

Test portant sur l'Evaluation du stock Sédimentaire TERrestre sur un site pilote OBSCAT appartenant au territoire de PMCU

Contrat d'étude ESTER



CEFREM 2018

Test portant sur l'Evaluation du stock Sédimentaire TERrestre sur un site pi- lote OBSCAT appartenant au territoire de PMCU

Contrat d'étude ESTER

Nicolas Robin
Julie Billy
Nicolas Aleman
Jean-Paul Barusseau
Raphaël Certain
Bertil Hebert
Olivier Raynal
Christine Sotin

Table des matières

PREAMBULE	5
1. INTRODUCTION.....	7
2. SITE D'ETUDE.....	8
3. METHODOLOGIE	8
3.1. Le géo-radar	8
3.2. Les carottages et tarières	10
4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS	12
4.1. Données sédimentologiques.....	12
4.2. Données de géo-radar.....	17
4.3. Estimation du stock sédimentaire terrestre	20
4.4. Autres types d'informations.....	21
5. CONCLUSIONS	24
6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	25
Annexe 1	29
Annexe 2	37

PREAMBULE

Ce rapport constitue une synthèse des travaux du projet « **ESTER** » (Test portant sur l'Évaluation du stock Sédimentaire TERrestre sur un site pilote OBSCAT appartenant au territoire de PMCU) (2016-2018) entre l'Observatoire de la côte sableuse catalane (OBSCAT), l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD) et le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

L'étude a été réalisée au sein du Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens (CEFREM) par le groupe Littoral Multi-Scale Analysis (LMUSCA) sous la direction scientifique de Mrs. Nicolas ROBIN et Raphaël CERTAIN (<https://elmusca.wordpress.com>).

Citation :

Robin, N., Billy, J., Aleman, N., Barusseau, J.P., Certain, R., Hebert, B., Raynal, O., Sotin, C., 2018. Test portant sur l'évaluation du stock sédimentaire terrestre sur un site pilote OBSCAT appartenant au territoire de PMCU. Rapport final ESTER, pp. 37.

1. INTRODUCTION

L'érosion côtière et la submersion marine représentent des menaces importantes pour le bien-être et la prospérité des populations qui vivent sur la frange littorale. La superficie des plages perdue chaque année sur les côtes européennes est évaluée à 1 500 hectares (EUROSION, 2004). Les estimations précisent que l'érosion et la submersion en 2020 toucheront 158 000 personnes/an en Europe, et 50% des zones humides disparaîtront à cause de la montée du niveau de la mer induite par le changement climatique.

En Languedoc Roussillon, plus d'un habitant sur deux vit sur la bande littorale. L'artificialisation du littoral, essentiellement provoquée par les secteurs résidentiels, récréatifs et touristiques, se poursuit et s'accélère : les secteurs artificialisés représentent 30% du littoral de notre région (EUROSION, 2004). Les pressions engendrées par la surconsommation d'espace littoral ou par la fréquentation excessive d'espaces naturels accentuent le phénomène érosif et menacent de détruire l'équilibre fragile des écosystèmes littoraux.

Cette vulnérabilité forte aux aléas érosion et submersion marine entraîne :

- des impacts écologiques : disparition de plages et de milieux dunaires, dégradations des cordons littoraux et des milieux lagunaires.
- des impacts économiques : les infrastructures, les habitations et les activités sont nombreuses à être menacées par le déplacement du trait de côte et les risques de submersion marine.

En région Languedoc-Roussillon et plus particulièrement sur le territoire de Perpignan Méditerranée Métropole, l'évaluation du stock sédimentaire sur la frange littorale est un élément clé dans la compréhension du fonctionnement naturel du système. Ce stock (marin et terrestre) intervient dans la dynamique sédimentaire du milieu et les interactions complexes avec les conditions hydrodynamiques. De plus il permet de mettre en relief l'évolution des bilans sédimentaires effectués sur plusieurs échelles de temps (suivis OBSCAT, projet REVOLSED 2012-2014 (UPVD-DREAL-LR) et SIMILAR 2013-2017 (UPVD-DREAL-LR)). Par ailleurs, Il est également un élément de réflexion important à prendre en considération pour la gestion intégrée du système et l'aménagement futur du territoire. Le volume du stock sédimentaire en mer est maintenant bien évalué à l'échelle régionale suite au projet LITOSSIS 2012-2014 (UPVD-DREAL-LR). Toutefois son estimation à terre reste encore manquante et est nécessaire afin d'avoir une vision globale de la ressource en sable.

L'objectif de cette étude est d'estimer la potentialité de calculer le stock sédimentaire terrestre d'un site pilote de l'OBSCAT. Pour cela, des levés effectués à l'aide d'un géo-radar et par sismique terrestre (levés effectués par le BRGM pour cette technique dans le cadre de l'OBSCAT) couplés à des carottages, pour valider les données géophysiques, seront réalisés. Cette étude doit permettre d'apporter au final, une expertise sur la méthodologie à employer ultérieurement sur les autres sites OBSCAT afin de quantifier le stock sédimentaire terrestre.

Ce projet s'inscrit dans les actions de suivi de l'évolution du littoral et de l'amélioration des connaissances dans le domaine des aléas côtiers menées par l'OBSCAT. Le BRGM, partenaire technique principal du projet ObsCat, coordonne le rapport d'observation annuel qui inclura les résultats de cette étude.

2. SITE D'ETUDE

Le site d'étude est sur la commune de Torreilles (Pyrénées Orientales, [Fig. 1](#)), au sud de l'embouchure de l'Agly. Ce choix d'expérimentation réalisé en concertation avec les agents de l'OBSCAT et du BRGM est motivé par deux raisons :

- Opter pour un site naturel dépourvu au maximum d'une action anthropique actuelle ou passée afin de s'affranchir de cette contrainte dans l'interprétation des données géophysiques.
- Choisir un site qui permet la réalisation de profils sur de longues distances afin de favoriser l'interprétation des données.

