

TRAVAUX SEDIMENTAIRES ET EOLIENS SUR LA DUNE DE COMBRIT



Benoît Guillot Université de Rennes 2 Licence de géographie option géographie

Evaluation des mouvements sédimentaires durant une tempête

Levés topographiques - Typologie pédologique de la dune - Réalisation d'un profil éolien
(secteur de Combrit)

Ce rapport fait suite à deux nuits de relevés sédimentaires et éoliens sur la dune de Combrit.
Il est la conclusion d'une série de trois stages réalisés au SIVOM de Combrit.

Maîtres de stage :

Yvon GUILLERM Gardien du Littoral

Patricia ROLLAND chargée de mission pour le suivi du Papi (programme d'actions de prévention des inondations)

Tuteur pédagogique : Hervé REGNAULD

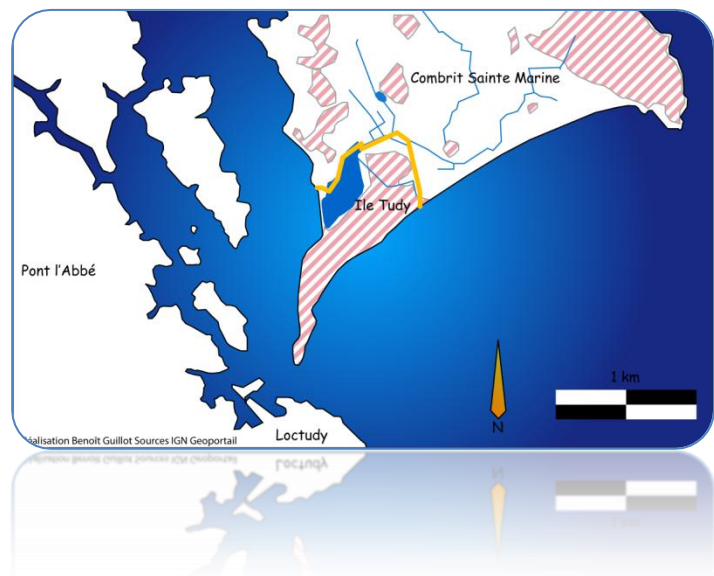
Remerciements :

Hervé REGNAULD Professeur de Géographie Physique

Jacques GUILLOT Travaux préliminaires topographiques

L'ensemble de l'équipe du SIVOM

Figure 1 Présentation globale du secteur



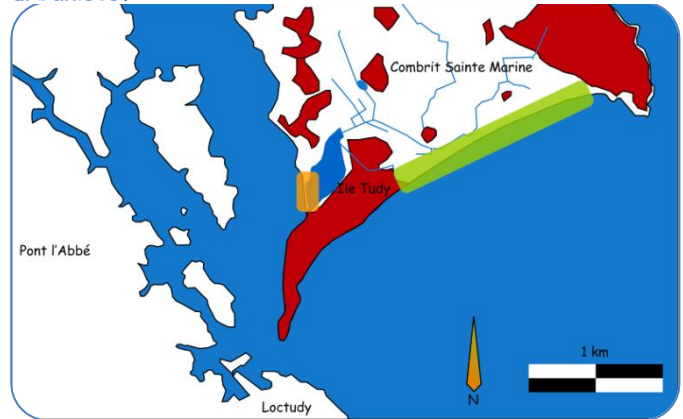
Résumé

Les transports éoliens et marins sont des mécanismes fondamentaux dans les dynamiques des déplacements et mouvements dunaires.

Etudier les mouvements sédimentaires opérés lors d'une tempête, à la fois sur le plan éolien et hydraulique, permet de comprendre quels mécanismes impactent, à des degrés différents, les étagements du littoral, partagés entre estran, plage et dune.

Le but de cette étude est d'évaluer durant un épisode de tempête avec des vents modérés à importants, les déplacements théoriques des sédiments sur 3 secteurs de la dune de Combrit.

Figure 2 Situation de la digue de Kermor en orange, en vert le cordon dunaire, en bordeaux les secteurs urbanisés.



Introduction

Les mouvements sédimentaires qui ont impacté l'ensemble de la plage, ainsi que le cordon dunaire de Combrit, jouent un rôle majeur dans le devenir et l'évolution de ce dernier.

Avec la digue de Kermor, la dune de Combrit constitue actuellement l'ouvrage majeur de protection de tout un espace poldérisé et anthropisé.

Cet ouvrage est en partie fragilisé par un recul régulier, plus ou moins marqué selon les années. Cette tendance est observée depuis les années 1950, (analyse des photos aériennes IGN depuis 1952).

Cependant, et c'est là tout l'intérêt de l'étude, le recul n'est pas uniforme sur l'ensemble du cordon dunaire. Il y a une différence Est / Ouest : des secteurs tendent à l'accrétion sédimentaire à l'Est, contrairement à l'Ouest où il y a un recul et des aménagements anthropiques tentent d'y pallier.

Cette dichotomie crée une zone de rencontre située entre la dune en accrétion et la dune anthropisée, avec des dynamiques sédimentaires et végétales propres.

Même si ce cordon dunaire ne restera pas l'unique moyen de « protection » de la zone inondable avec le futur aménagement d'un « seuil de protection arrière », il n'en demeure pas moins que la dune, même sur les secteurs réaménagés, est toujours soumise aux flux hydrologiques et éoliens, participant activement aux mouvements sédimentaires.

La série d'épisodes de tempêtes de moyennes et de fortes importances entre le mois de novembre et le mois de décembre (2013) a permis d'observer le comportement sédimentaire de la plage, la dune et de l'estran. Ce comportement est en lien direct avec la puissance des épisodes de tempêtes, ainsi que des flux dominants.

Avec l'aide d'un suivi topographique, morphologique et sédimentaire réguliers, ce travail peut être croisé avec l'inventaire végétal et PH de la dune réalisé durant l'été 2012.

Présentation du site de l'étude

La commune de Combrit est une commune sud finistérienne, avec un cordon littoral dunaire permettant de rejoindre et relier l'Ile-Tudy à la commune de Combrit. Cette formation sédimentaire est un tombolo, qui a été depuis le XIX^{ème} siècle anthropisé.

L'acte de poldérisation (1852-1853) a modifié ce statut de tombolo vers un cordon littoral dunaire.

La plage de Combrit est largement ouverte vers le sud, avec une orientation est-nord-est / ouest-sud-ouest.

Son estran est constitué de sables fins homogènes et biens triés, sur une longueur d'environ 2 800 mètres et une largeur moyenne de 160 mètres (échantillons sédimentaires CA4, CA8, CA12 en annexe p29).

L'estran est soumis aux cycles des marées semi diurnes.

La dune de Combrit est partiellement protégée et classée au titre d'espace naturel, dont les terres qui appartiennent au conservatoire du littoral, sont gérées par le syndicat intercommunal à vocation multiple de Combrit - Ile-Tudy.

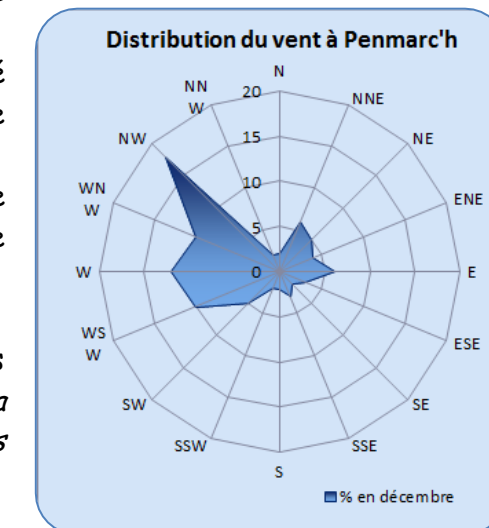
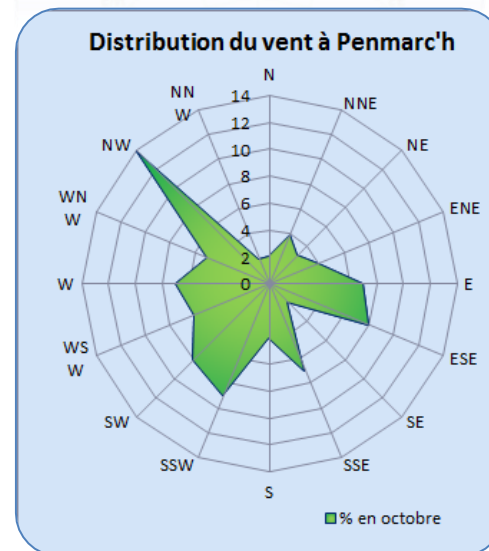
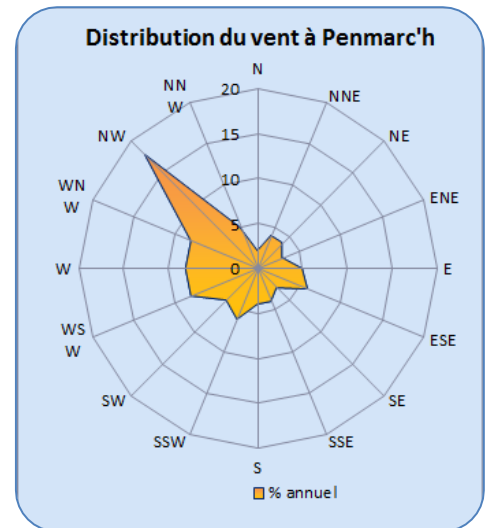
Cette dune peut être morphologiquement divisée en 3 secteurs : le secteur anthropisé et en cours de réaménagement, le secteur de transition et le secteur d'accrétion.

Les mouvements sédimentaires sur ces 3 secteurs sont contrastés et ne permettent pas d'établir un bilan général précis. En effet, les secteurs les plus à l'Est sont soumis à une tendance d'accrétion (même s'il a été remarqué un recul d'environ 2m durant l'hiver 2012/2013), alors que les secteurs les plus à l'Ouest sont en net recul, avec un maintien du trait de côte artificiel par l'intermédiaire des remblais ponctuels.

Le secteur central, ou « secteur de transition », est resté pendant plusieurs années en accrétion, pour repasser dans une phase de recul (environ 2m50) à l'hiver 2012/2013.

Sur ce secteur central ou de transition, la mer vient tailler une micro falaise vive (dévers d'environ 4m), avec la présence d'une érosion très marquée.

La couverture végétale de l'ensemble du site a été détaillée dans *Rapport de stage, période du 13/4/12 au 29/9/12, suivi de la reconquête végétale dunaire, évolution du trait de côte au cours*



Les vents dominants sont au Nord-Ouest (selon la station météorologique fiable la plus proche de Penmarc'h).

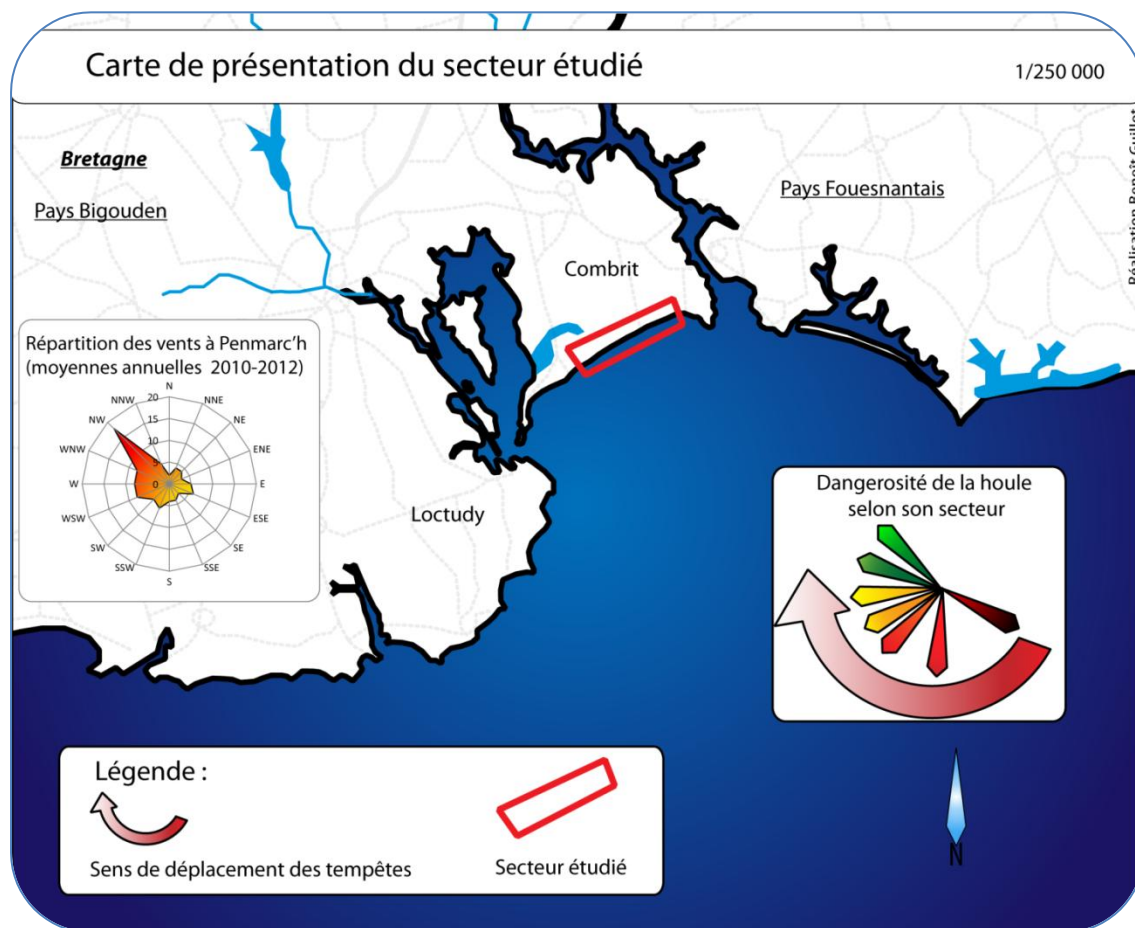
Certains mois peuvent déroger à cette tendance en ayant des vents de secteurs différents. Les tempêtes s'annoncent (généralement) par des vents qui commencent au Sud-Sud-Ouest, pour terminer à la fin du passage de la dépression au Nord-Ouest, en passant par l'Ouest. Les tempêtes les plus dangereuses sont celles de Sud-Sud-Est, bien plus rares que celles de secteur Ouest.

Ces tempêtes ont 1 probabilité sur 5 de se produire par année.

Durant l'année 2012, une tempête (de moyenne importance), a été observée sur le secteur (17 et 18 octobre 2012).

Elle a débuté de secteur Sud-est avec un déplacement vers l'Ouest et le Nord-Ouest, et a eu pour conséquences une fuite sédimentaire de plus de 6 000 m³ sur l'ensemble du cordon dunaire.

Figure 3 Présentation du secteur étudié



I) Présentation de la démarche

1.0 Spécification du vocabulaire

L'estran ou zone intertidale :

Il comprend, dans sa définition, la plage qui normalement se retrouve inondée lors des épisodes des grands coefficients.

Afin de faciliter les explications, dans ce travail l'estran sera délimité en deux zones, la première allant du pied de plage jusqu'à la limite de la zone infratidale, cette zone est appelée partie inférieure de l'estran (PIE).

La seconde va du pied de plage au pied de dune et est appelée partie supérieure de l'estran (PSE).

La dune ou zone supratidale :

La notion de « dune » est conforme à sa définition, le pied de dune représentant la zone de rencontre entre la zone infratidale et la zone supratidale.

Tempête :

L'évènement climatique qui s'est produit durant la nuit du 29 au 30 décembre 2012, n'est pas selon les caractéristiques de MétéoFrance une tempête (vitesses du vent observées inférieures à 48 nœuds).

Cependant, avec des vents forts (moyennes de 30 à 35 nœuds), avec des vagues observées de 1m à 1m50, la situation climatique n'était pas dans les normes (hauteur moyenne des vagues de 10 à 50 cm).

Cet évènement peut être classé comme évènement climatique important.

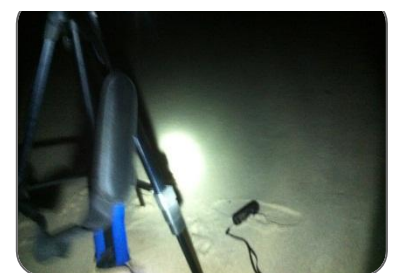
1.1 Travaux éoliens

Le but des recherches est de réaliser un modèle éolien sur le versant de haut de plage et de dune exposé à la tempête, ainsi que d'évaluer les déplacements sédimentaires théoriques et réels.

Les relevés éoliens ont été réalisés durant un épisode de tempête non extraordinaire, lorsque les prévisions indiquaient les vents les plus violents, selon les prévisions MétéoFrance et Windguru qui situaient l'évènement le samedi matin entre 5h et 9h, avec un peak¹ entre 7h et 8h, et une direction du vent au Sud-Sud-Ouest.

Les relevés sédimentaires ont été réalisés aux moments de calme les plus proches de la tempête, durant la nuit du 26 au 27 décembre, et durant l'après-midi du 2 janvier 2013.

Figure 4 : L'anémomètre portable en action au pied de la station



¹ « Peak » terme anglais est ici utilisé pour représenter la durée de l'évènement climatique à son maximum.

Ces relevés ont été accompagnés de levés topographiques effectués sur place après l'épisode de la tempête, et de micros-carottages avant la tempête.

