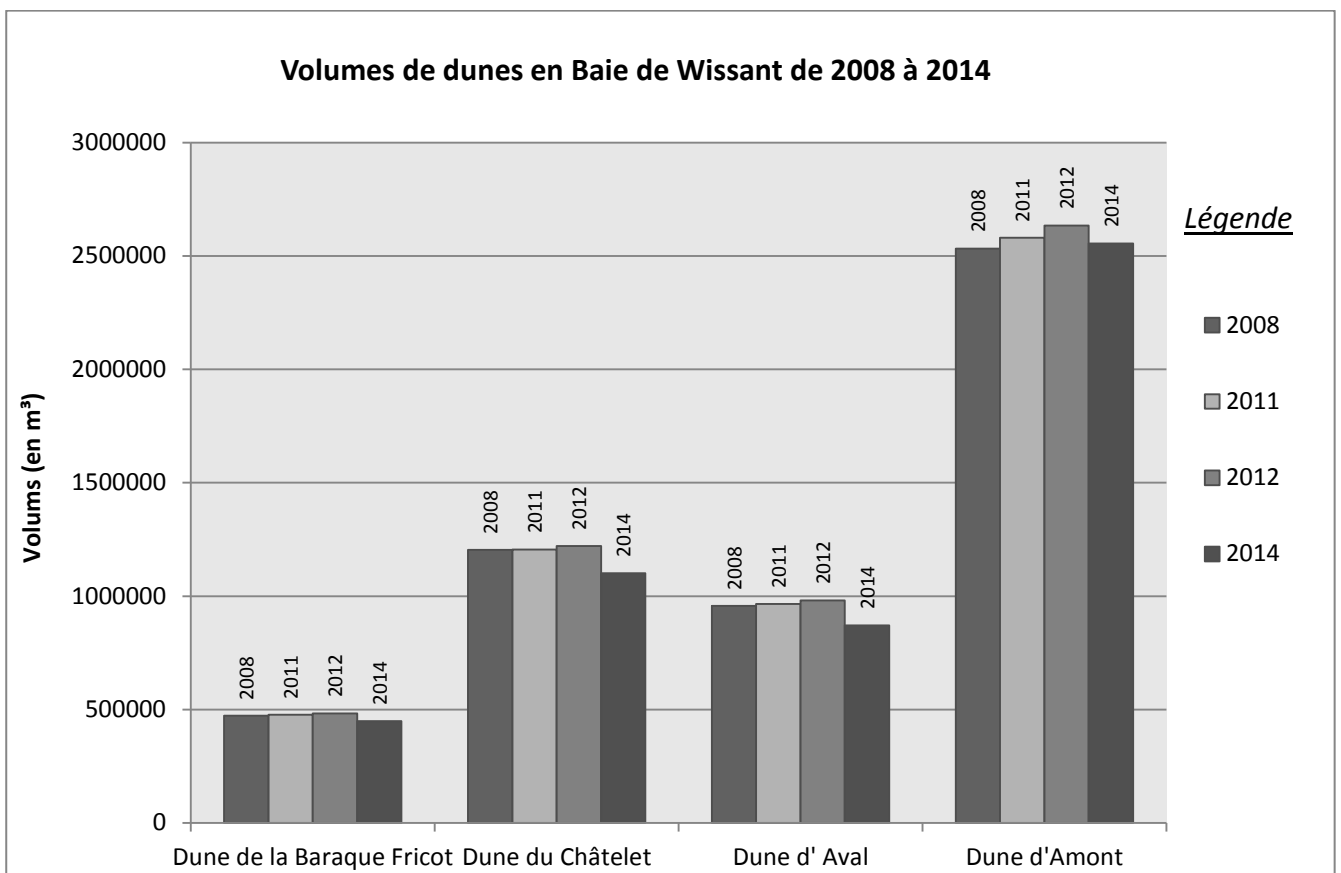
Annexes



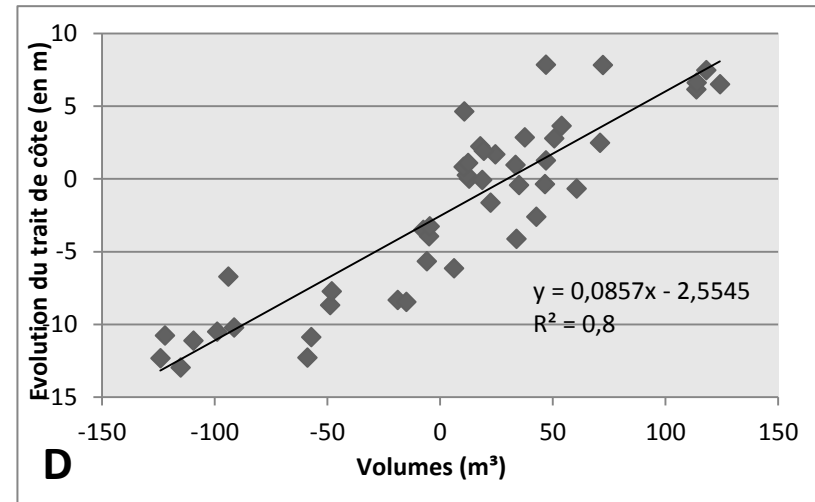
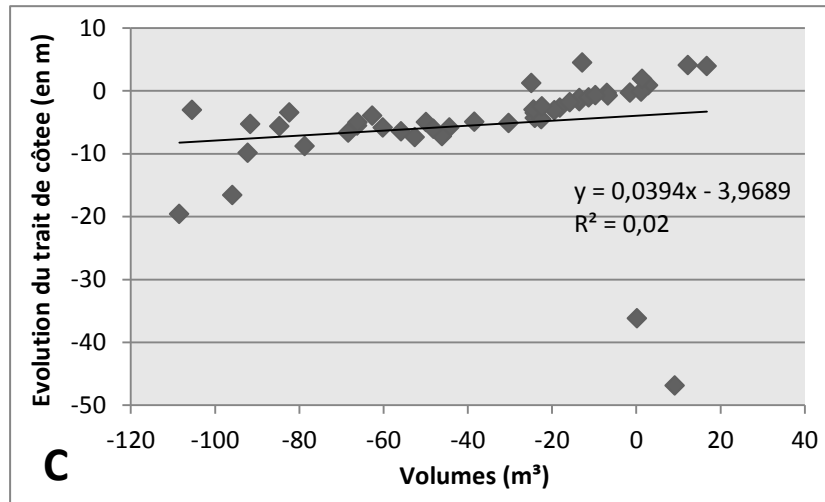
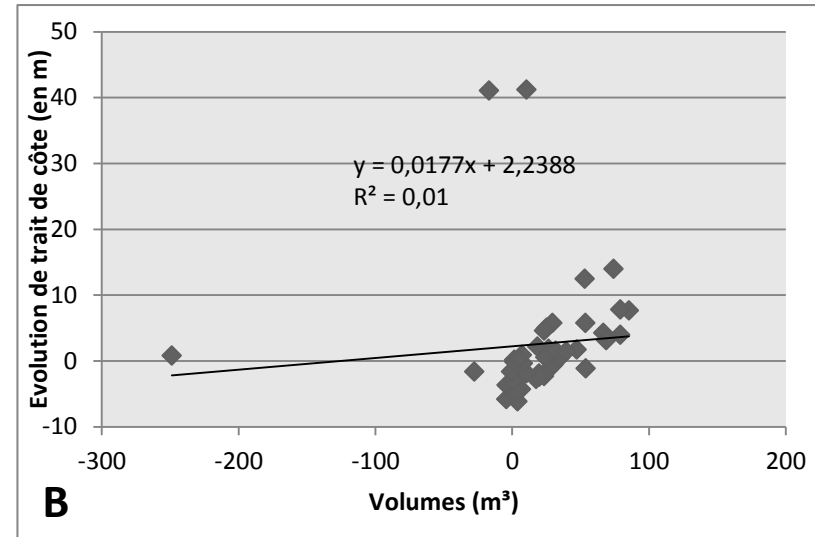
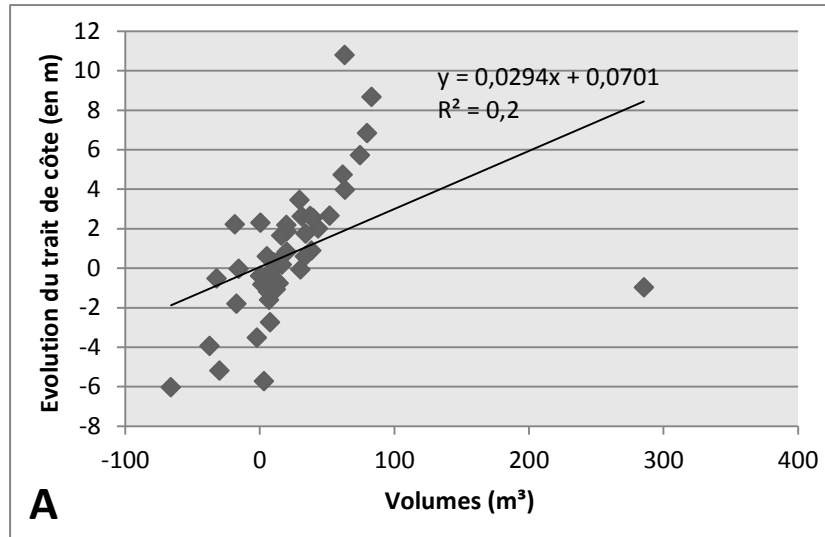
Annexe 1 : Evolution du trait de côte et évolution des stocks sédimentaires des hauts de plage en Baie de Wissant : 2008-2014



Annexe 2 : Volumes des hauts de plages en Baie de Wissant, de 2008 à 2014. Plancher à 0,988 m IGN



Annexe 3 : Volumes des dunes en baie de Wissant, de 2008 à 2014. Plancher à 0,988m IGN 69



Annexe 4 : Relations entre évolutions des volumes et du trait de côte pour les profils de la Dune d'Amont. A : période de 2008 à 2011 ; B : période de 2011 à 2012 ; C : période de 2012 à 2014, D : période de 2008 à 2014.