Le site de Torreilles présente un large système dunaire qui s'est développé depuis la fin Holocène. Il est bordé à l'ouest et au nord respectivement par le bras et l'embouchure de l'Agly, alors que sa partie maritime à l'est correspond à une plage de type 'intermédiaire', dominée par la houle, avec un système de deux barres festonnées. Les granulométries du sable de plage montrent un mode dominant à 0.63 mm ([Aleman et al., 2015](#)). La partie médiane (i.e. arrière plage) du système présente une altitude d'environ 1.5 m NGF et une végétation typique d'une dune grise. En se rapprochant de la façade maritime, l'altitude augmente significativement pour atteindre localement 4 m NGF avec une végétation de dune jaune ou très clairsemée.

3. METHODOLOGIE

Afin d'atteindre les objectifs de cette étude, une campagne d'acquisition de données géophysiques à l'aide d'un géo-radar a été réalisée sur le site de Torreilles. Des données sédimentaires nouvelles (carottages et tarières) et anciennes (forage de 1973) ainsi que des levés, topographiques (LIDAR et DGPS-RTK) complètent le jeu de données.

3.1. Le géo-radar

Le géo-radar est une méthode géophysique non-invasive qui permet d'obtenir une coupe du sol en deux dimensions. Cette technique, de plus en plus utilisée depuis les années 1990 ([Neal, 2004](#)), a pour intérêt de pouvoir imager rapidement et de façon continue les structures sédimentaires situées en sub-surface (jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur) de l'objet étudié (e.g., [Bristow and Jol, 2003](#); [Rodriguez and Meyer, 2006](#)).

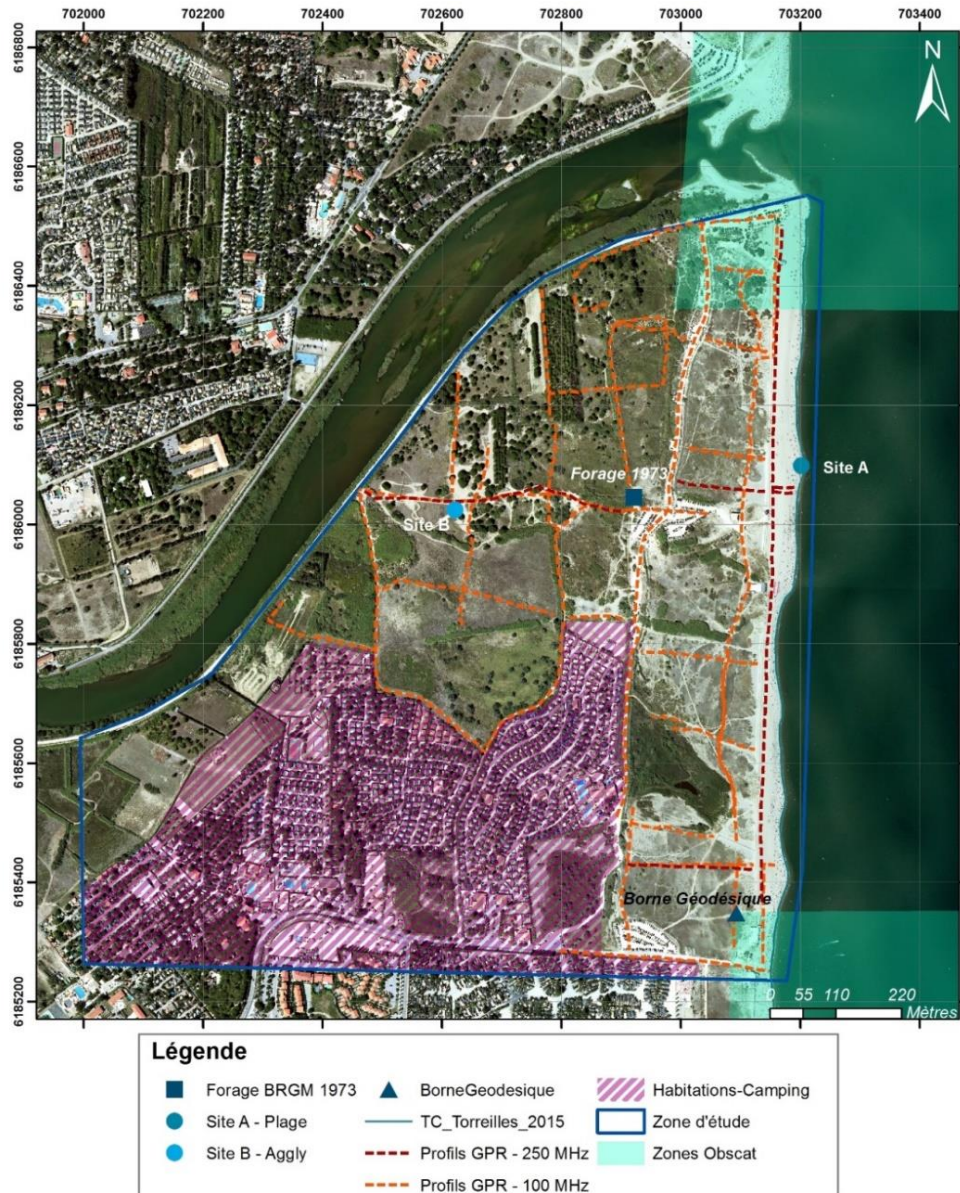


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et plan de position des profils géo-radar et des carottes sédimentaires.