Les relevés éoliens ont été effectués à l'aide de deux anémomètres.

Le premier était vissé en station sur un trépied, et lesté pour maintenir l'ensemble de la structure à une hauteur suffisante de 150cm.

Le second était posé sur le sol durant les mesures de sol, et tenu à bras tendu verticalement afin d'obtenir et relever les mesures d'altitude.

Durant chaque relevé, les moyennes des anémomètres étaient réinitialisées afin de ne garder que le laps de temps du relevé en mémoire. Les relevés indiquent les moyennes des vents sur la durée d'observation (5 minutes), ainsi que les valeurs maximales.

Afin d'affiner les relevés et le traitement des données, les valeurs moyennes et maximales de l'anémomètre en station étaient relevées avec un écart de 2 secondes de plus ou de moins par rapport au relevé portable (anémomètre tenu à la main ou posé au sol). De cette manière, le relevé de la station permet de compenser, s'il y a une fluctuation du flux éolien, l'écart entre le relevé de sol et le relevé aérien.

Les relevés ont été réalisés sur la plage, en pied de dune et en haut de dune, avec pour chaque relevé, le sol (5cm), la station (1m50) et l'air (2m), en moyennes et en rafales.

1.1.1 Matériels de mesure

Figure 5 Illustration des deux anémomètres

Deux anémomètres ont été nécessaires pour travailler sur la dune : Le premier est un Skywatch eole, il est équipé d'un pas de vis standardisé (appareil photo) qui lui permet d'être fixé sur un trépied.

Il est précis à + ou - 5%, et permet la mémorisation des vitesses sur plus de 3 secondes avec réactualisation toutes les secondes, et a la fonction de mémorisation de la vitesse maximale durant la période d'observation. Cet anémomètre fonctionne dans toutes les directions de vent.



Le second est un anémomètre portable à main Anémomètre, très léger, avec une précision de + ou - 5%, et comme le précédent, mémorisation de la moyenne (si configuré comme tel), ainsi que l'enregistrement de la valeur maximale durant la période d'observation.

Cet anémomètre doit être constamment pointé vers la direction du vent et nécessite une vigilance permanente, surtout lorsqu'il est posé au sol (de par son faible poids).

Les deux anémomètres sont rétroéclairés et résistent aux éclaboussures.

Figure 6 La "station" en action

1.1.2 Le trépied, ou la « station »

Le trépied est appelé communément « station », il est composé d'un pied d'appareil photo résistant, d'un contrepoids pour résister aux



rafales, et de deux niveaux à bulles qui permettent de poser l'anémomètre (Skywatch) avec précision.

Une lumière clignotante a été installée dessus afin de repérer rapidement la station dans la nuit, notamment lors des potentiels éloignements par rapport à cette dernière.

Figure 7 La colonne à tamis

1.2 Travaux sédimentaires

Les relevés sédimentaires ont été effectués durant les périodes de calme les plus proches de l'épisode de tempête.

Ces relevés ont été effectués sur 3 secteurs.

Chaque relevé a été marqué à l'aide d'un GPS afin de pouvoir y revenir après l'épisode de tempête.

Les relevés sédimentaires ont été effectués à l'aide d'une pelle creusée à rebord aiguisé et fin, pour ne prélever que le $\frac{1}{2}$ centimètre de couche sédimentaire, constituant mes relevés.

Cette méthode permet de prélever une quantité variable sur une grande surface en très peu de temps.

Ces relevés ont été placés dans des sacs numérotés (pareillement que les noms des points GPS) étanches et fermés pour être ensuite pesés dans les 10 minutes suivant le prélèvement. Cette étape de pesage permet, grâce à un deuxième pesage après séchage, de calculer le taux d'humidité de l'échantillon prélevé.

Après l'épisode de tempête, selon les coordonnées des premiers relevés, de nouveaux relevés ont été effectués sur les mêmes secteurs, afin d'établir des comparaisons entre les constitutions sédimentaires pré et post-tempête.

Après une période de séchage dans une étuve, les échantillons de sable ont été tamisés dans une colonne à tamis SEDITECH certifiés à la norme AFNOR.

Les tamis comprenaient les tailles suivantes en mm :

25 / 20 / 16 / 10 / 8 / 6,3 / 5 / 4 / 3,15 / 2 / 1 / 0,8 / 0,63 / 0,5 / 0,4 / 0,315 / 0,2 / 0,16 / 0,1 / 0,08.

La répartition des échantillons selon les tamis a été reportée dans un tableau afin d'en calculer les moyennes granulométriques.

Durant ce travail, il a aussi été réalisé une série de carottages, afin d'obtenir la constitution pédologique et sédimentaire en profondeur de l'estran, ainsi que du cordon dunaire. Ces carottages ont été réalisés après l'épisode de tempête.



Figure 8 Un tamis au pesage



1.3 Interprétation des données

1.3.1 Evaluations théoriques

De nombreux auteurs ont travaillé sur les thématiques de transports éoliens et d'érosion dunaire. Les travaux les plus remarquables sont ceux de Bagnold (en 1954), repris et revisités par Horikawa, Hotta et Kraus en 1986 et enfin revus par Sherman et Hotta (1990).

Volume transporté (Q) et vitesse de cisaillement (U_*)

Le premier calcul part du principe que le volume transporté (théorique), est directement proportionnel au cube de la vitesse de cisaillement (U_*) :

$$Q = C(d/D)^{0.5}(p/g)U_*^3$$

Où

C = Constante liée à la taille et au tri des grains (1.5 ou 1.8 ou 2.8 ou 3.5)

d = diamètre moyen des grains

D = diamètre moyen d'un grain de sable standard (0.25mm)

p = Densité de l'air (1.2×10^{-6})

g = gravité (9.81)

La vitesse de cisaillement est obtenue selon la vitesse horaire mesurée à 2m au-dessus du sol:

$$U_* = 0.044 U_{2m}$$

Vitesse limite de mise en mouvements (U_{*+})

Le deuxième calcul permet de connaître la vitesse limite de mise en mouvement des sédiments. Cette mise en mouvement se produit lorsque la vitesse de cisaillement dépasse la vitesse limite de mise en mouvement (U_{*+}), selon R.A Bagnold en 1941 :

$$U_{*+} = A [gd(p_*-p)/p]^{0.5}$$

Où

A = est une constante = 0.1 (Sarre en 1987)

g = Accélération gravitaire

d = le diamètre du grain moyen

p_* = la densité du sédiment

p = la densité de l'air

Impact de l'humidité (U_{*+w})

Le troisième calcul permet d'évaluer l'impact d'humidité sur les transports sédimentaires : Plus le sédiment est humide, plus sa mise en mouvement sera difficile, avec donc une limite de la vitesse de cisaillement élevée. L'humidité du sédiment influe sur la vitesse de cisaillement (P.Y Belly 1964) :

$$U_{*+w} = U_{*+} (1.8 + 0.6 \log_{10} W)$$

Figure 9 Captations sédimentaires par des pieds "d'oyat"



Où

$W = \% \text{ d'humidité par rapport au poids du sédiment (D.J Sherman 1998)}$

Les résultats de ce calcul ne sont satisfaisants que si l'humidité des échantillons ne dépasse pas les 4%.

1.4 Choix des sites témoins et travail préalable

Trois sites témoins et représentatifs de la diversité des situations morphologiques de l'ensemble du cordon dunaire ont été retenus pour les relevés sédimentaires et éoliens. Au préalable du travail de relevés sédimentaires et éoliens, il a été réalisé durant les vacances de la Toussaint 2012, des relevés topographiques à l'aide d'une lunette de géomètre en nivellement direct, basé sur les bornes OGE implantées dans le polder.

Ces relevés topographiques ont permis d'établir 4 profils dunaires. Ces profils sont vitaux pour permettre d'évaluer les mouvements sédimentaires sur la plage et la dune.

Ils permettent, en outre, d'observer l'évolution morphologique de l'ensemble de la zone infratidale et supratidale.

Figure 10 Erosion prononcée de la dune de Combrit



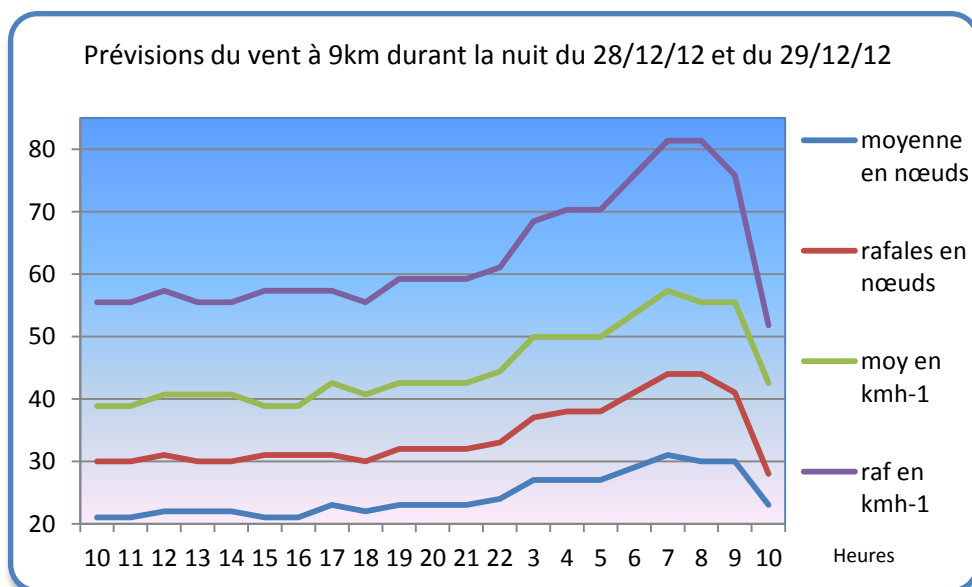
1.5 Prévisions météorologiques et heures de l'intervention

La tendance météorologique selon le site de prévisions marines Windguru situait un évènement climatique à la fin de la semaine (initialement le samedi 29 et dimanche 30 décembre 2012).

Avec l'évolution de la dépression, l'évènement a été décalé dans la nuit du 28 au 29 décembre 2012.

En accord avec les prévisions MétéoFrance, ainsi que le site Baston.fr, le plus fort de l'évènement climatique était situé entre 3h et 8h du matin (29 décembre).

Figure 11 Tableau représentatif des prévisions de vent



La moyenne des 3 prévisions situait des rafales à 38 nœuds, et des moyennes à 30 nœuds.

Pour avoir les valeurs éoliennes les plus fortes de l'évènement climatique, il était important de consulter plusieurs prévisions afin d'en déduire le créneau horaire le plus précis possible et avoir des données « homogènes ». L'ensemble des 3 sites de prévisions étant tendanciuellement proches, y compris sur les plages horaires, il n'a pas été compliqué de définir la tranche horaire d'intervention.

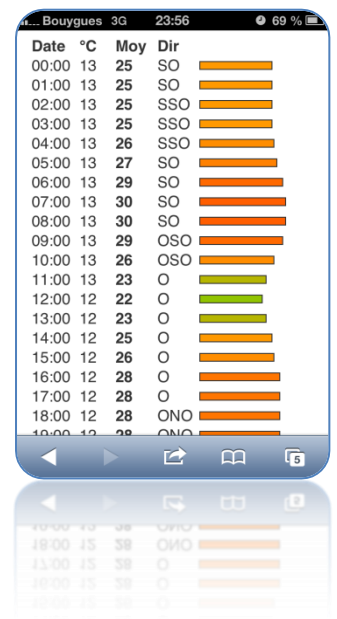
Par chance, la pluie n'était pas prévue, ce qui a permis de sortir de l'équipement électronique résistant aux éclaboussures (pas totalement étanche).

Il a donc été choisi d'intervenir sur les 3 sites témoins le samedi matin de 6h à 9h, avec l'ensemble de l'équipement explicité précédemment.

Une fois sur place, les prévisions étaient presque exactes, avec une précision de 37 nœuds / 40 nœuds.

Le vent était de secteur Sud-Sud-Ouest.

Figure 12 Capture d'écran des relevés du site Baston.fr sur un smartphone



II Travaux

2.1 Travaux topographiques

2.1.1 Coupes topographiques

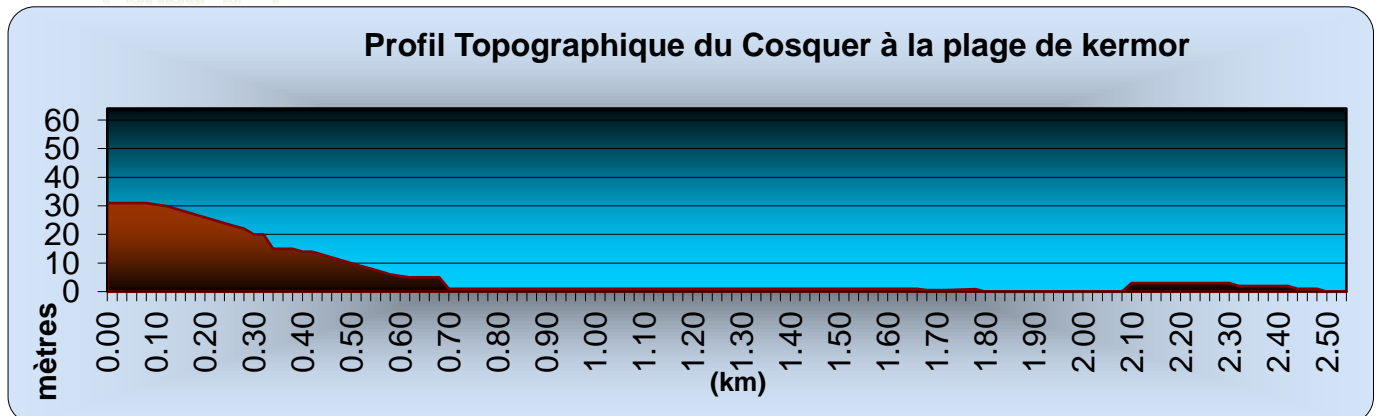
Ces coupes topographiques permettent de présenter la zone inondable, ou polder, avec un aperçu de la largeur de la dune.

Coupes topographiques réalisées selon les cartes IGN de Combrit au 25 000^{ème} (référence IGN Pont l'Abbé 0519 OT TOP25).

Figure 13 Situation des coupes topographiques sur une vue Google Maps



Coupe n°1

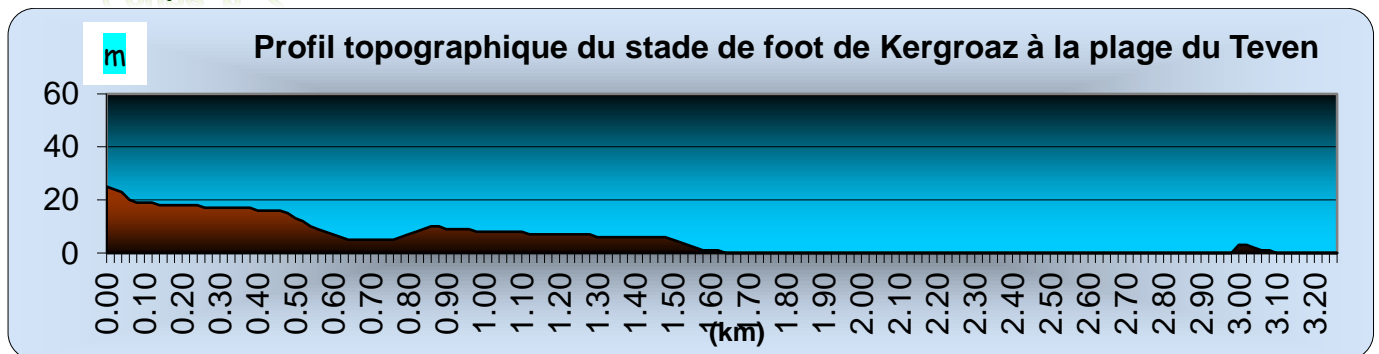


La zone inondable est ici marquée de 0.80 km à 2.1 km (axe x). Le cordon dunaire est de 2.1 à 2.5 km (axe x).

La zone inondable n'est ici que très peu urbanisée.

Le cordon dunaire est ici presque à sa largeur maximale.

Coupe n°2



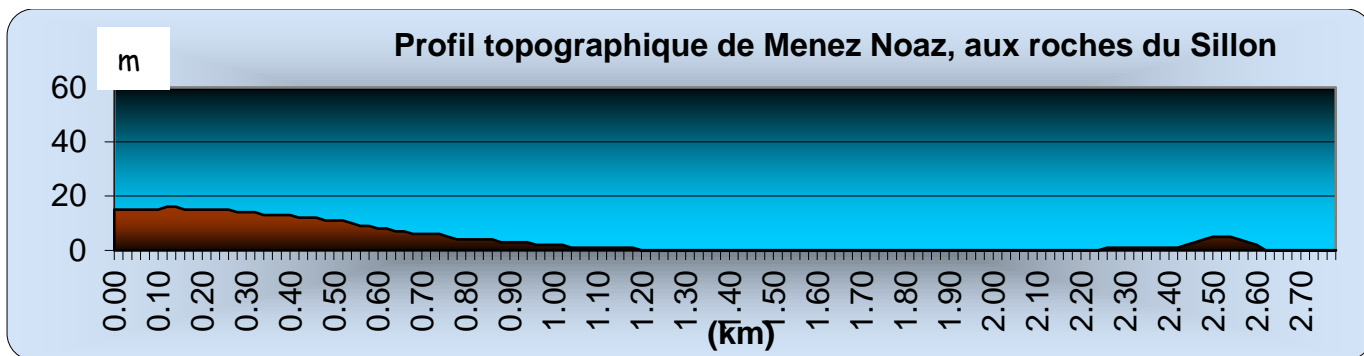
La zone inondable est ici située entre 1.70 à 2.9 km (axe x), avec une urbanisation présente de 2.20 km à 2.80 (axe x). Le cordon dunaire est situé de 3.00 à 3.1 km (axe x).

Le secteur inondable contient aussi une partie du marais de Combrit et de l'Ile-Tudy.

Coupe n°3

La zone inondable se trouve ici de 1.3 à 2.3 km (axe x), avec le cordon dunaire anthropisé (enrochement).

Le secteur inondable est ici urbanisé de 1.4 à 2.4 km (axe x).



2.1.2 Profils topographiques (Cf planche)

Ils sont basés sur les profils topographiques, selon les relevés effectués sur place début janvier 2013.

2.2 Travaux pédologiques et sédimentaires

2.2.1 Profils pédologiques (cf. planche)

2.2.2 Tentative de classification pédologique de la dune

A la suite des précédents relevés, il a été établi la classification suivante :

Le type 1

C'est la dune qui a été aménagée après 2011. On y trouve principalement 3 horizons, entre 0 et -2.80m.

L'horizon 1 descend jusqu'à -85cm et est constitué d'un sable de type « CA10 »

L'horizon 2 se prolonge jusqu'à -1.90m et est constitué de remblais provenant de Noirmoutier.

L'horizon 3 se prolonge jusqu'à plus de 2.80m et est constitué d'un sable de type « CA4 »

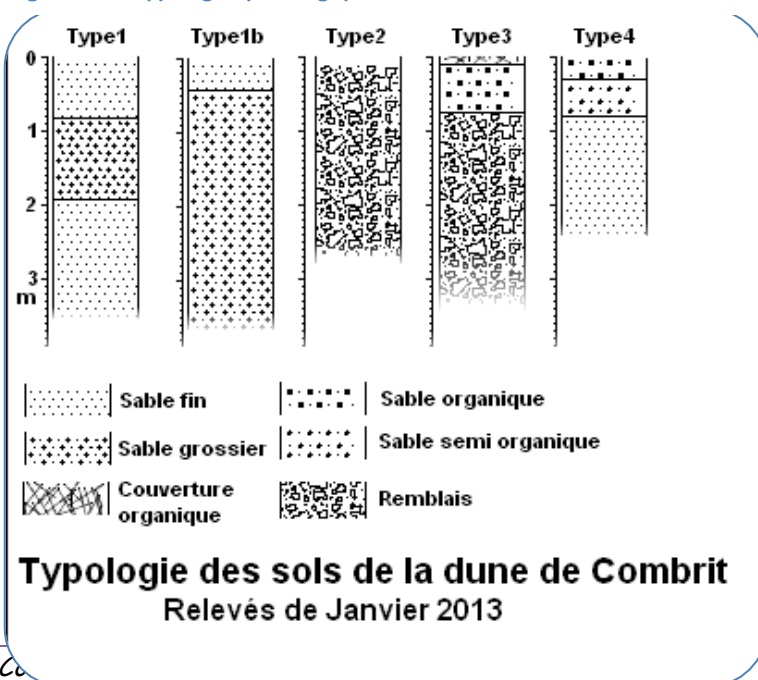
Le type 1B

Il est similaire au type 1, car la conséquence des aménagements menés entre l'année 2011 et 2012. Deux horizons y sont présents :

L'horizon 1 : descend jusqu'à -40cm et est constitué de sables de type « CA10 »

L'horizon 2 : se prolonge jusqu'à plus de 1.80m et est constitué de sable grossier, de type « CA2 ».

Figure 14 Typologie pédologique de la dune de Combrit



Le type 2

Ce sont les remblais qui datent des années 1996, les carottages ont été compliqués à réaliser, la terre y est compacte et très dure, de type argileuse (avec la possibilité de rouler des carottes de terre). On peut rencontrer des morceaux d'enrobés, ou de béton, ainsi que divers matériaux (morceaux de briques, parpaings...).

Le type 3

Il est présent au niveau des secteurs 4A et 4B, il est constitué de remblais et d'un recouvrement de sable de type « CA6B », avec sur les 10 premiers centimètres (en moyenne), une couche d'épines de pins des landes (*pinus pinaster*).

Le type 4

Il est présent sur l'ensemble des secteurs « en bonne santé », soumis à une dynamique dunaire naturelle, à partir du secteur 5 et plus. On y trouve 3 horizons :

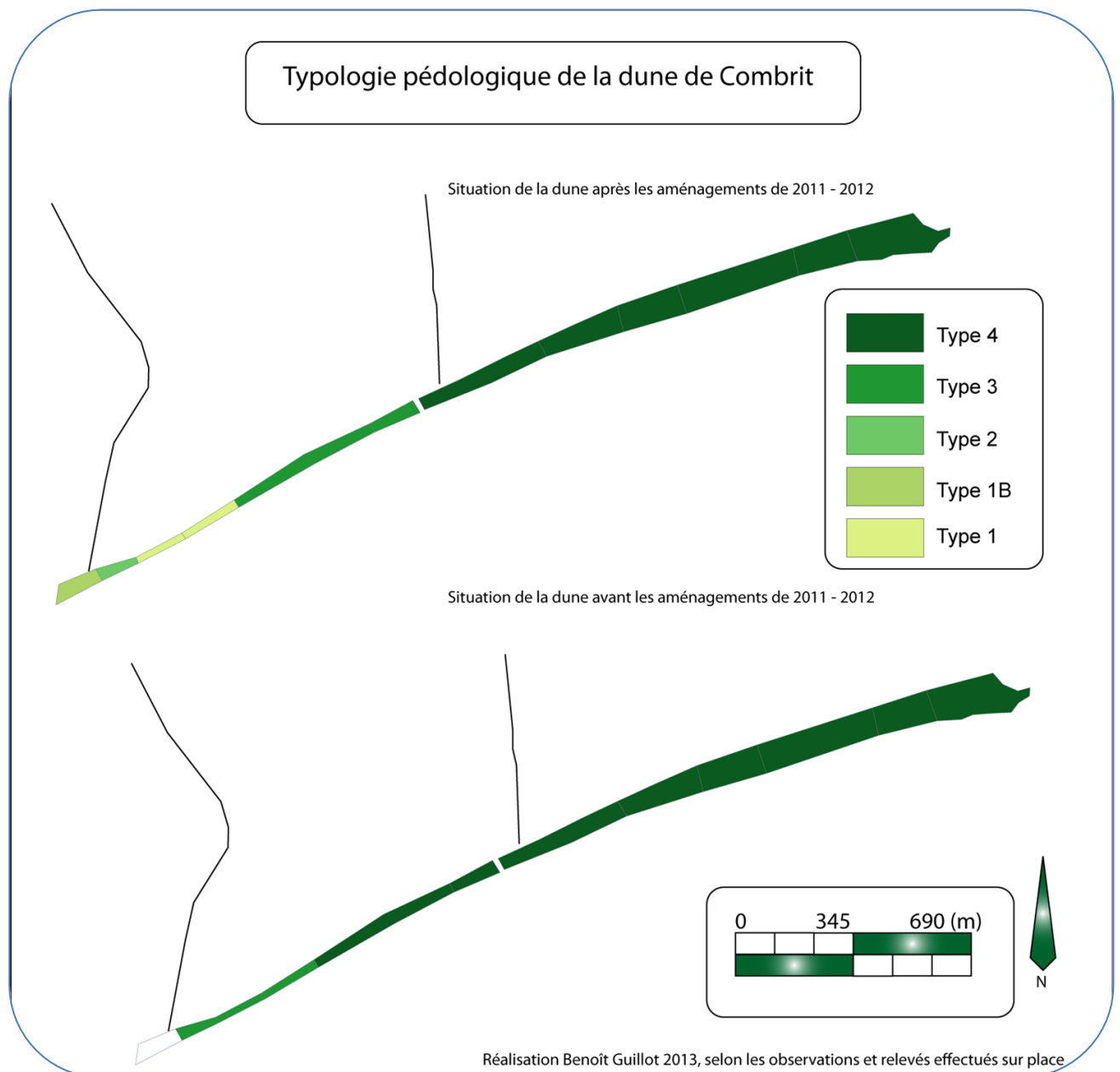
L'horizon 1 : descend jusqu' à -30cm, il est constitué de sables bruns, marrons, de type sablo-humifère.

L'horizon 2 : est constitué d'un sable brun, il descend jusqu'à -83cm

L'horizon 3 : est constitué d'un sable blanc-brun et descend à plus de -1.80m

2.2.3 Carte de classification des sols

Figure 15 Carte de la classification pédologique de la dune de Combrit



2.2.4 Analyse de la carte de classification des sols

La carte illustre pleinement une dichotomie Est / Ouest, avec une homogénéité pédologique à l'Est (type 4), et un ensemble varié de types à l'Ouest.

La séparation entre ces deux entités peut se faire entre le secteur 4B et 5.

L'explication de cette dichotomie réside dans le fait que l'ensemble des secteurs du 0 au 4B, n'ont cessé d'être anthropisés depuis plus d'un siècle, avec des remblais importants dans la deuxième moitié du XXème siècle.

Ces secteurs présentent des fragilités morphologiques, végétales et sédimentaires.

Ces faiblesses ne sont pas des faits récents, les cartes anciennes (Carte du Roy ou de l'État-major), présentent entre 2 et 3 failles par lesquelles l'eau venait envahir le marais (devenu polder par la suite), surtout lors des grosses tempêtes ou des marées à fort coefficient (supérieur à 90).

En observant le profil topographique (linéaire) d'Est en Ouest, on remarque aisément que les secteurs 6, 7 et plus sont plus engraisés que les secteurs compris entre 0 et 4B.

Figure 18 Carte Beautemps / Beaupré 1818/1819

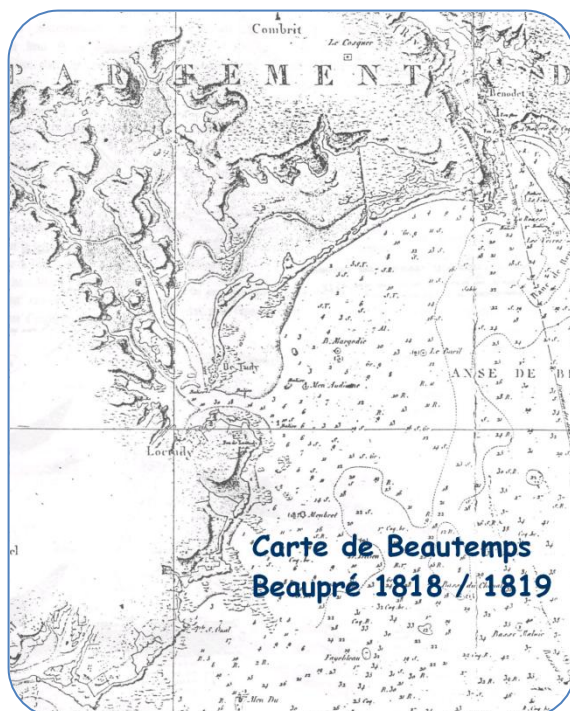
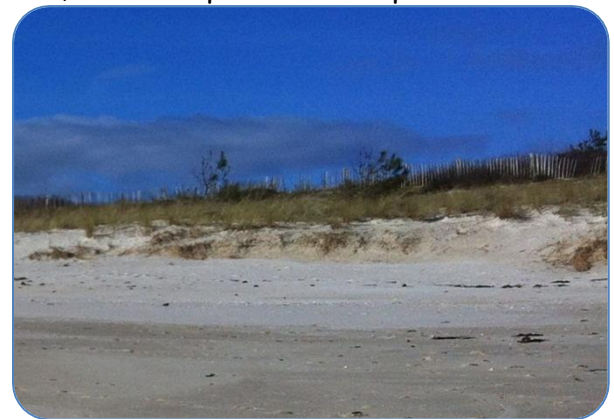


Figure 16 Les remblais effectués sur la dune en 1996 (zone dunaire Ouest).



Figure 17 Présentation du cordon dunaire à l'Est



2.3 Travaux éoliens

2.3.1 Profil éolien durant la tempête du 29/12/2012

Les moyennes présentent des similitudes à travers les différents relevés (cf. sources éoliennes).

Un seul profil a donc été représenté.

Ce profil est basé sur les relevés au sol, aux stations et dans les airs.

Les rafales ont permis de situer la masse d'air la plus forte en hauteur avec une maximale théorique de 40 nœuds (dizaine supérieure par rapport à la valeur rafaleuse la plus forte).

La compensation s'est effectuée sur les moyennes en prenant comme référence les moyennes des deux stations de chaque relevé (la station sol et la station air), afin de compenser les variations des moyennes.

Commentaires et observations

Les relevés éoliens ayant été réalisés à la main, il est difficile d'avoir l'ensemble du mouvement de la masse d'air, ce qui rend d'emblée ce modèle est discutable (n'est-ce pas le cas pour tout modèle ?).

Les relevés réalisés à 2m d'altitude ayant été effectués en tenant à bout de bras l'anémomètre, il faut considérer qu'il y a une variation du flux éolien.

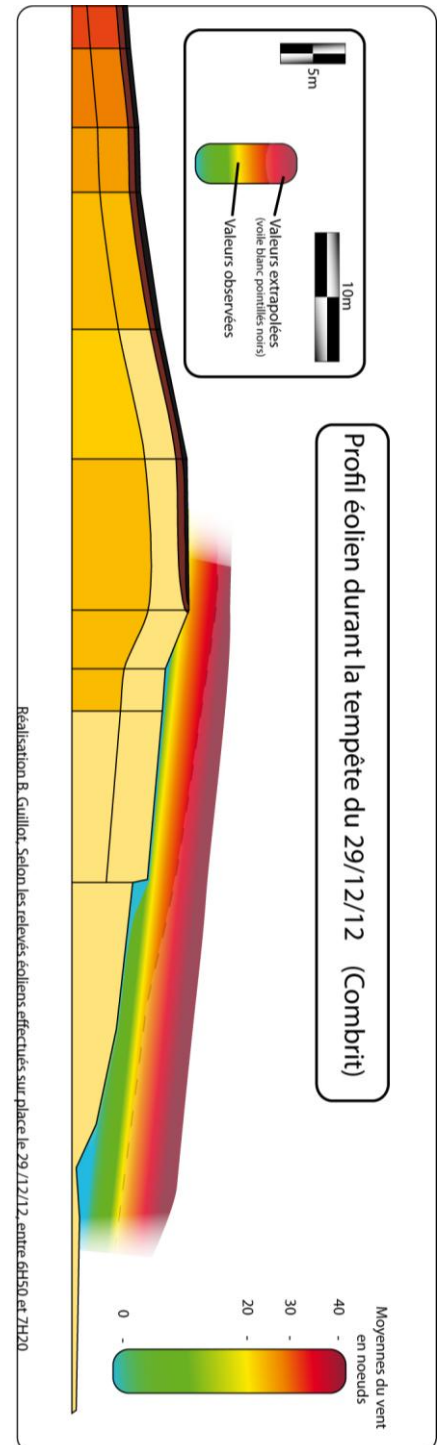
Pareillement pour la station, même si les pieds de cette dernière ne sont pas aussi larges qu'un corps humain.

Le relevé de sol est probablement le plus proche de la réalité, car l'anémomètre a été posé au sol avec un impact sur le flux éolien minime.

Même si l'évènement climatique était de puissance moyenne, les rafales ont quand même dépassé les 75 km/h^{-1} , ce qui rend difficile la réalisation d'une potentielle structure métallique permettant le maintien d'un anémomètre à 2m d'altitude. Le plus simple reste donc de tenir l'anémomètre à la main, même si cette action déforme le flux éolien.