Son fonctionnement repose sur l'émission, la propagation et la réflexion d'ondes électromagnétiques hautes fréquences (centaines de MHz) dans le sol. A la réception du signal les discontinuités électriques enregistrées par l'appareil symbolisent les différentes interfaces et les hétérogénéités sédimentaires présentes dans le sol. L'image générée permet ainsi de visualiser les dépôts, les pendages et les organisations sédimentaires. Toutefois l'utilisation de l'outil GPR dans les environnements comprenant des infiltrations d'eaux salines est limitée, due à une perturbation du signal trop importante.

Les fréquences des antennes communément utilisées pour l'étude des environnements côtiers varient entre 100 et 500 MHz. Une antenne de basse fréquence (ex : 100 MHz) aura un signal qui pénétrera plus profondément dans le sol (~10m) qu'une

antenne de plus haute fréquence (soit environ 6-8 m pour une antenne de 250 MHz). La résolution verticale du signal est contrôlée par la longueur d'onde ($\lambda = \text{vitesse}/\text{fréquence}$) et est considérée comme étant égale au quart de celle-ci ($r = \lambda/4$). Ainsi pour une onde électromagnétique se propageant dans un sol sableux et graveleux, la vitesse sera comprise entre 0.09 et 0.13 m/ns (Neal and Roberts, 2000; Neal, 2004). Dans le cas de notre étude sur le site de Torreilles nous considérons une vitesse moyenne de 0.1 m/ns, une résolution $r_{100\text{MHz}} = 0,25$ m et $r_{250\text{MHz}} = 0,10$ m.

Pour ce projet, 11.2 km de profils GPR (antennes MALA de fréquence 100 et 250 MHz ; Fig. 2) transversaux et parallèles au trait de côte ont été enregistrés (Fig. 1). Les profils ont été traités sous Reflex-Win V8.2 (recalage du zéro, filtres, suppression des bruits de fond, correction d'amplitude, correction topographique) et la description de l'imagerie des profils radar (géométries, unités, faciès) est similaire à celle utilisée en stratigraphie sismique. Un DGPS-RTK a été couplé au géo-radar afin de localiser les profils et d'enregistrer la topographie associée.



Figure 2 : Photographie de la campagne d'acquisition GPR (25/01, 09/02 et 04/04/2017), imageant l'antenne GPR 250 MHz couplé à une antenne GPS.

3.2. Les carottages et tarières

L'acquisition de nouvelles données sédimentaires a été réalisée d'une part en utilisant un carottier à percussion, appartenant au laboratoire CEREGE de l'Université d'Aix-Marseille (Photographie de la campagne de carottage Fig. 3), et d'autre part en utilisant une tarière. Les prélèvements ont été réalisés sur deux sites (Localisation Fig. 1) :

- Site A – La plage : une carotte d'un mètre de profondeur;
- Site B – Arrière plage : une carotte de 3.3 m et une tarière de 2 m de profondeur.

Un forage archive de 1973 (<http://infoterre.brgm.fr>) de 20 m de long, et se situant entre les sites A et B (Fig. 1), a également été utilisé pour compléter l'information

sédimentaire du site plus en profondeur. L'ensemble de ces données sédimentaires permet de corrélérer le signal géophysique à la réalité sédimentologique.



Figure 3 : Photographies de la campagne de carottage les 4-5 Avril 2017, imageant le carottier à percussion et le travail de description lithographique sur les carottes juste récoltées.

Une série de 49 échantillons a été prélevée sur les nouvelles données sédimentaires (carottes et tarières, Fig. 4). Le traitement du matériel sédimentaire a été réalisé via une colonne à tamis (diamètres des tamis compris entre 10 et 0.05 mm) afin d'obtenir les caractéristiques granulométriques classiques des échantillons (Mode, D_{50} , classement...).



Figure 4 : Photographies de l'échantillonnage des carottes après ouverte (à gauche) au laboratoire CEFREM et analyse granulométrique des échantillons par colonne à tamis (à droite).

4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1. Données sédimentologiques

L'analyse granulométrique des échantillons issues des carottes et tarières des sites A et B a été synthétisée ci-dessous (Fig. 5) et représentée finement (photographie, granulométrie, description) pour chaque site sur les figures 6 à 8.

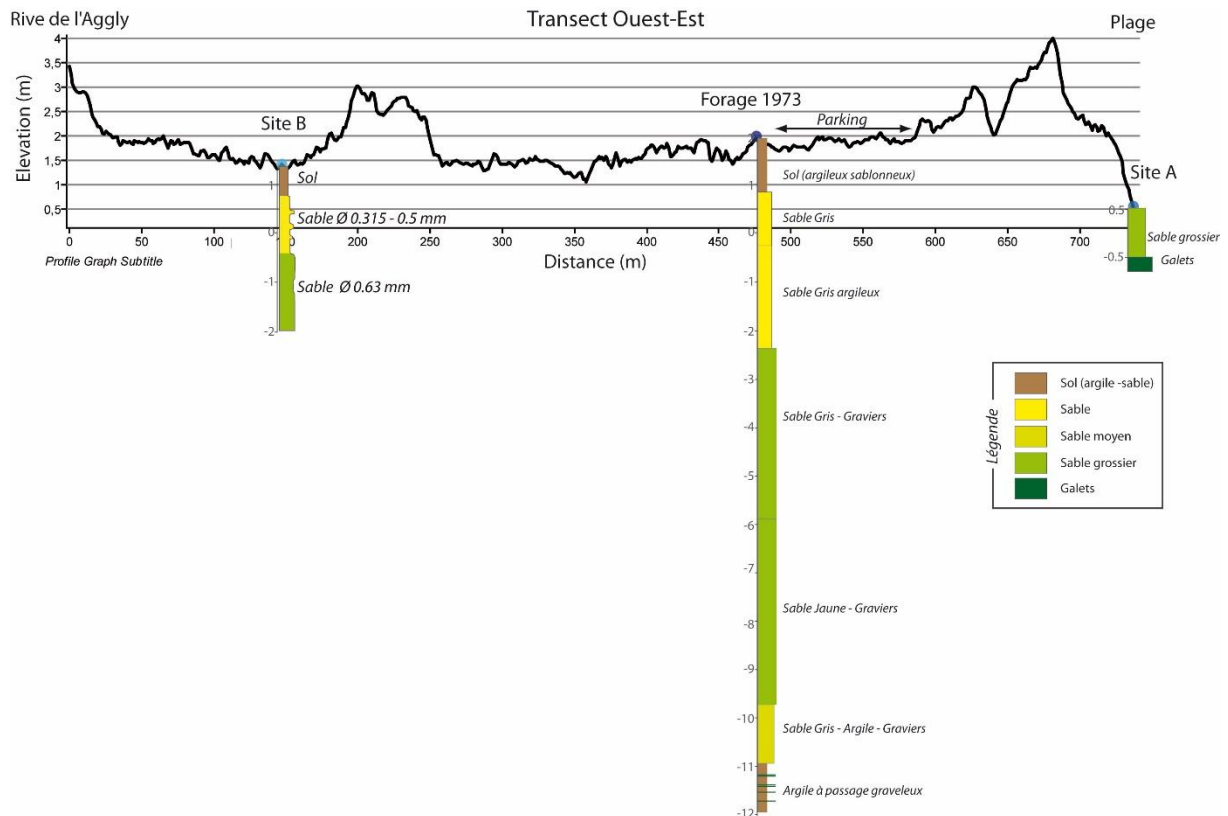


Figure 5 : Coupe transversale Ouest-Est, entre la rive de l'Aggly et la plage (Fig. 1), représentant une vue d'ensemble des différentes couches sédimentologiques du site de Torrelles.

- A) Les échantillons de la carotte du site A ont permis de mettre en avant le type de sédiments présent sur la plage actuelle :
- On constate ainsi qu'il est assez hétérogène, constitué d'un sable grossier avec des pics modaux de 0.63 à 1 mm (Fig. 6).
 - Plusieurs passages avec de nombreux galets et graviers sont également observés (galet de 6 cm de diamètres sur le bas de la carotte au niveau des échantillons E 109 et E 110, Fig. 6). La non-pénétration du carottier au-delà de 1m de profondeur est liée à la présence d'un gros galet.
- B) Les échantillons de la carotte et de la tarière du site B ont permis de révéler trois éléments (Figs. 7 & 8):
- La présence d'un sol entre 0 à 0.60 m de profondeur (soit de +1.40 à 0.80 m NGF)

- la présence de sable entre 0.60 m à 1.80 m de profondeur (soit 0.80 à -0.40 m NGF) avec des modes dominants compris entre 0.25 et 0.63 mm (majoritairement entre 0.315 et 0.5 mm)
- la présence d'un sable entre 1.80 à 3.30 m de profondeur (soit de -0.40 à -1.90 m NGF) avec une répartition modale homogène des dépôts à 0.63 mm. Seul un mince horizon entre -0.90 et -1.10 m NGF montre un mode à 0.5 mm.

C) Concernant l'archive du forage de 1973 (Fig. 5), elle indique :

- La présence d'un petit sol sablo-argileux sur 1 m qui recouvre une épaisse couche de sable et de graviers jusqu'à 12.80 m de profondeur (soit -11 m NGF).
- La base de cette unité sables/graviers (le dernier mètre) est caractérisée par un sable argileux à graviers.
- Au-delà de 12.80 m et jusqu'à la base du forage (20 m de profondeur), les dépôts sont argileux avec quelques passages graveleux.