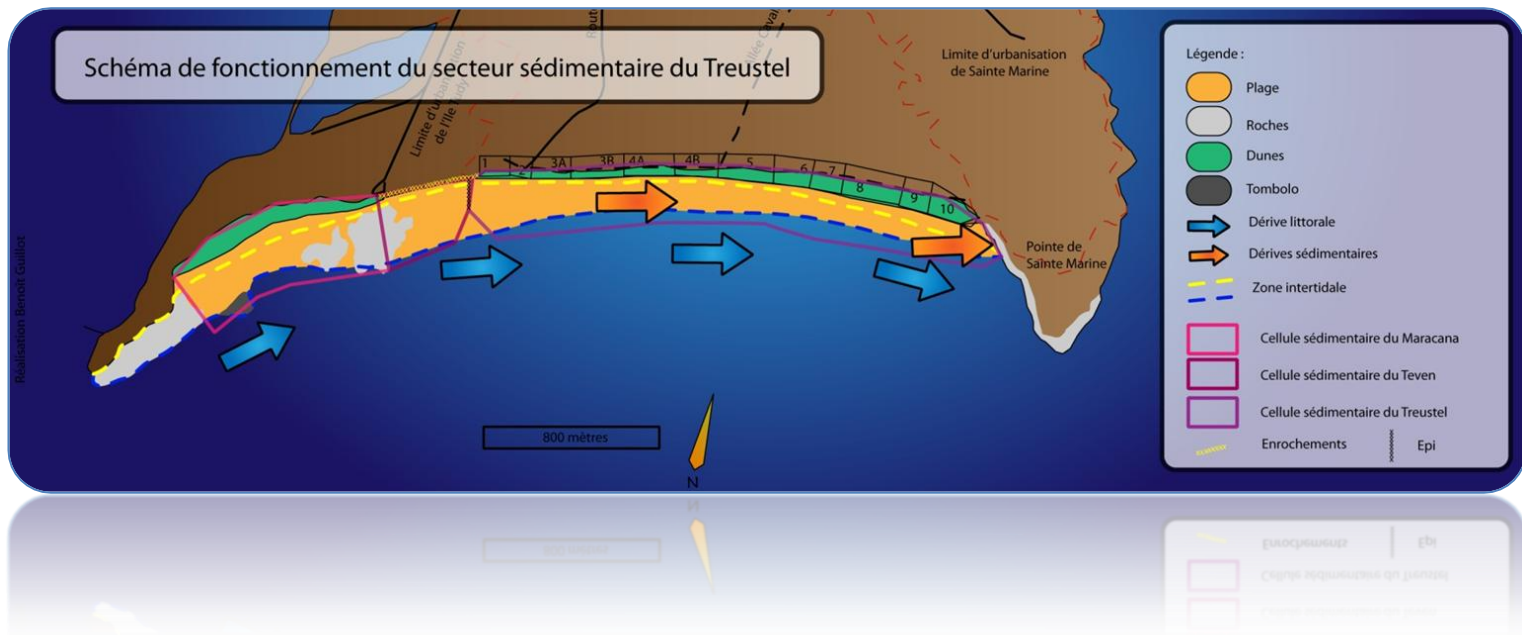
L'idéal pour ce travail aurait été d'avoir une dizaine d'anémomètres électroniques reliés à un ordinateur afin d'avoir les forces éoliennes de la masse d'air à différents endroits à un moment donné.

Cette méthode semble cependant trop onéreuse et donc difficilement réalisable.



III) Bilans

3.1 Bilan sur la géomorphologie dunaire de Combrit



Ce bilan est basé à la fois sur les travaux menés durant « l'inventaire floral de la dune de Combrit », mais aussi sur les travaux de levés topographiques effectués de novembre 2012 à février 2013, et enfin sur l'étude de l'évènement climatique du 29 décembre 2012.

3.1.1 Détermination et classification de la dune de Combrit

La dune de Combrit est à considérer géomorphologiquement comme une cellule sédimentaire propre, en contact avec la cellule sédimentaire voisine qui est celle du Maracana. A ces deux cellules peut s'ajouter la cellule sédimentaire du Teven, cette dernière étant plus petite et plus confinée que les deux précédentes (Maracana et Combrit). Ces trois cellules sédimentaires forment un secteur sédimentaire pouvant être nommé de « Combrit » (la cellule sédimentaire de Combrit étant la plus importante). La cellule de Combrit est donc un site de transit par sa plage et son exposition aux marées, mais aussi un site puits, d'accumulations sédimentaires via sa dune.

En reprenant les travaux de classifications dunaires de W. Ritchie et de S. Penland

Figure 19 L'enrochement et l'épis de l'Ile-Tudy marquent la délimitation de la micro-cellule sédimentaire du Teven



(*Coastal Dunes* 1990 page 117) concernant les dunes au sud de la Louisiane, la dune de Combrit présente des similitudes morphologiques, et morphodynamiques.

- Du secteur 10 au secteur 8, la dune est de type « continu » (« *continuous dune* »), avec une activité sédimentaire qui tend à l'accrétion et une dynamique végétale forte. Morphologiquement des micros formes dunaires (ondulations éoliennes et marines) se forment sur l'espace intertidale, avec une reprise végétale très marquée sur la frontière entre l'espace intertidale et l'espace supratidale.

Ces micros formes sont la conséquence de la présence de la pointe de Sainte-Marine.

- Du secteur 8 au secteur 7, la dune est de type « terrasse » (« *dune terrace* »), avec la présence moins marquée d'une activité végétale de pied de dune. L'érosion de la frontière entre la zone supratidale, et la zone infratidale est marquée par une alternance entre des bourrelets d'accrétions sédimentaires (apports éoliens et marins), et des périodes d'érosion, avec puisement dans le bourrelet d'accrétion.

- Du secteur 6 au secteur 4B, c'est un type mixte, alliant une dune terrasse, avec une dune érodée présentant une microfalaise. Cette dune alterne des périodes de recul avec l'érosion de pans entiers formant une micro falaise dunaire, et des périodes d'accrétion sédimentaire, avec la formation de talus et de bourrelets qui viennent conforter protéger la micro falaise contre les overwash et tempêtes.

- Du secteur 4B au secteur 1 (et 0), la dune est de type « *artificielle* » ou anthropique, avec un noyau constitué de remblais, sans réelle dynamique naturelle. Cette dune est régulièrement soumise à des aménagements (installations de moyens de défense, remblais). Les auteurs (W. Ritchie et S. Penland 1990) n'ont pas cherché à faire de distinction dans les traits de côte artificiels et artificialisés.

Cette classification ne sera probablement pas impactée par les divers aménagements qui sont actuellement réalisés sur la dune de Combrit, car ils ne concernent que les secteurs 1 à 4B, classés de « dune artificielle ».

3.1.2 Une dérive Ouest Est

La dérive littorale la plus importante pour la gestion du stock sédimentaire de l'ensemble de la dune est une dérive Ouest-Est, qui n'est pas à considérer comme négative, c'est en effet le flux de transport de la cellule sédimentaire de la dune de Combrit.

Cette dérive est confirmée par les différents sens des ondulations sédimentaires (ondulating washover) observées à la pointe de Sainte-Marine.

Cette dérive mobilise et fait transiter des sédiments à partir du secteur 1 vers le secteur 9.

Figure 20 Les "ondulations washover" sur la plage de Sainte-Marine



Le transport de sédiments ne se fait presque plus à partir de l'Est de l'épi du Treustel, ce secteur se trouve être en stabilisation sédimentaire conséquence de l'aménagement de l'épi, et d'un blocage logique du transit sédimentaire issu des roches du Teven et de la cellule sédimentaire de la plage du Maracana. Les roches du Teven étant à considérer dans ce cas comme obstacle naturel, notamment à marée basse, les roches sont découvertes, bloquant les flux sédimentaires.

Il est cependant à noter le fait que lors des tempêtes, les secteurs ayant été anthropiquement remblayés, sont soumis aux forces marines, avec dans ce cas un transport sédimentaire plus important dès l'épi.

Il faut donc considérer que le secteur situé entre l'Est de l'épi et le secteur 1, est une réserve sédimentaire, essentiellement d'origine anthropique par les divers remblais réalisés, qui est sollicitée durant les épisodes d'overwash ou de tempête.

3.1.3 Un secteur d'accrétion la pointe de Sainte-Marine

L'ensemble du transport sédimentaire explicité dans les paragraphes précédents vient terminer sa course sur la plage bordant l'extrême Ouest de la pointe de Sainte-Marine.

Cet apport de sédiments nouveaux est remarquable par une topographie de plage très changeante, un estran très faible, un dénivelé marqué (surface de déflation), ainsi que la formation lors des overwash et des tempêtes de larges dépôts formant des ondulations (« *undulating washover* »).

Cette accrétion sédimentaire est aussi facilitée par l'effet d'épi naturel de la pointe de Sainte-Marine.

Il n'est donc pas étonnant d'observer une dune présentant plus de signes d'engraissement que les secteurs de 1 à 4B, avec une reconquête végétale rapide de la dune à la plage.

3.1.4 Le végétal un rôle fondamental

Lors des événements climatiques importants d'octobre 2012 et de janvier 2013, après plusieurs tracés GPS du trait de côte, les secteurs végétalisés sont apparus comme tendanciellement en recul.

Cependant, ces secteurs (en comparaison avec les secteurs remblayés), présentent des valeurs de recul divisées par 2 (cf. « rapport de recul végétal dunaire d'octobre 2012 » B. GUILLOT).

La végétation sur ces secteurs y est très prononcée, avec essentiellement de l'Oyat Courbet et du Chiendent. Le réseau racinaire y est développé de telle sorte qu'un véritable maillage racinaire a retenu les sédiments pourtant exposés à la même houle que les secteurs 1 à 4B.

Après la tempête, il était observable des mottes qui s'étaient décrochées de la microfalaise de pied de dune (créée par les forces marines), et non des pans entiers de dune effondrés et tassés dans

Figure 21 Le sable n'est pas retenu



Figure 22 Des oyats retiennent le sable en "mottes"



la masse sédimentaire de la plage, comme observables sur les secteurs situés à l'Ouest.

Outre ces observations réalisées sur place, les travaux menés par G. Carter et P. Wilson sur les dunes de Magilligan Point (1976) au nord de l'Irlande, confirment les observations exposées précédemment, notamment par le calcul d'un indice de maturité (sur les *Ammophila*) qui met en évidence le fait que les plantes, outre le fait de fixer et retenir les sédiments par leur maillage racinaire, permettent de drainer les sols et donc d'éviter l'accumulation d'humidité dans les couches sédimentaires qui permettrait à ces dernières de se décrocher plus rapidement de la dune en cas de tempête ou d'overwash.

Il est donc tout à fait normal que les secteurs dont le couvert végétal est important et présent, n'ont pas été érodés à la même vitesse et de la même manière que les secteurs anthropisés dont la couverture végétale est très faible, voire absente.

3.1.5 Remblais anthropiques

Les remblais réalisés ponctuellement sur les diverses secteurs en érosion sont discutables.

La dune des secteurs 1 à 4B étant arrivée à un seuil d'érosion marqué, la tendance de cette dernière est au recul et à la déconstruction, et non à la progression vers le Sud.

Doit-on donc chercher à la faire avancer ou même la maintenir vers le Sud ? Ou plutôt l'accompagner dans son recul (si la tendance actuelle est respectée) ?

La plage étant globalement en érosion (entre 1m10 et 1m50 depuis 1955), le recul dunaire sur les secteurs 1 à 4B et récemment jusqu'au secteur 8, est un phénomène naturel et incontrôlable.

Les remblais sédimentaires réalisés ponctuellement ne font que maintenir artificiellement un trait de côte qui n'est pas représentatif de la « réalité naturelle ».

Certes, les remblais permettent de faire passer des sédiments plus rapidement de la cellule sédimentaire du Maracana vers la cellule sédimentaire du Treustel.

Cependant, ces aménagements ne font que masquer temporairement un recul dunaire qui tôt ou tard, via le processus d'érosion actuel, risque de déconstruire les aménagements réalisés durant l'année 2011 (observations régulières menées par relevés GPS de divers traits de côte).

Plus le temps avancera et plus le profil du trait de côte érodé, et non pas le trait de côte remblayé, reculera vers le Nord et sollicitera des quantités croissantes de sédiments.

Figure 23 Travaux de rechargements sédimentaires Novembre 2011 Combrit



Figure 24 Difficile reprise de la végétation sur des rechargements sédimentaires (printemps 2012)



Ces mouvements sédimentaires anthropiques étant en augmentation volumique croissante (recul naturel progressif, contre maintien anthropique fixe), la solution n'est économiquement et durablement pas viable.

Si les prélèvements sédimentaires sont effectués constamment et régulièrement (2 durant l'année 2012 dont 4000m³ pour celui de novembre) sur la cellule sédimentaire du Maracana, même prélevés sur de larges surfaces, ils peuvent mettre en danger la stabilité du statut de secteur en accretion de cette cellule, ce qui est potentiellement grave, car cette plage ne possède pas de réel cordon dunaire, juste un profil de type « washover terrace », de faible altimétrie.

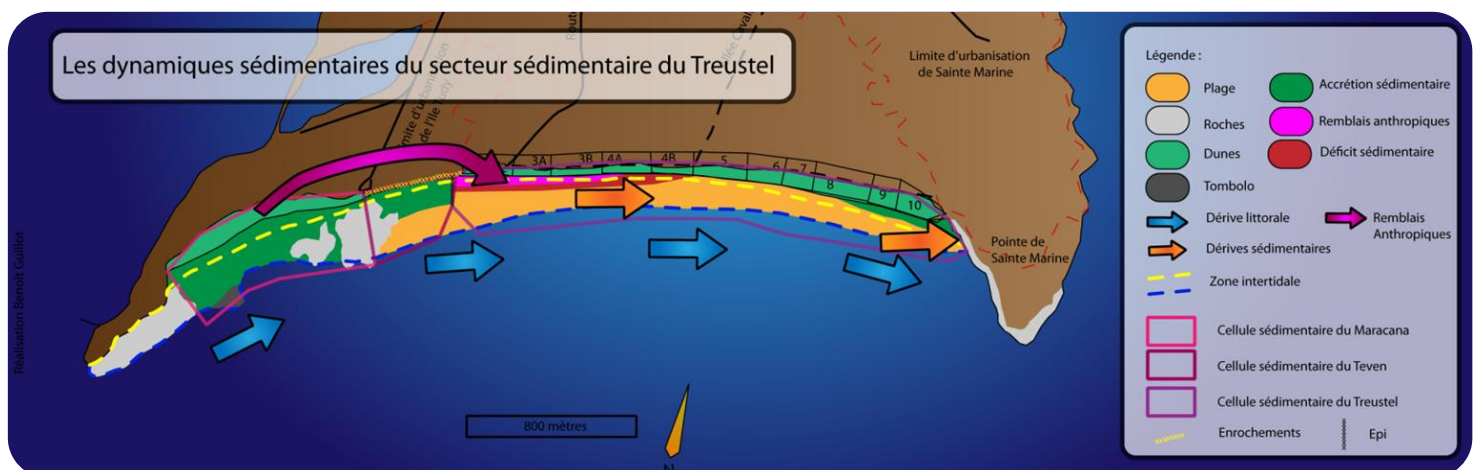
Cependant, cette solution possède la particularité d'être économiquement faible.

En conclusion

Les dynamiques qui agissent sur la cellule sédimentaire de Combrit ont été fortement impactées par les divers aménagements et actions anthropiques menées sur les secteurs 1 à 4B (depuis 1980).

Même si les secteurs 5 à 10, marqués par une activité sédimentaire et végétale, sont proches d'un aspect « naturel », il n'en demeure pas moins que les sédiments remblayés sur les secteurs à l'Ouest finissent sur les secteurs à l'Est, pour être ensuite renvoyés vers le large.

Carte de synthèse



3.2 Bilan de la « tempête » des 28 et 29 décembre 2012

La « tempête » des 28 et 29 décembre de 2012 n'est pas selon Météo France, une tempête. Cependant c'est une perturbation climatique de moyenne importance qui a eu des conséquences sur les déplacements sédimentaires, l'érosion des micros falaises de dune et un changement de la topographie initiale de la plage. Comme explicité dans la partie 1.0, cette « tempête », a été appelée « évènement climatique important ».

Cet évènement climatique a surtout provoqué des

mouvements sédimentaires d'origine hydraulique, du milieu de plage au milieu de l'estran.

Les mouvements sédimentaires d'origine éoliens ont quant à eux essentiellement impacté l'ensemble de la partie dunaire exposée au flux éolien dominant (SSO, cf. : profil éolien réalisé précédemment). La localisation précise de ces déplacements a été permise grâce à la prise en compte de l'humidité dans les masses sédimentaires, ainsi que de la morphologie du grain avec des bords plus tranchants que les grains mobilisés par les flux marins (aux bords majoritairement arrondis).

Figure 25 Fossé de déferlement sur le cellule de Combrit



3.2.1 Etat initial

L'état initial de la plage était, avant l'évènement climatique (en comparaison avec le profil topographique de plage effectué en novembre 2012), un profil de type hivernal¹, qui est la résultante d'une série de tempêtes et d'overwash qui ont mobilisé des grandes quantités de sédiments, notamment durant la tempête d'octobre 2012, 6 000 m³ de sédiments ont quitté le pied de dune (haut de plage), pour aller conforter les ondulations sédimentaires de la pointe de Sainte-Marine².

Sur l'ensemble des secteurs, le pied de dune a été une première fois fortement attaqué lors de la tempête d'octobre 2012, puis une seconde lors de l'ensemble des overwash de décembre (dont l'overwash étudié du 29 décembre 2012).

Lors d'un nouveau relevé GPS du trait de côte au 2 février 2013, il est de nouveau constaté un recul, mais cependant nettement moins important que durant l'épisode d'octobre 2012.

La topographie de plage avant la tempête du 29 décembre présentait déjà un fossé creusé par le déferlement des vagues. Ce sont ces fossés qui à marée basse créent des bassins de déflation.

¹ Ici le profil est appelé « hivernal », car en moyenne les tempêtes les plus violentes, sur le site de Combrit, et importantes se réalisent de la fin de l'automne, au début du printemps.

² Selon le rapport effectué après la tempête de 2012, avec l'évaluation théorique, d'après les relevés et mesures effectuées sur place, de la quantité de plus de 6 000 m³ de sédiments mobilisés.

Au sud de ce fossé, une bande sableuse convexe orientée Ouest Est, avec une largeur moyenne de 8m, était déjà présente.

3.2.2 Durant l'évènement

Durant l'évènement climatique, les houles n'étant pas très importantes (1m à 1m50, selon les observations effectuées sur place), la mer combinée à un coefficient de marée de moyenne importance (coefficient de

79), n'est pas montée très haut, sans venir attaquer le pied de dune, ce qui est intéressant car des transports éoliens se sont produits du haut de plage, au haut de dune.

3.2.3 Après l'évènement, analyse des déplacements

Grâce à la seconde série de prélèvements sédimentaires effectués sur les mêmes coordonnées GPS, il est possible de réaliser un comparatif des déplacements sédimentaires éoliens et marins.

Figure 26 La mer commence à monter sur le fossé de déferlement (photo prise de nuit)



3.2.3.1 Les différents mouvements sédimentaires

En se basant sur les moyennes granulométriques obtenues à partir de chaque échantillon, il est possible d'effectuer une comparaison concernant les différentes dynamiques sédimentaires opérées durant la nuit du 29 décembre.

Il y a d'ores et déjà une dichotomie Ouest-Est.

Les relevés concernant les secteurs à l'Ouest concernent les échantillons de 1 à 8.

Les relevés concernant les secteurs à l'Est concernent les échantillons de 9 à 12.

Les hauts de dunes (secteurs Ouest)

Ils sont impactés par des mouvements éoliens, la mer n'ayant pas submergé la dune durant l'épisode.

On remarque que les répartitions granulométriques ont tendance à évoluer vers les grains de plus gros diamètre compris entre 2 et 0.5 mm, alors que les tendances étaient avant l'évènement climatique de 0.5 à 0.16 mm (avec un peak à 1mm pour le secteur 2A).

Cela ne reste que des tendances car les moyennes n'ont évolué que de 0.85 points.

Les hauts de dunes (secteurs Est)

La tendance est minime avec une évolution de 0.17 points entre les échantillons.

Cette tendance marque essentiellement l'arrivée de grains compris entre 0.2 et 0.5 mm (moyenne de 0.37mm), contre une répartition avant l'évènement comprise essentiellement entre 0.8 et 0.4 mm (moyenne 0.54mm).

Les pieds de dunes (Ouest et Est)

Ils restent relativement stables du point de vue des moyennes avec des répartitions granulométriques proches, avant et après l'évènement climatique.

Les pieds de dunes ont été durant la nuit du 29 décembre uniquement touchés par des déplacements éoliens.

L'humidité des sédiments est faible (2%).

Les milieux des profils convexes hivernaux (Ouest)

Ce sont notamment sur ces profils que les modifications sédimentaires ont été les plus importantes.

Les moyennes ont évoluées avec des gains d'environ 1 mm de diamètre moyen granulométrique. Ces points ont été impactés par les flux marins, et particulièrement le ressac des vagues à marée haute. L'humidité des sédiments y est d'environ 20%, ce qui limite les transports éoliens à marée basse (D.J Sherman 1998).

Les répartitions granulométriques évoluent d'une tendance comprise entre 0.16 et 0.315, à une tendance comprise entre 1 et 2mm.

Les milieux des profils convexes hivernaux (Est)

Ils sont marqués par un inversement du phénomène exposé précédemment, avec une tendance à la diminution du transport des grains grossiers et des moyennes qui évoluent vers des grains plus petits.

En effet la moyenne granulométrique de l'échantillon CA11 passe de 0.78mm à 0.45mm (pour CA11B).

Les bandes sableuses convexes

Elles ont tendance à perdre en sédiments grossiers pour gagner en sédiments fins.

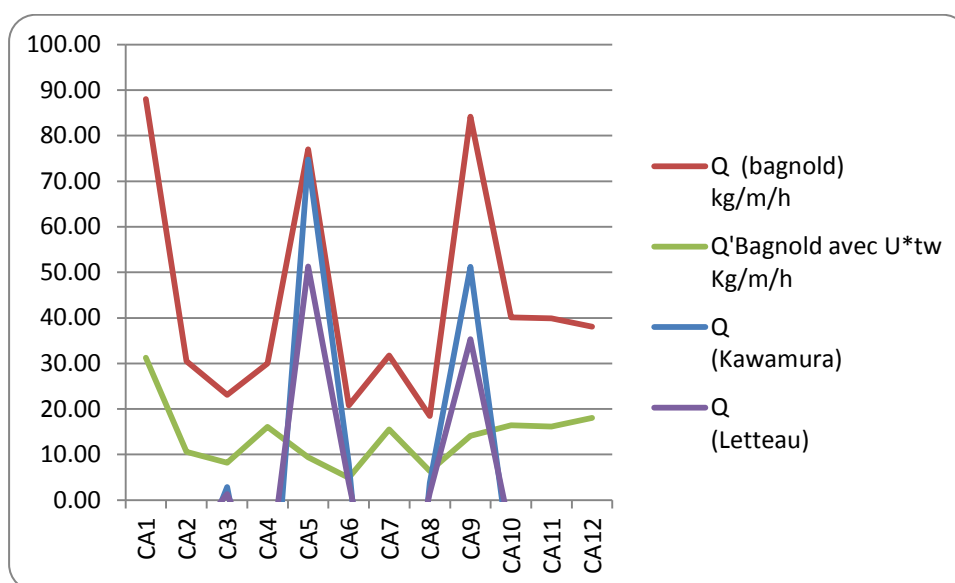
Cependant il faut noter l'énorme peak du relevé CA8 qui passe d'une moyenne de 0.28 mm à 2.35 mm.

L'humidité de ces relevés est supérieure à 20%. Cette différence s'explique par l'avancée du profil convexe hivernal sur l'estran, avec par la même occasion une évolution du fossé de déferlement vers le Sud.

Evaluations théoriques des déplacements sédimentaires

Volumes transportés théoriques selon la formule de Bagnold								
Nom de l'échantillon	d (mm)	Q kg/m/h	U*t m/s	U*tw m/s	p*	w %	vitesse du vent m/s	C
CA1	0.86	88.056	0.766	1.753	1.7	6.49	15.81	1.8
CA2	0.53	30.500	0.602	1.317	1.7	4.46	12.036	
CA3	0.32	23.102	0.513	1.326	2	20.48	11.934	
CA4	0.54	30.010	0.666	1.729	2	21.34	11.934	
CA5	0.42	76.964	0.536	1.143	1.7	3.61	17.034	
CA6	0.32	20.813	0.467	1.016	1.7	4.19	11.526	
CA7	0.83	31.771	0.753	1.538	1.7	2.54	11.322	
CA8	0.28	18.453	0.479	1.240	2	20.40	11.322	
CA9	0.54	84.171	0.607	1.273	1.7	3.12	16.83	
CA10	0.49	40.126	0.634	1.618	2	17.83	13.362	
CA11	0.78	39.895	0.730	1.486	1.7	2.48	12.342	
CA12	0.71	38.063	0.696	1.645	1.7	8.64	12.342	

Volume transporté théorique selon la formule de BAGNOLD adaptée avec U^*TW (basée sur l'adaptation de P.Y.NELLY)								
Nom de l'échantillon	d (mm)	Q (bagnold) kg/m/h	Q'perso Kg/m/h	Q (Kawamura)	Q (Letteau)	U^*tw m/s	w %	vitesse du vent m/s
CA1	0.86	88.06	31.231	-31.997	-20.899	1.753	6.49	15.81
CA2	0.53	30.50	10.586	-19.509	-9.684	1.317	4.46	12.036
CA3	0.32	23.10	8.219	2.868	1.292	1.326	20.48	11.934
CA4	0.54	30.01	16.059	-42.202	-18.759	1.729	21.34	11.93
CA5	0.42	76.96	9.434	74.733	51.254	1.143	3.61	17.034
CA6	0.32	20.81	4.873	7.967	3.796	1.016	4.19	11.526
CA7	0.83	31.77	15.480	-84.351	-37.908	1.538	2.54	11.322
CA8	0.28	18.45	6.409	3.793	1.622	1.240	20.40	11.322
CA9	0.54	84.17	14.128	51.199	35.333	1.273	3.12	16.83
CA10	0.49	40.13	16.398	-14.619	-7.368	1.618	17.83	13.362
CA11	0.78	39.90	16.167	-64.044	-32.027	1.486	2.48	12.342
CA12	0.71	38.06	18.018	-49.822	-25.074	1.645	8.64	12.342



3.2.4 Explication de ces déplacements

Cette explication tient compte des relevés et observations effectués sur place, ainsi que sur des travaux étudiés (Bagnold, Carter, Musereau), sur d'autres dunes.

La tempête n'ayant pas été d'une forte puissance, les quantités de sédiments charriés sont moins importantes qu'une tempête de forte importance.

Cependant, il est à noter que la tempête a eu lieu après un épisode de calme d'une semaine, durant lequel les marées ont successivement affaibli le profil hivernal avec un début de comblement du fossé de déferlement.

Les sédiments fins et grossiers ont donc été progressivement mis en mouvement avec l'apport progressif de sédiments moyens à fins sur l'ensemble du profil hivernal, et par l'affaissement de ce dernier, un déplacement des grains grossiers vers la bande convexe, située au sud du fossé de déferlement.

Lors de la tempête, il y a eu une mobilisation des grains grossiers affaissés dans le fossé de déferlement partiellement comblé, ainsi que sur la bande convexe sud, avec un transport de ces sédiments vers le milieu du profil hivernal convexe.

Les déplacements éoliens ont, quant à eux, été actifs essentiellement sur le haut de plage, ainsi que la face dunaire exposée au sud, car les sédiments du milieu du profil hivernal convexe, ont un taux d'humidité important (de 20 à 25%).

Ces déplacements éoliens ont essentiellement décapé la couche de sédiments fins présente sur le haut de dune, ne pouvant transporter les sédiments plus grossiers, sur les secteurs anthropisés, alors que sur les secteurs végétalisés, ça a été le phénomène inverse, avec un piégeage important des sédiments fins.

Conclusion générale

Le travail engagé durant l'évènement climatique n'a pas rendu possible la mesure des transports réels des sédiments sur les 3 secteurs observés. Seuls les transports théoriques selon les formules exposées en introduction, ont permis d'évaluer ces transports.

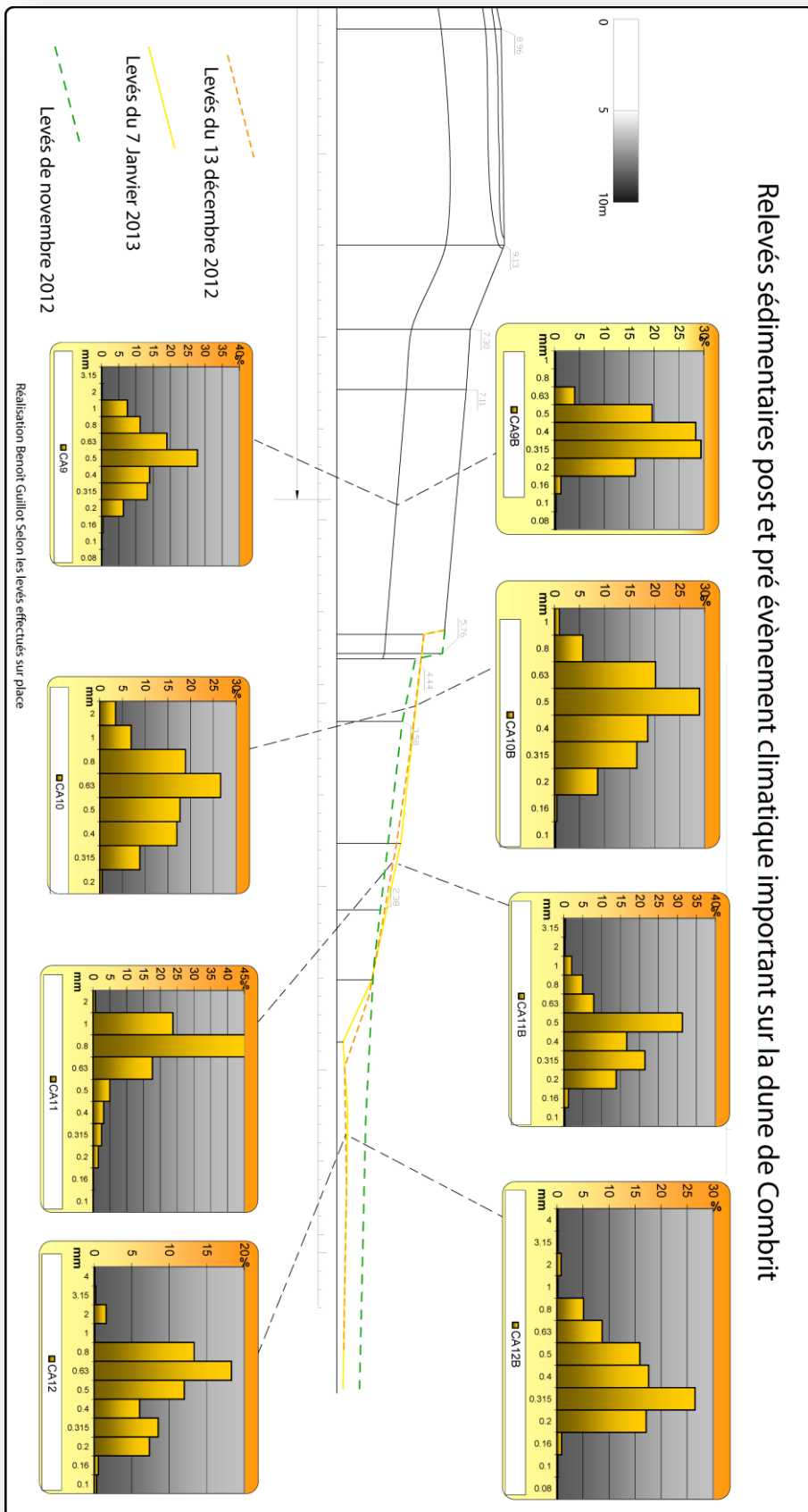
Cependant, ce travail a permis de mettre en évidence les mouvements sédimentaires à l'intérieur de la cellule sédimentaire du Treustel, avec des mesures granulométriques pré et post évènement climatique, ainsi que des relevés topographiques.

Ce travail a aussi permis d'établir une classification pédologique de la dune de Combrit, selon la nature de ses sols, avec une cartographie par secteur naturels (délimités par les accès de plage).

Enfin, les relevés éoliens menés durant l'épisode climatique important ont permis de mettre en évidence l'inégal déplacement du vent sur l'espace dunaire, ce qui entrainera un inégal déplacement des sédiments (notamment en pied de dune). Ces relevés ont aussi permis d'établir un modèle de déplacement éolien sur cette dune.