Site A

CAR-01

Log

Campagne ESTOR_CAR

Lieu : Torreilles - le 06 / 04 / 2017

Localisation : 3°02'20.7"E - 42°46'27.9"N

Carotte : CAR_01

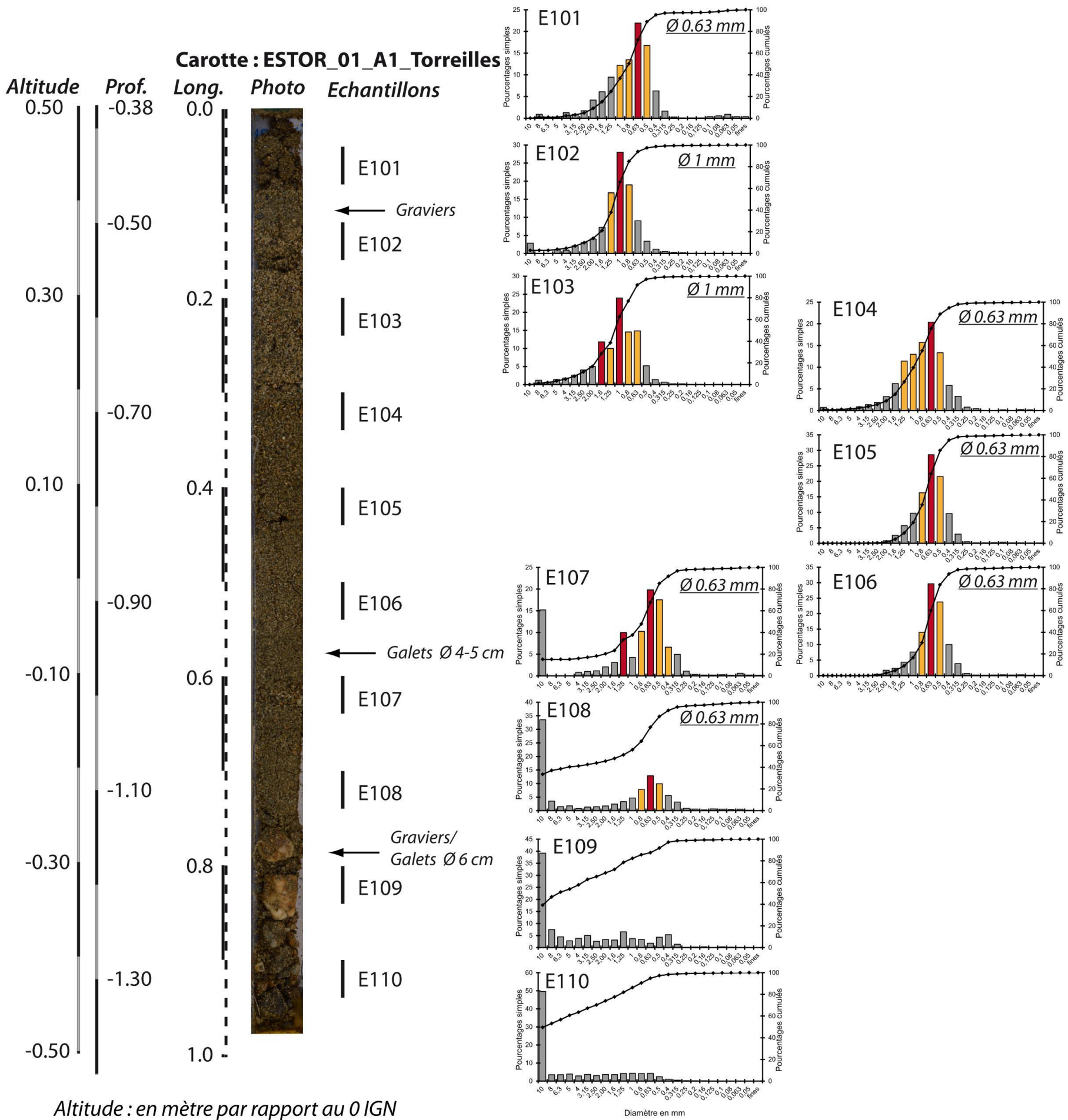
Pénétration carottier : -0.38 à -2.20 m

Longueur carotte : 0.98 m

Ouverture le : 11/ 04 / 2017

Opérateurs : BILLY J. - RAYNAL O. - ROBIN N.

Granulométrie : ROBIN N. SOTIN C. - ROJAS-MARQUEZ A.



Altitude : en mètre par rapport au 0 IGN
 Profondeur : en mètre par rapport au sol
 Longueur du tronçon de la carotte en mètre

Figure 6 : Synthèse de la carotte du site A – Plage ; représentant le visuel (photographie) de la carotte, sa profondeur, son élévation par rapport au 0 NGF, les échantillons et les granulométries associées (en rouge les pics modaux) et son log synthétique.