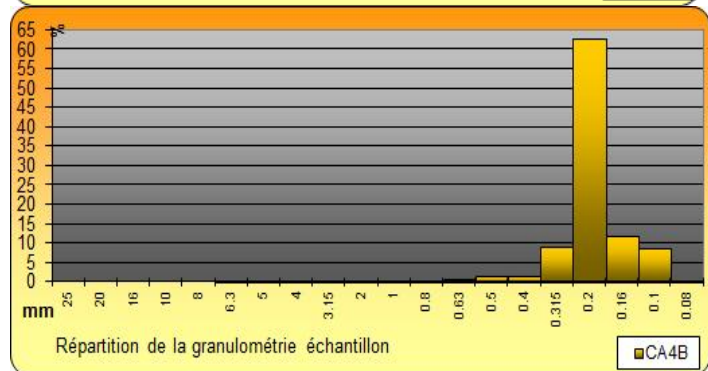
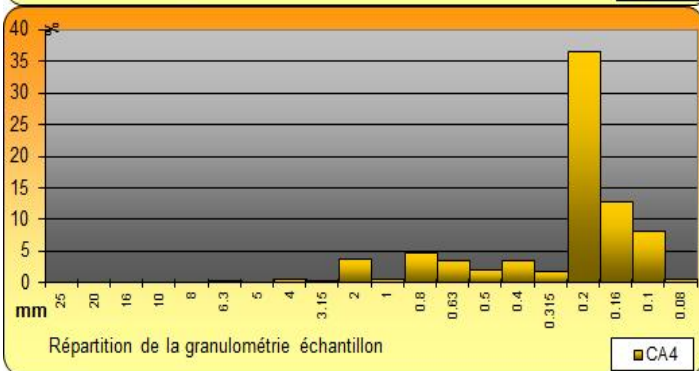
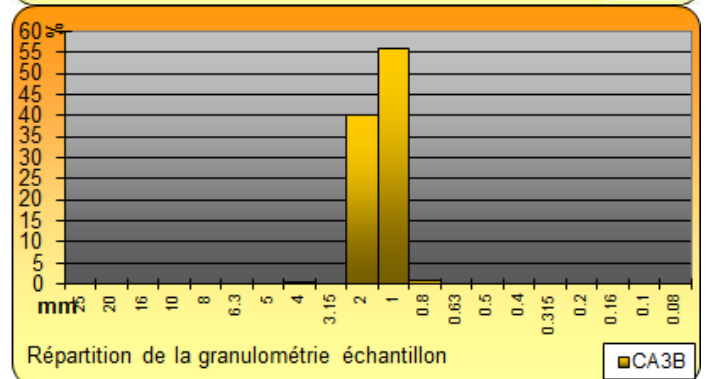
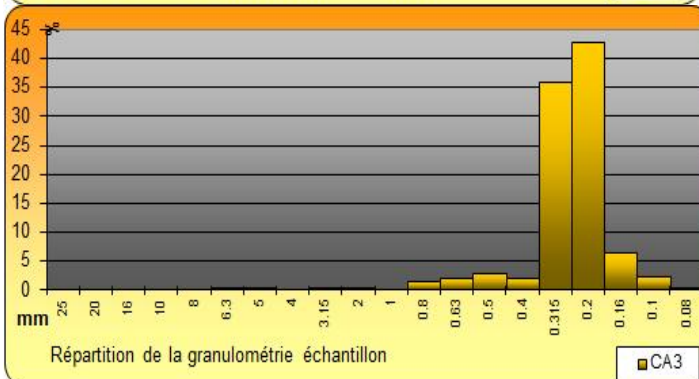
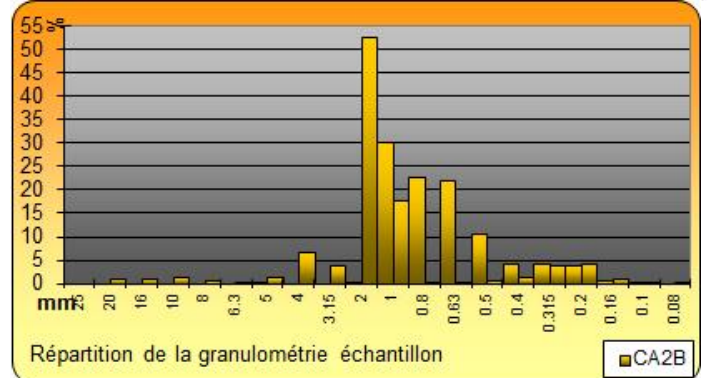
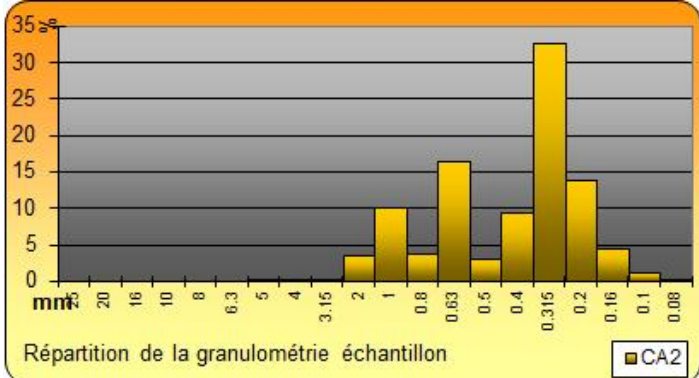
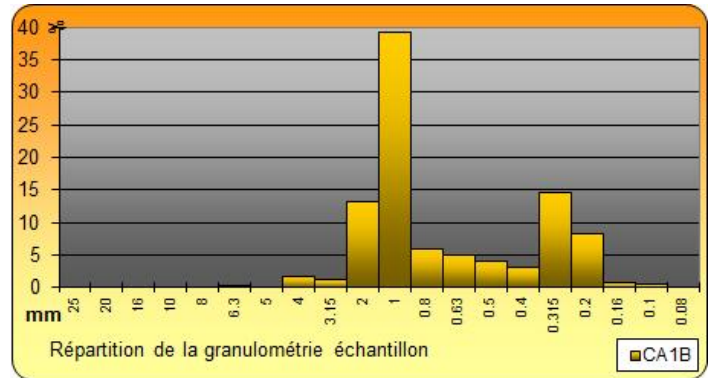
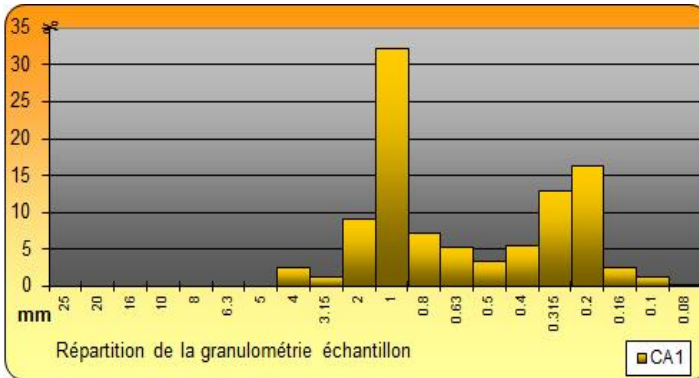
Schéma de synthèse

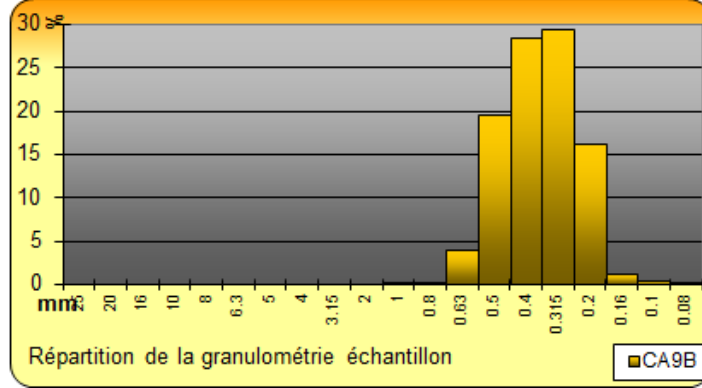
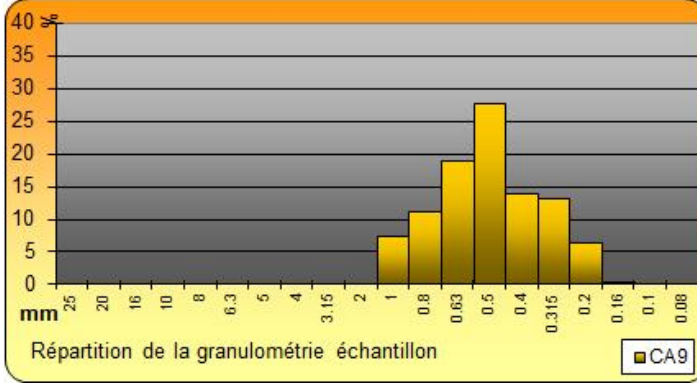
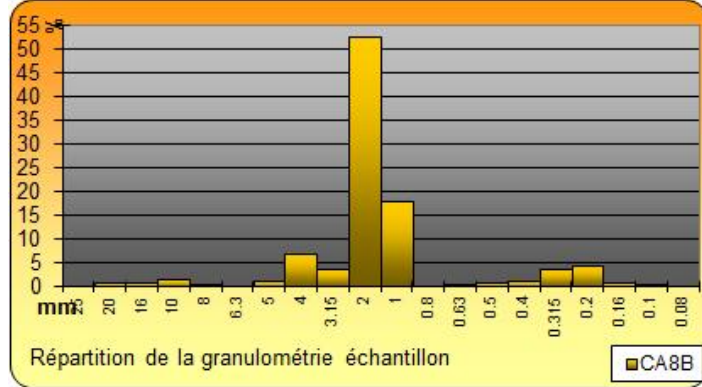
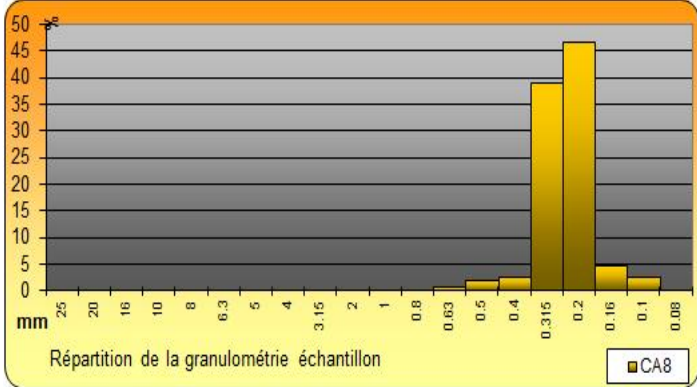
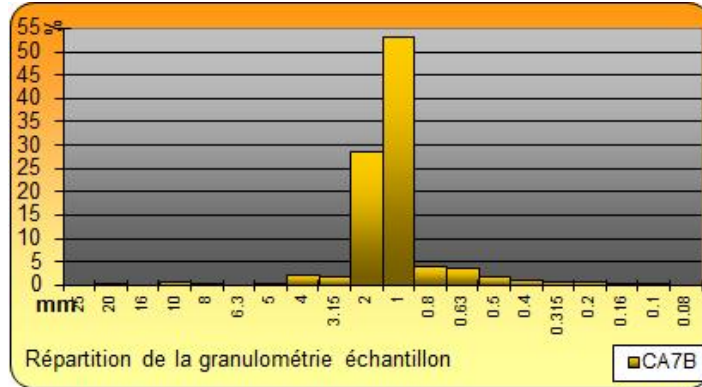
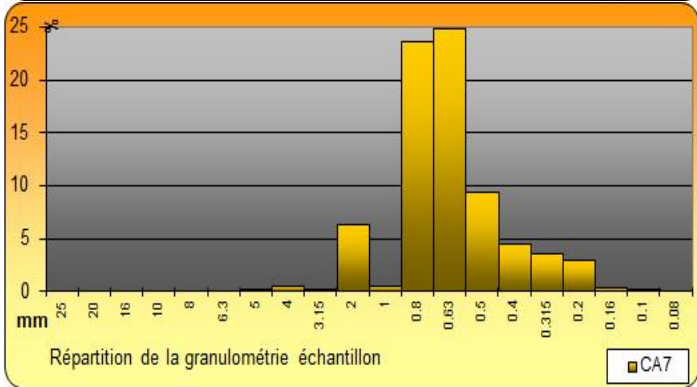
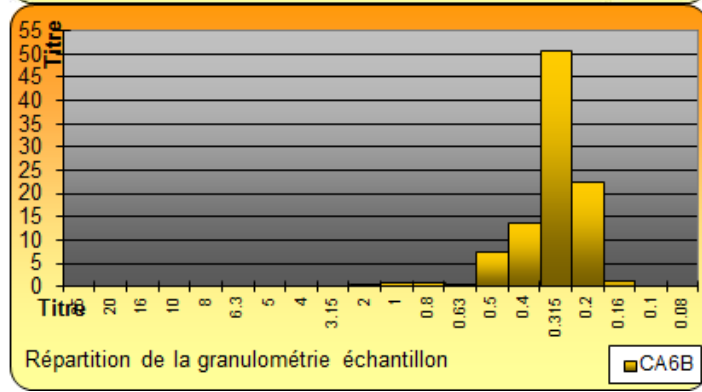
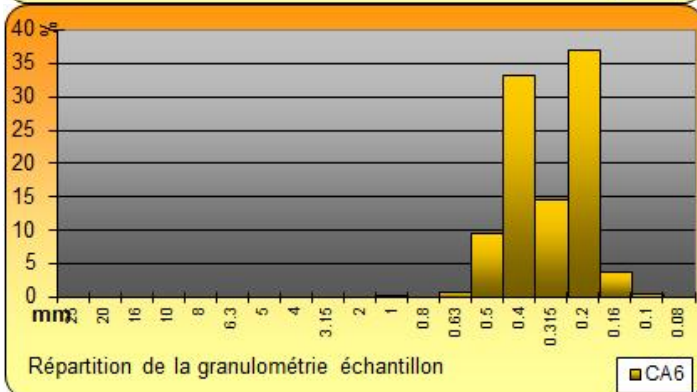
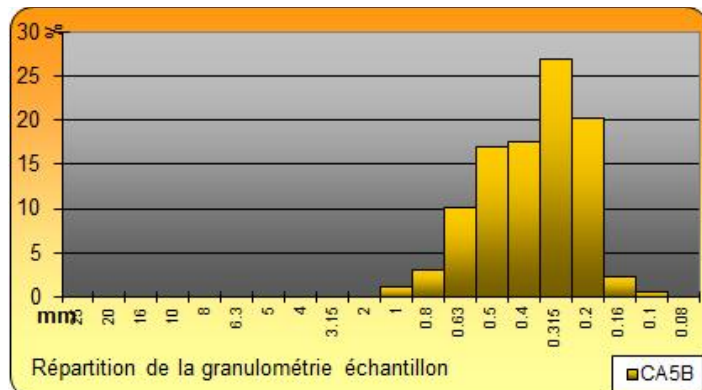
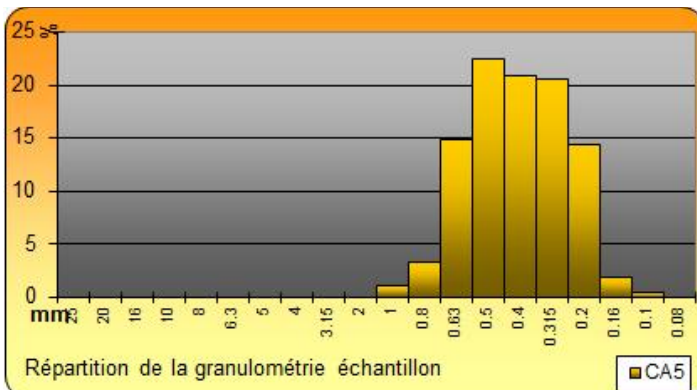
Les graphiques CAx représentent les répartitions granulométriques pré-événement, les graphiques CAxB post événement.

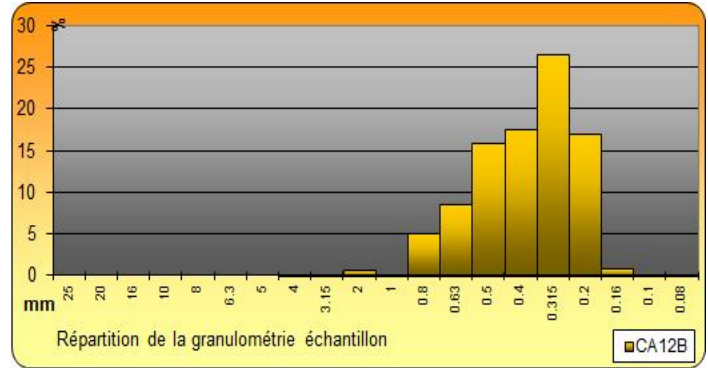
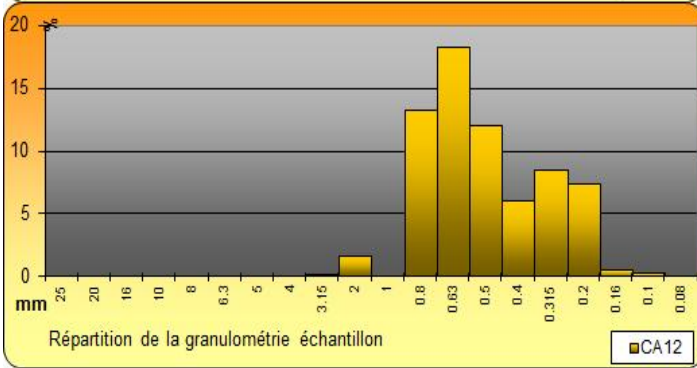
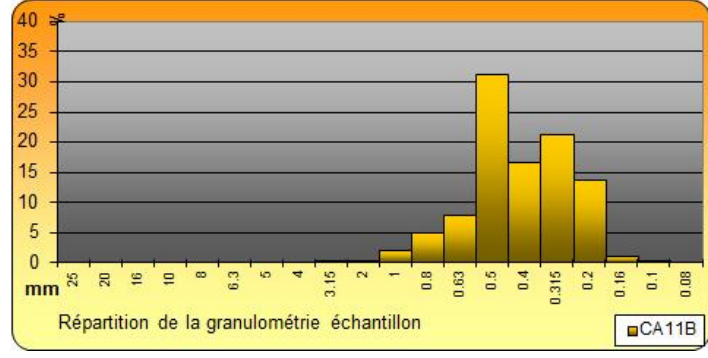
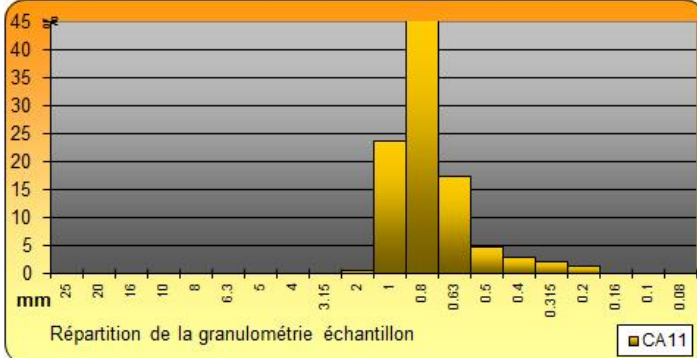
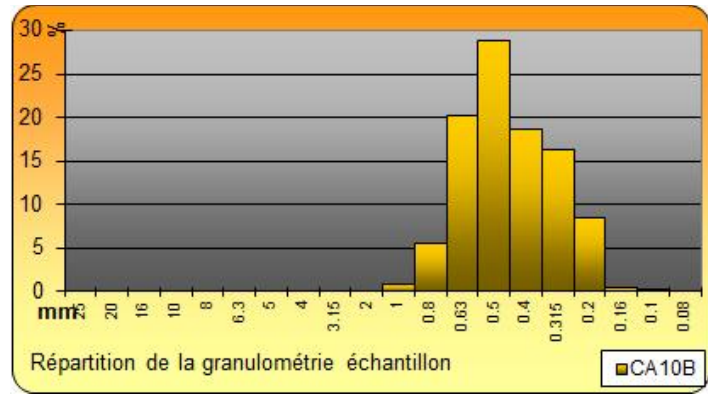
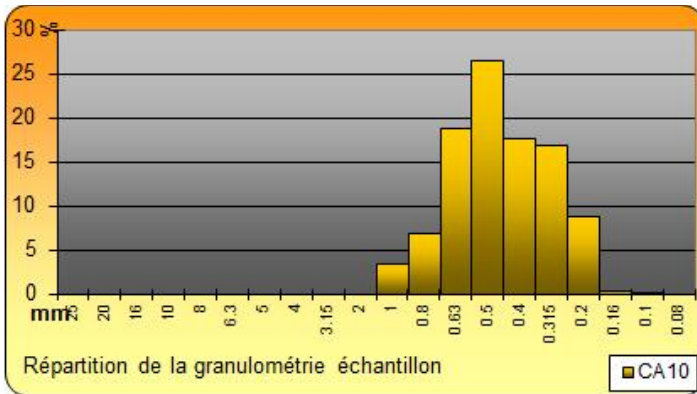