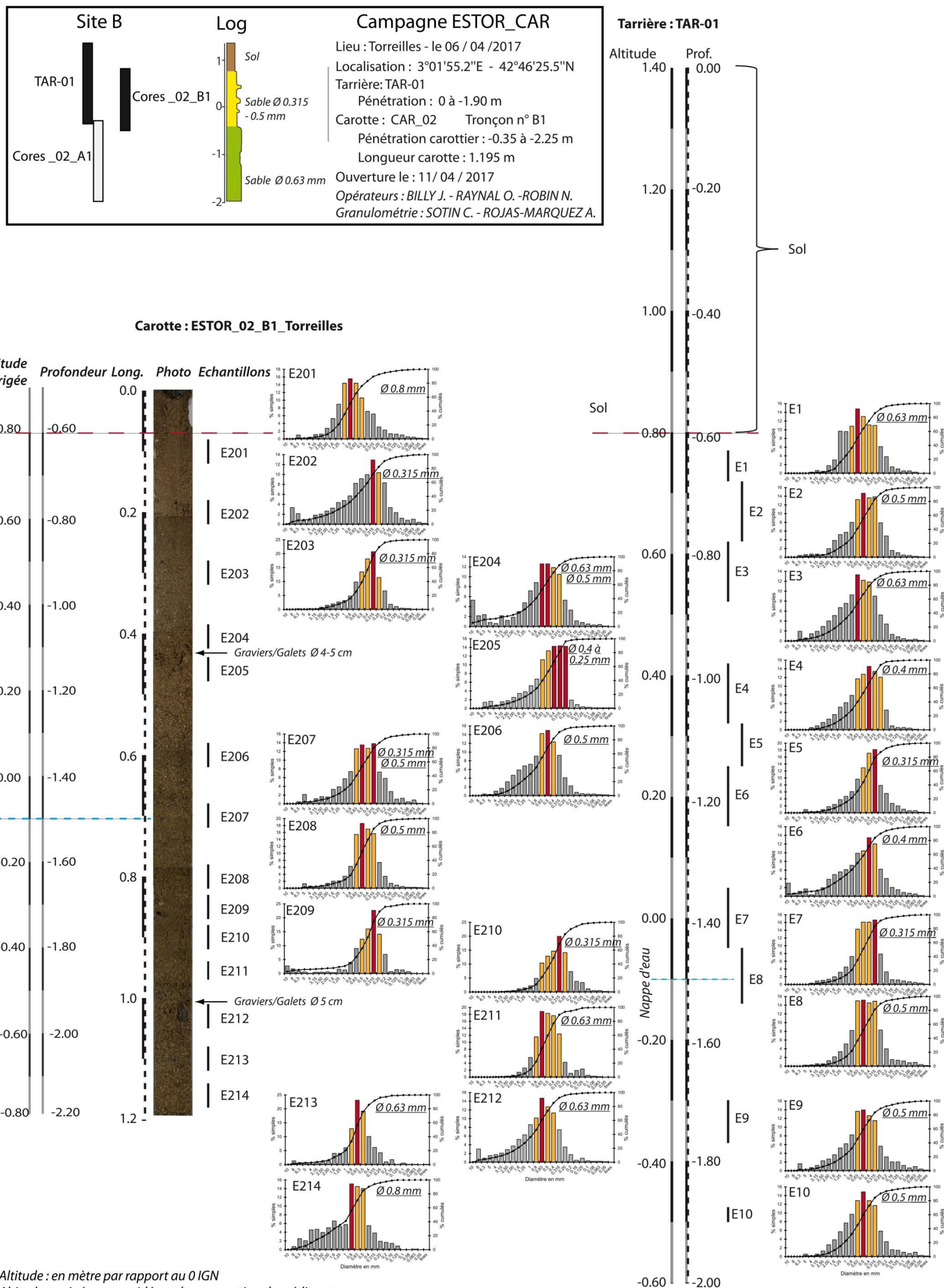


Figure 7 : Synthèse de la carotte et de la tarière du site B – Arrière -plage ; représentant le visuel (photographie) de la carotte, sa profondeur, son élévation par rapport au 0 NGF, les échantillons et les granulométries associées (en rouge les pics modaux) et son log synthétique.

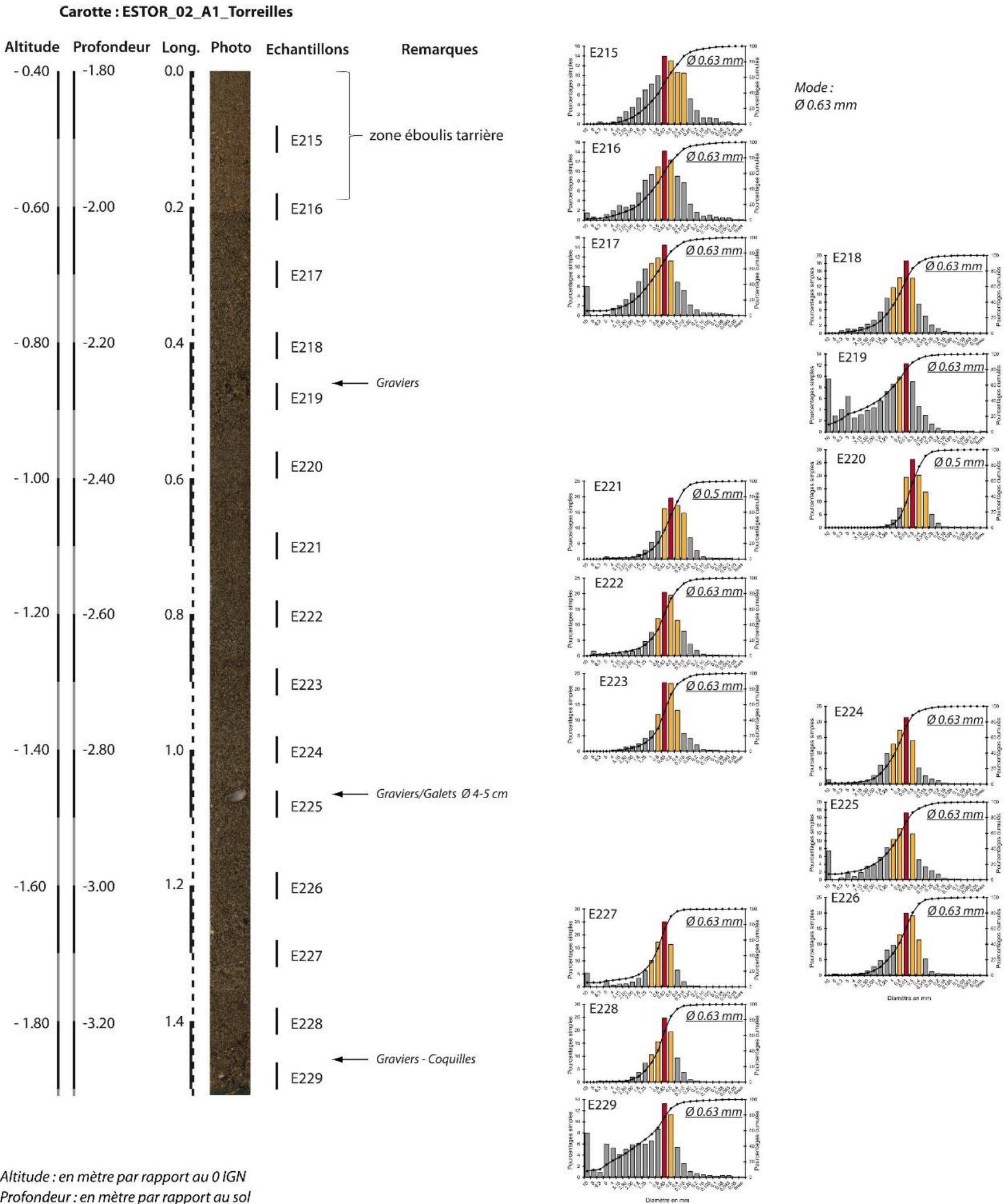
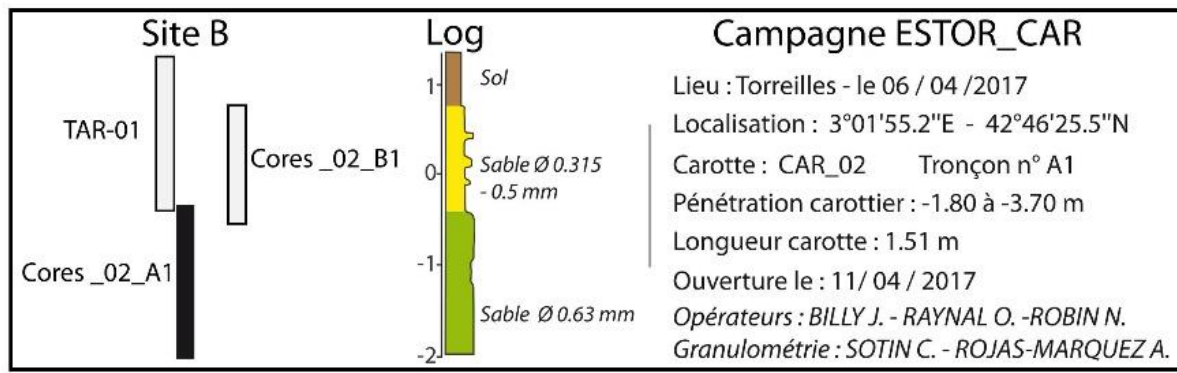


Figure 8 : Synthèse de la fin de la carotte du site B – Arrière -plage ; représentant le visuel (photographie) de la carotte, sa profondeur, son élévation par rapport au 0 NGF, les échantillons et les granulométries associées (en rouge les pics modaux) et son log synthétique.

4.2. Données de géo-radar

L'ensemble du jeu de donnée géo-radar peut être divisé en deux zones dont la limite se matérialise par le chemin principal nord-sud qui traverse la zone (Fig. 1) :

1) A l'ouest, entre le chemin et la rivière Agly (zone ouest), les données architecturales sont très chaotiques, difficilement interprétables et ne pénètrent pas à plus de 8 de profondeur (Fig. 9). Une grande partie de cette zone a subi différentes phases de cultures ou d'habitations passées, et cette occupation du sol peut être une des causes de la perturbation du signal. Le profil P 88 (Fig. 9 ; 100 MHz) image les réflecteurs majeurs visibles sur les premiers mètres. On distingue une unité superficielle (verte) dont les réflecteurs sont plutôt subhorizontaux, constituée d'un sol et de sable fin (dépôts éoliens ; Figs. 5 & 7). En dessous, on distingue quelques réflecteurs progradants vers le large, mais difficiles à suivre en profondeur du fait de la perturbation du signal.

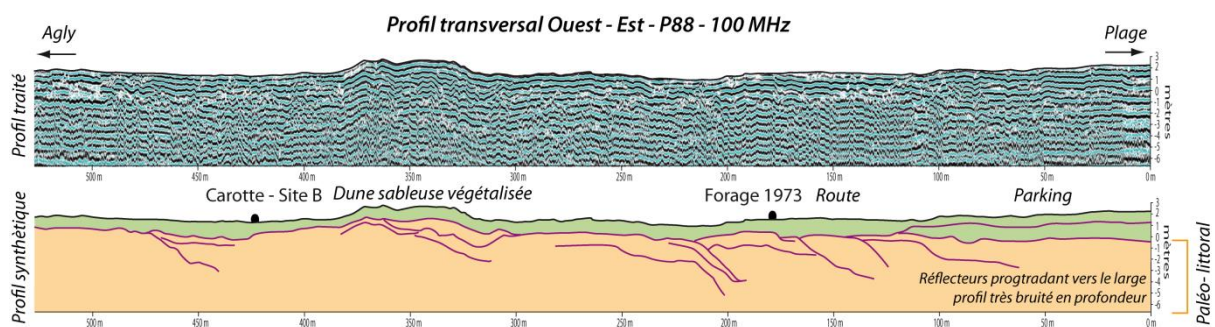


Figure 9 : Profil transversal Ouest – Est, P 88 – 100 MHz, illustrant le secteur ouest.

2) A l'Est, entre le chemin et la plage (zone est), les données architecturales sont beaucoup plus nettes, et un schéma architectural se dessine sur l'ensemble de cette zone (du nord au sud). Cinq transects sont imagées ci-dessous (Fig. 10) et représentent à la fois des données enregistrées avec l'antenne 100 MHz et 250 MHz. Sur ces profils deux unités sont visibles :

Unité 1 (verte) : Présente entre un et deux mètres sous la surface, elle est interprétée comme une couverture dunaire.

Unité 2 (orange) : Présente sous l'unité 1 et jusqu'à la limite de pénétration de l'instrument (5 m et 9 m de profondeur respectivement pour l'antenne 250 et 100 MHz), elle montre des réflecteurs progradants vers l'Est sur au moins 200 m dont le pendage est de l'ordre de 7-8°. La progradation semble continue, sans phases notable d'érosion à cette échelle visuelle. Du fait d'un pendage et d'une granulométrie (mode de 0.63 mm) identiques à la partie basse de la plage actuelle, l'unité 2 est interprétée comme la plage fossile (Figs. 10 & 11), dont chaque réflecteur symbolise un paléo-rivages. À leur base, ces réflecteurs semblent reposés (réflecteurs en *downlap*) sur des réflecteurs horizontaux (Fig. 10), qui peuvent être interprétés comme la marque de la zone d'avant-plage.