Sources

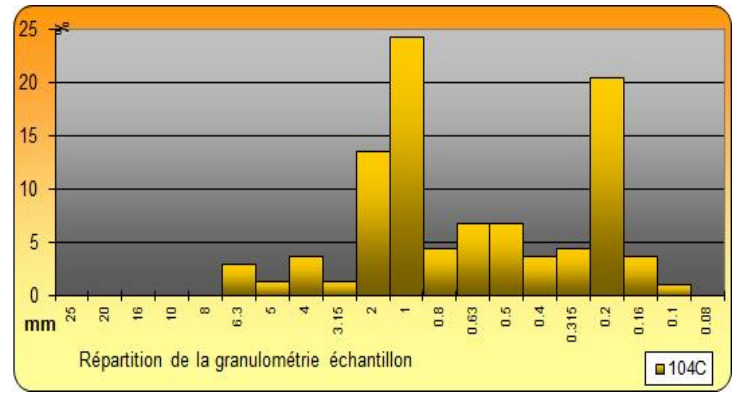
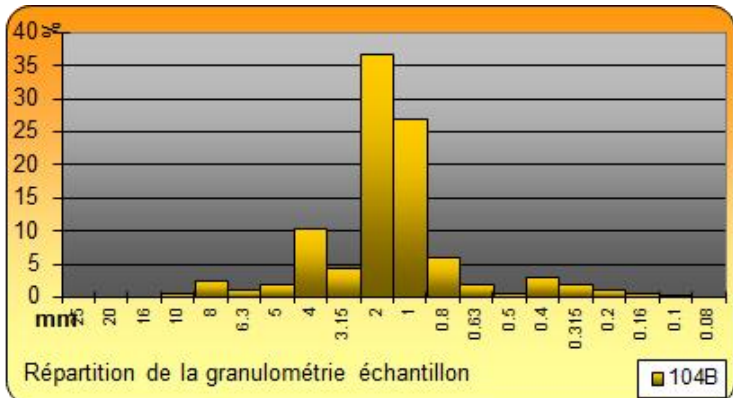
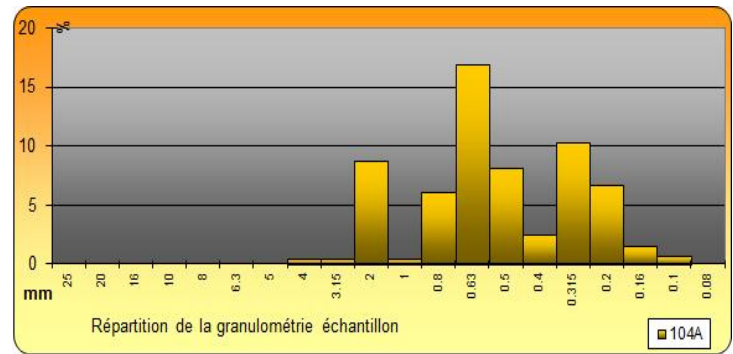
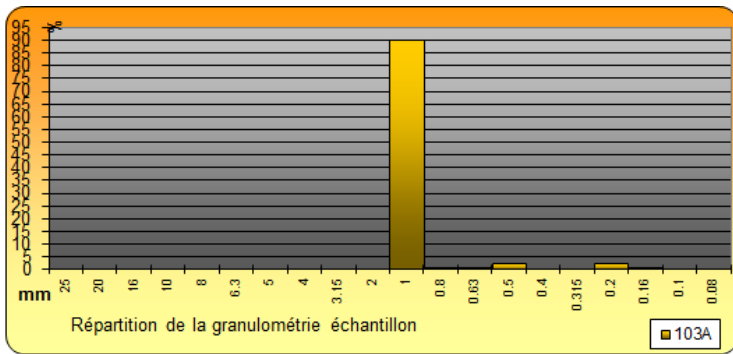
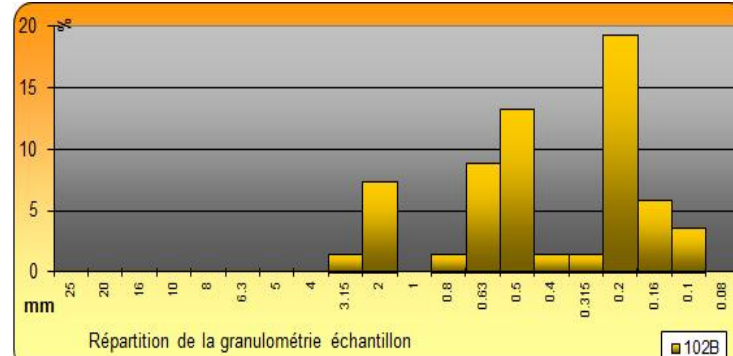
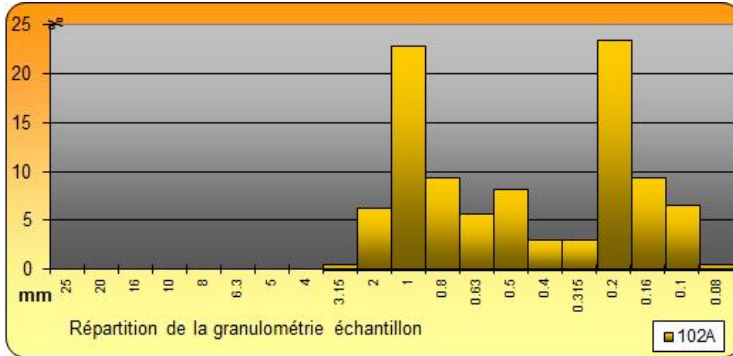
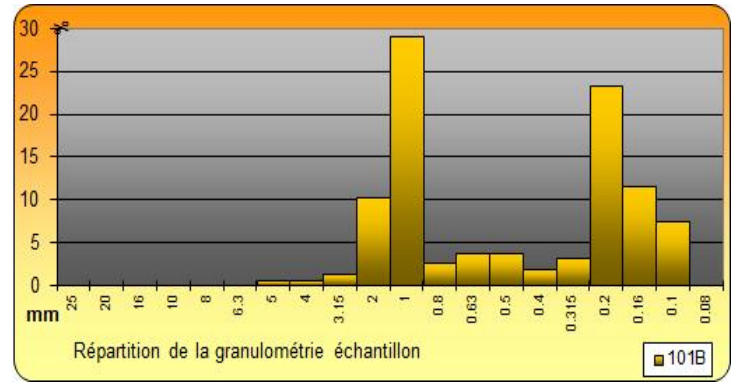
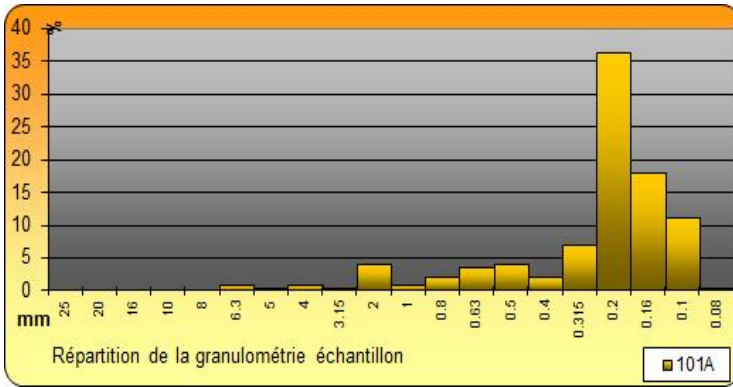
S.1 Relevés sédimentaires comparatifs CA

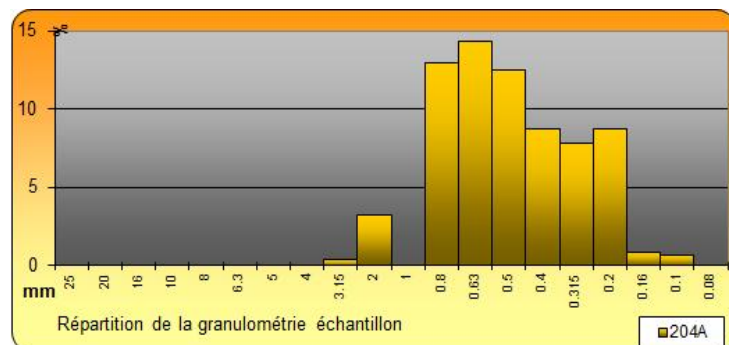
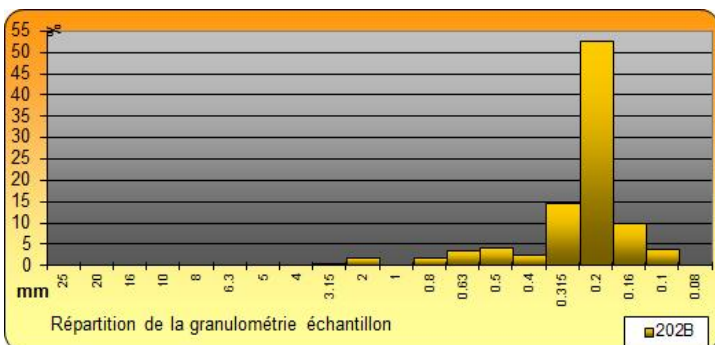
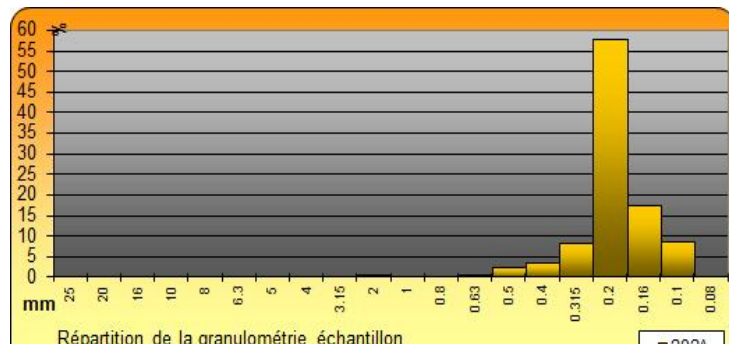
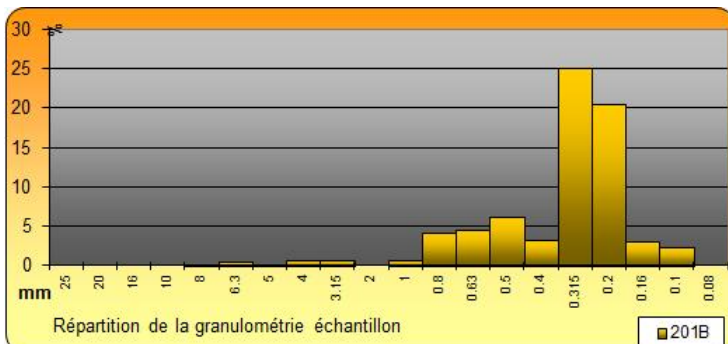
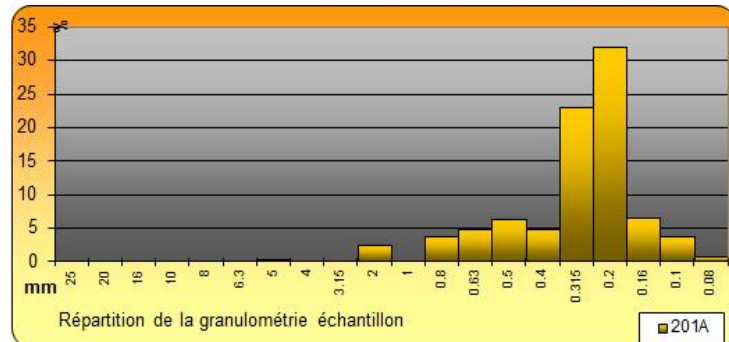
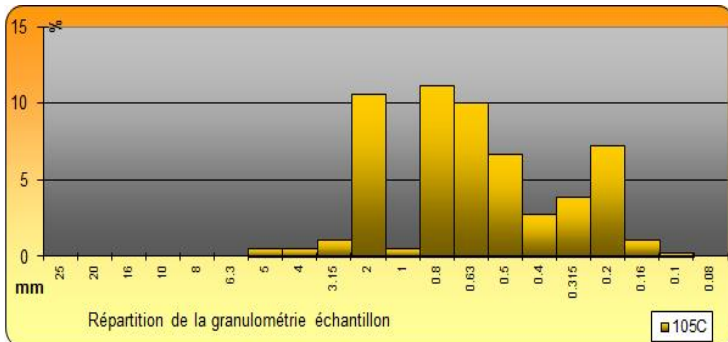
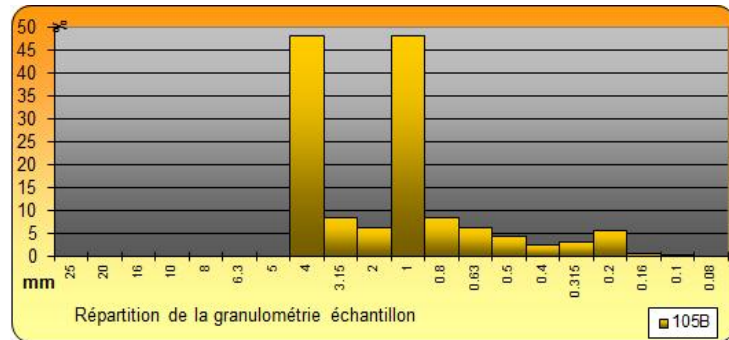
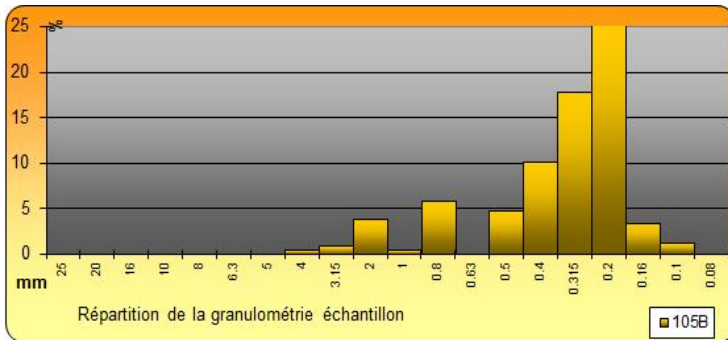
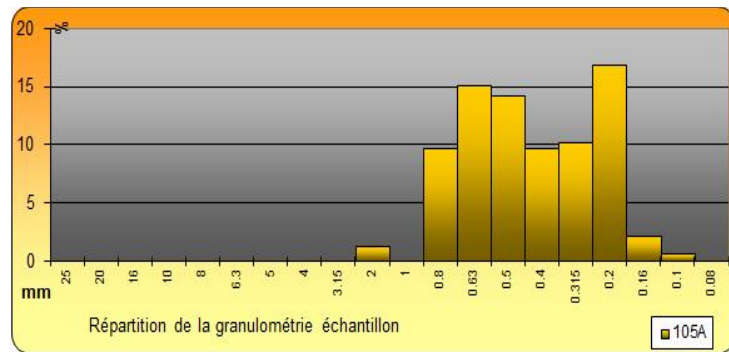
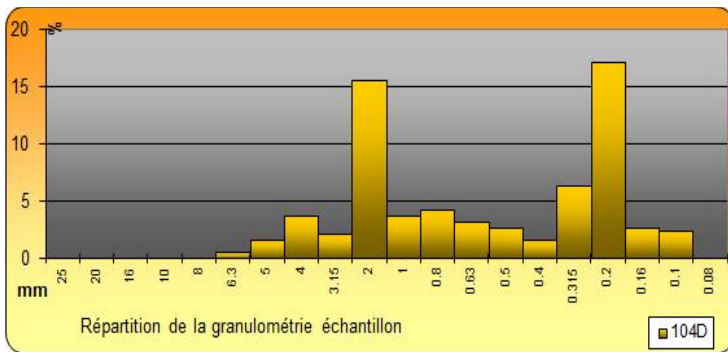


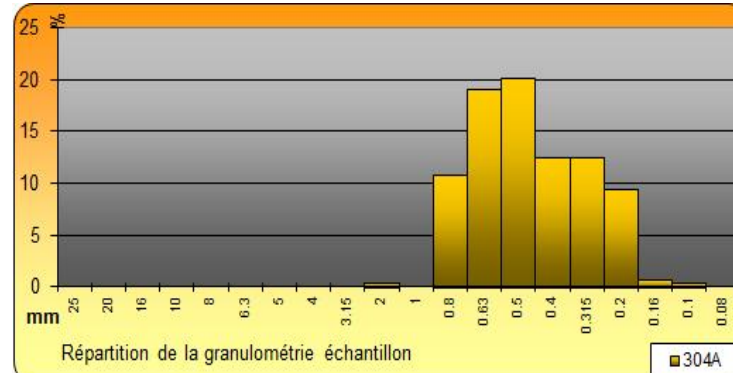
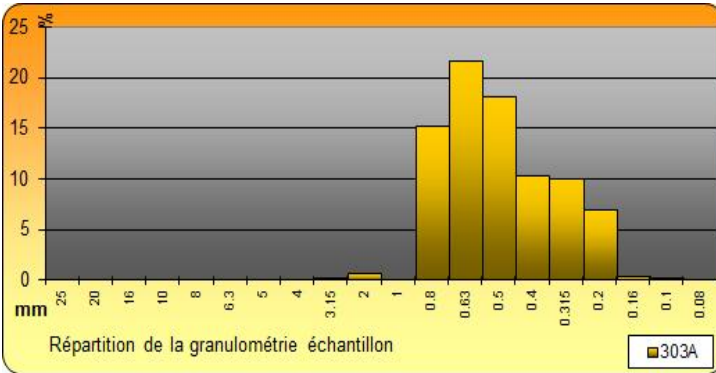
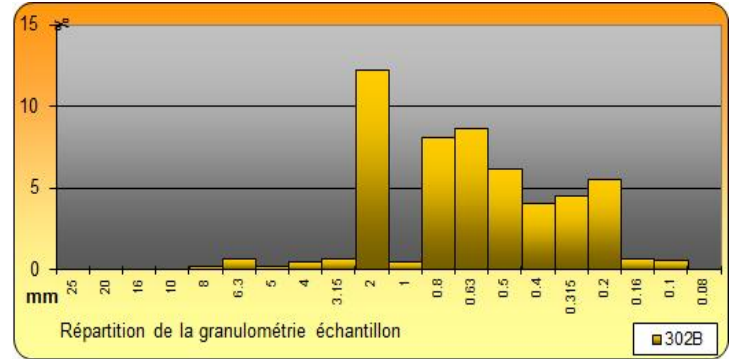
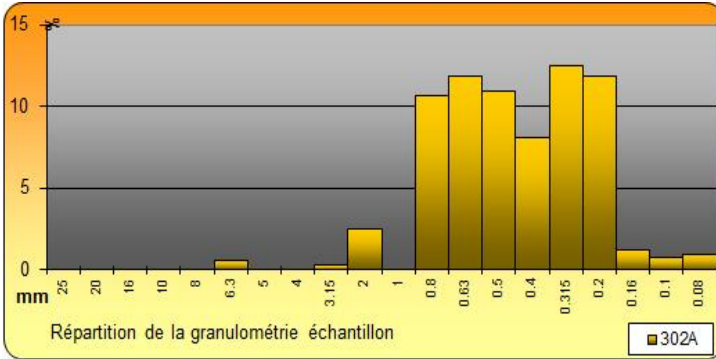
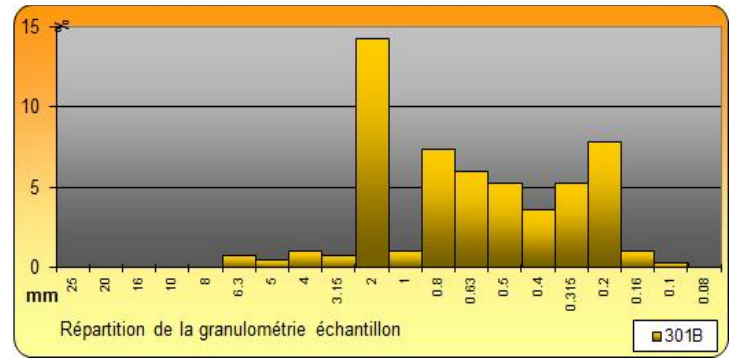
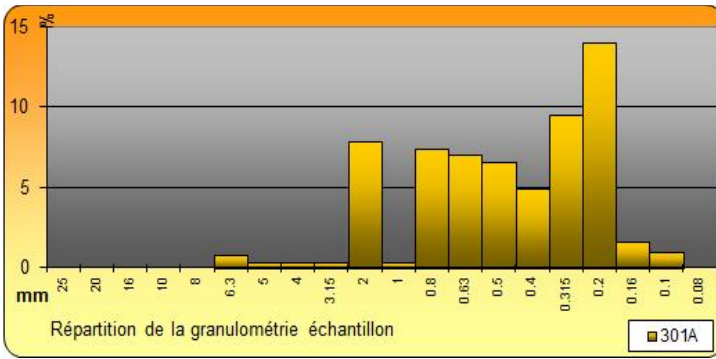




S.2 Autres relevés sédimentaires







S.3 Coordonnées GPS des relevés sédimentaires

Relevés CA

Format du point ° ' "		
Nom du point	Latitude	Longitude
CA1	47°51'24.21"N	4° 8'49.93"O
CA10	47°51'49.55"N	4° 7'36.37"O
CA10B	47°51'49.55"N	4° 7'36.37"O
CA11	47°51'49.16"N	4° 7'36.39"O
CA11B	47°51'49.16"N	4° 7'36.39"O
CA12	47°51'48.62"N	4° 7'36.14"O
CA12B	47°51'48.62"N	4° 7'36.14"O
CA1B	47°51'24.21"N	4° 8'49.93"O
CA2	47°51'23.95"N	4° 8'49.50"O
CA2B	47°51'23.95"N	4° 8'49.50"O
CA3	47°51'23.68"N	4° 8'49.22"O
CA3B	47°51'23.68"N	4° 8'49.22"O
CA4	47°51'23.38"N	4° 8'48.95"O
CA4B	47°51'23.38"N	4° 8'48.95"O
CA5	47°51'41.73"N	4° 8'5.62"O
CA5B	47°51'41.73"N	4° 8'5.62"O
CA6	47°51'41.66"N	4° 8'5.62"O
CA6B	47°51'41.66"N	4° 8'5.62"O
CA7	47°51'40.90"N	4° 8'5.09"O
CA7B	47°51'40.90"N	4° 8'5.09"O
CA8	47°51'40.73"N	4° 8'4.89"O
CA8B	47°51'40.73"N	4° 8'4.89"O
CA9	47°51'49.94"N	4° 7'36.42"O
CA9B	47°51'49.94"N	4° 7'36.42"O

Autres relevés

Format du point ° ' " wgs 84		
Nom du point	Latitude	Longitude
101A	47°51'18.05"N	4° 8'59.90"O
101B	47°51'18.05"N	4° 8'59.90"O
102A	47°51'18.56"N	4° 9'0.36"O
102B	47°51'18.56"N	4° 9'0.36"O
103A	47°51'18.74"N	4° 9'0.78"O
104A	47°51'18.90"N	4° 9'0.95"O
104B	47°51'18.90"N	4° 9'0.95"O
104C	47°51'18.90"N	4° 9'0.95"O
104D	47°51'18.90"N	4° 9'0.95"O
105A	47°51'18.85"N	4° 9'0.94"O
105B	47°51'18.85"N	4° 9'0.94"O
105B	47°51'18.85"N	4° 9'0.94"O
105C	47°51'18.85"N	4° 9'0.94"O
201A	47°51'40.35"N	4° 8'3.16"O
201B	47°51'40.35"N	4° 8'3.16"O
202A	47°51'41.01"N	4° 8'3.93"O
202B	47°51'41.01"N	4° 8'3.93"O
204A	47°51'41.61"N	4° 8'4.39"O
301A	47°51'48.77"N	4° 7'35.80"O

301B	47°51'48.77"N	4° 7'35.80"O
302A	47°51'49.05"N	4° 7'35.84"O
302B	47°51'49.05"N	4° 7'35.84"O
303A	47°51'49.32"N	4° 7'36.04"O
304A	47°51'49.86"N	4° 7'36.20"O

S.4 Relevés éoliens

	Moyenne kts	Moy M/s-1	Moy Km/h-1	Maxis	Max M/s-1	Max Km/h-1
R1	6H50					
plage						
sol	9.4	4.794	17.39	11.4	5.814	21.09
station	20.8	10.608	38.48	27.5	14.025	50.875
air						
station	23.4	11.934	43.29	29.5	15.045	54.575
station	17.8	9.078	32.93	26.8	13.668	49.58
ped de dune						
sol	6.3	3.213	11.655	8.2	4.182	15.17
station	15.7	8.007	29.045	27.5	14.025	50.875
air						
station	23.6	12.036	43.66	28.2	14.382	52.17
station	17.1	8.721	31.635	21.8	11.118	40.33
haut de dune						
sol	13.4	6.834	24.79	15.4	7.854	28.49
station	23.6	12.036	43.66	29.3	14.943	54.205
air						
station	31	15.81	57.35	38.5	19.635	71.225
station	24.7	12.597	45.695	32.3	16.473	59.755
Instantannées						
haut de dune						
Sol	10.7	5.457	19.795			
station	24.8	12.648	45.88			
ped de dune						
Sol	6.9	3.519	12.765			
station	20.3	10.353	37.555			
plage						
sol	8.4	4.284	15.54			
station	20.3	10.353	37.555			
R2						
R2	7H30					
plage						
sol	12.7	6.477	23.495	16.4	8.364	30.34
station	19	9.69	35.15	25	12.75	46.25

air	22.2	11.322	41.07	28.4	14.484	52.54
station	16.9	8.619	31.265	22.9	11.679	42.365
pied de dune						
sol	8.4	4.284	15.54	10.2	5.202	18.87
station	20.2	10.302	37.37	23.6	12.036	43.66
air	22.6	11.526	41.81	26.4	13.464	48.84
station	18.1	9.231	33.485	22.2	11.322	41.07
haut de dune						
sol	12.2	6.222	22.57	14.8	7.548	27.38
station	26	13.26	48.1	30.4	15.504	56.24
air	33.4	17.034	61.79	40.5	20.655	74.925
station	24.5	12.495	45.325	30.8	15.708	56.98
ganivelle						
sol	10.2	5.202	18.87	14.8	7.548	27.38
station	22.1	11.271	40.885	26.5	13.515	49.025
R3	8H20					
plage						
sol	11.8	6.018	21.83	15.2	7.752	28.12
station	17.1	8.721	31.635	23.3	11.883	43.105
air	24.2	12.342	44.77	28.2	14.382	52.17
station	19.6	9.996	36.26	22.2	11.322	41.07
pied de dune						
sol	4.6	2.346	8.51	8.4	4.284	15.54
station	20.1	10.251	37.185	25.4	12.954	46.99
air	26.2	13.362	48.47	33.4	17.034	61.79
station	19.4	9.894	35.89	25	12.75	46.25
haut de dune						
sol	10.4	5.304	19.24	16.8	8.568	31.08
station	28	14.28	51.8	38.5	19.635	71.225
air	33	16.83	61.05	41	20.91	75.85
station	26.4	13.464	48.84	33.2	16.932	61.42

	station sol	station air		station sol	station air
Moyenne des stations plage	18.96666667	18.1	Moyenne des Max stations plage	25.2666667	23.9666667
Moyenne des stations pied dune	18.66666667	18.2	Moyenne des Max des stations pied dune	25.5	23
Moyenne des stations haut dune	25.86666667	25.2	Moyenne des maxs des stations haut dune	32.7333333	32.1

	sol	air		sol	air
Moyenne des relevés plage	11.3	23.26666667	Moyenne des maxs des relevés plage	14.3333333	28.7
Moyenne des relevés pied dune	6.433333333	24.13333333	Moyenne des maxs des relevés pied dune	8.93333333	29.3333333
Moyenne des relevés haut dune	12	32.46666667	Moyenne des maxs des relevés haut dune	15.6666667	40

Sources

Météorologiques :

Windguru (prévisions)

Baston.fr (prévisions et observations)

Windfinder (données et observations)

Bibliographie

R A. BAGNOLD, *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, 1941, London, Methuen, 265p.

K. F. NORDSTROM, R. PSUTY, B. CARTER, *Coastal Dunes : Form and process*. WILLEY 1990 392p.

M. DERRUAU, *Les formes du relief terrestre*, ARMAND COLIN, 2010, 8^{ème} édition 239p.

T. BAKKER, T. W. M. BAKKER, P D. JUNGRIUS, J. A. KLIJN, *Coastal dunes, ecology and conservation*, Springer, 2004 371p.

N. ANWAR MAUN, *The biology of coastal sand dunes*, Oxford University press, 2009, 265p.

J. MUSEREAU, *Approche de la gestion des cordons littoraux : Mise au point et application d'un indice d'érosion (Zone des Pertuis Charentais, France)*, Thèse de Doctorat en géographie, Rennes laboratoire COSTEL, 2009, 306 p. (dir H. REGNAULD).

K. ZHANG, B C. DOUGLAS, S P. LEATHERMAN, *Beach erosion potential for severe nor'easters*. *Journal of coastal research*, Vol 17, n°2, pp. 309-321.

M. WELLAND, *Sand, the never ending story*, University of California Press Berkley Los Angeles, 2009, 343p.

G. GREENBERG, *A Grain of sand, nature's secret wonder*, Voyageur Press, 2008, 112p.

O. H. PILKEY, W. J. NEAL, J. T. KELLEY, J. ANDREW, G. COOPER, *The world's beaches, a global guide to the science of the shoreline*, University of California Press, 2011, 283P.

M. ARCHAMBAULT, R. L'HENAFF, J R. VANEY, *Documents et méthode pour le commentaire de carte, géographie et géologie, principes généraux, et reliefs structuraux*, Paris Masson, 1967.

C. MEUR-FEREC, M-H. RUZ, *Transports éoliens réels et théoriques en haut de plage et sommet de dune (Wissant, Pas-de-Calais, France)*, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. Octobre-décembre, vol. 8, n°4. pp. 321-334.

A. FITTER, M. CUISIN, *Les fleurs sauvages, la vie des plantes et l'identification des espèces*, Delachaux et Niestlé, 1988, 320p.

R. FITTER, A.FITTER, M. BLAMEY, *Guide des fleurs sauvages* 7ème édition revue et corrigée, DELACHAUX ET NIESTLÉ 352p.

D. POIDEVIN, *La carte moyen d'action*, Paris Ellipses, 1999 200p

G. BELTRANDO, 2011. *Les climats : processus, variabilité et risques*. Armand Colin, Coll. U, 270p. (2ème édition), 286p.

Yvonne BATTIAU-QUENEY, *Le relief de la France Coupes et croquis*. , Masson, Collection «Géographie», Paris, 1993, 252p.

Table des matières

Travaux sédimentaires et éoliens sur la dune de Combrit	1
Evaluation des mouvements sédimentaires durant une tempête	2
Résumé	3
Introduction.....	3
Présentation du site de l'étude	4
I) Présentation de la démarche	6
1.0 Spécification du vocabulaire	6
L'estran ou zone intertidale :	6
La dune ou zone supratidale :	6
Tempête :	6
1.1 Travaux éoliens	6
1.2 Travaux sédimentaires	8
1.3 Interprétation des données	9
1.3.1 Evaluations théoriques	9
Volume transporté (Q) et vitesse de cisaillement (U_*).....	9
Vitesse limite de mise en mouvements (U_{*t}).....	9
Impact de l'humidité (U_{*tw}).....	9
1.4 Choix des sites témoins et travail préalable	10
1.5 Prévisions météorologiques et heures de l'intervention	10
II Travaux	12
2.1 Travaux topographiques	12
2.1.1 Coupes topographiques.....	12
Coupe n°1.....	12
Coupe n°2	12
Coupe n°3.....	12

2.1.2 Profils topographiques (Cf planche).....	13
2.2 Travaux pédologiques et sédimentaires.....	13
2.2.1 Profils pédologiques (cf. planche).....	13
2.2.2 Tentative de classification pédologique de la dune.....	13
Le type 1.....	13
Le type 1B.....	13
Le type 2.....	14
Le type 3.....	14
Le type 4.....	14
2.2.3 Carte de classification des sols.....	15
2.2.4 Analyse de la carte de classification des sols.....	16
2.3 Travaux éoliens.....	17
2.3.1 Profil éolien durant la tempête du 29/12/2012.....	17
Commentaires et observations.....	17
III) Bilans.....	18
3.1 Bilan sur la géomorphologie dunaire de Combrit.....	18
3.1.1 Détermination et classification de la dune de Combrit.....	18
3.1.2 Une dérive Ouest Est.....	19
3.1.3 Un secteur d'accrétion la pointe de Sainte-Marine.....	20
3.1.4 Le végétal un rôle fondamental.....	20
3.1.5 Remblais anthropiques.....	21
En conclusion.....	22
Carte de synthèse.....	22
3.2 Bilan de la « tempête » des 28 et 29 décembre 2012.....	23
3.2.1 Etat initial.....	23
3.2.2 Durant l'évènement.....	24
3.2.3 Après l'évènement, analyse des déplacements.....	24
3.2.3.1 Les différents mouvements sédimentaires.....	24
Les hauts de dunes (secteurs Ouest).....	24
Les hauts de dunes (secteurs Est).....	24
Les pieds de dunes (Ouest et Est).....	24
Les milieux des profils convexes hivernaux (Ouest).....	25
Les milieux des profils convexes hivernaux (Est).....	25
Les bandes sableuses convexes.....	25
Evaluations théoriques des déplacements sédimentaires.....	25
3.2.4 Explication de ces déplacements.....	26

Conclusion générale.....	27
Schéma de synthèse	28
Sources.....	29
S.1 Relevés sédimentaires comparatifs CA.....	29
S.2 Autres relevés sédimentaires	32
S.3 Coordonnées GPS des relevés sédimentaires	35
Relevés CA.....	35
Autres relevés	35
S.4 Relevés éoliens	36
Sources.....	39
Bibliographie	39
Table des matières	40