Profils Géo-radar (antennes 100 et 250 MHz)

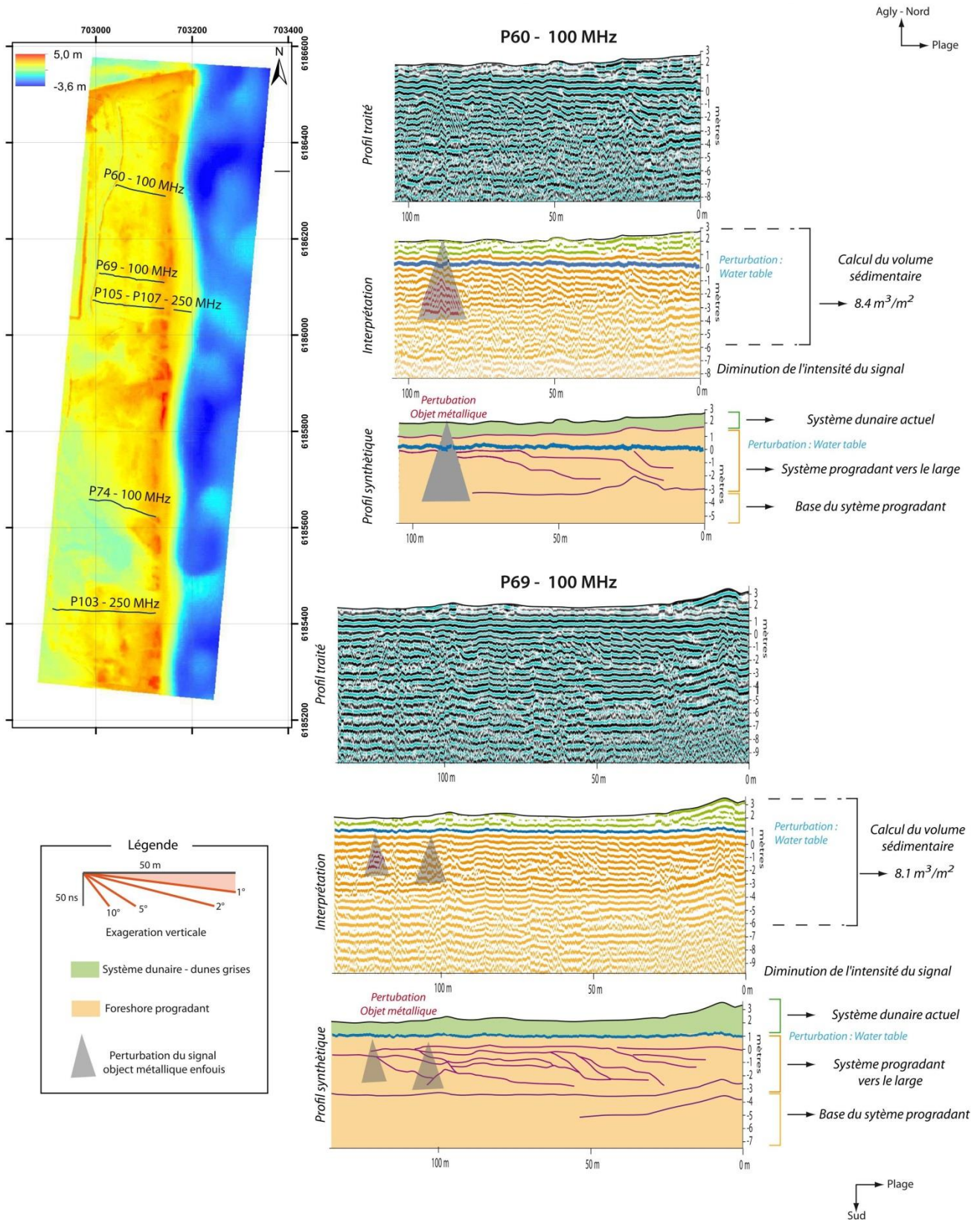
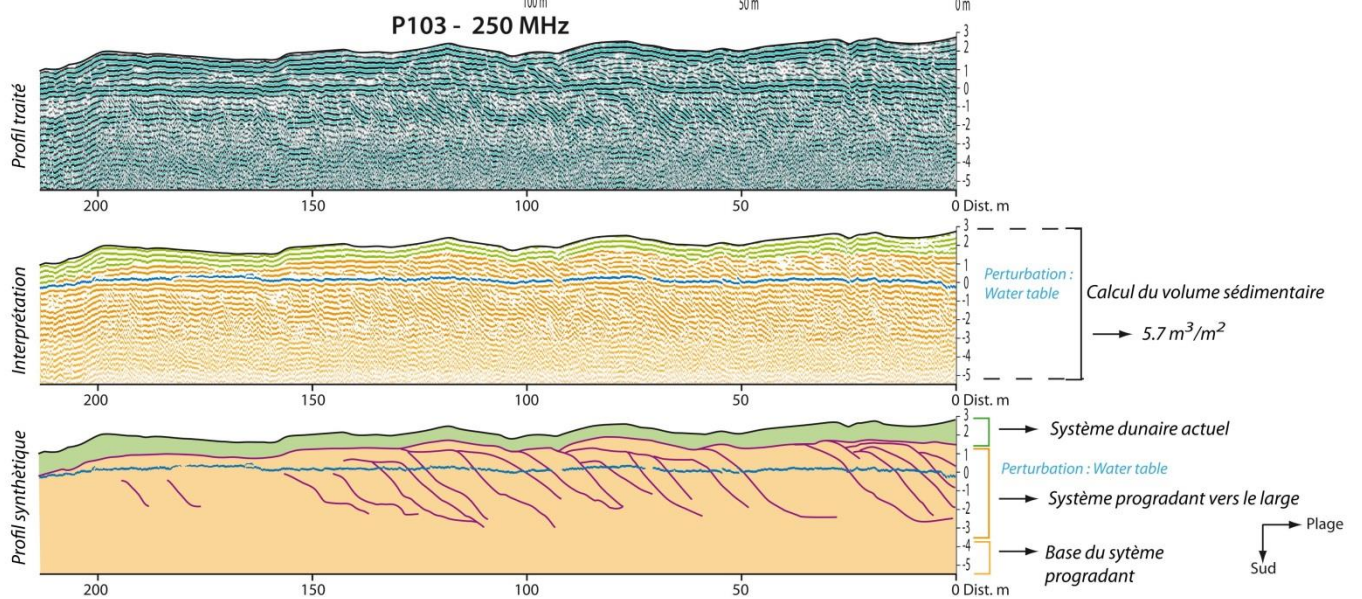
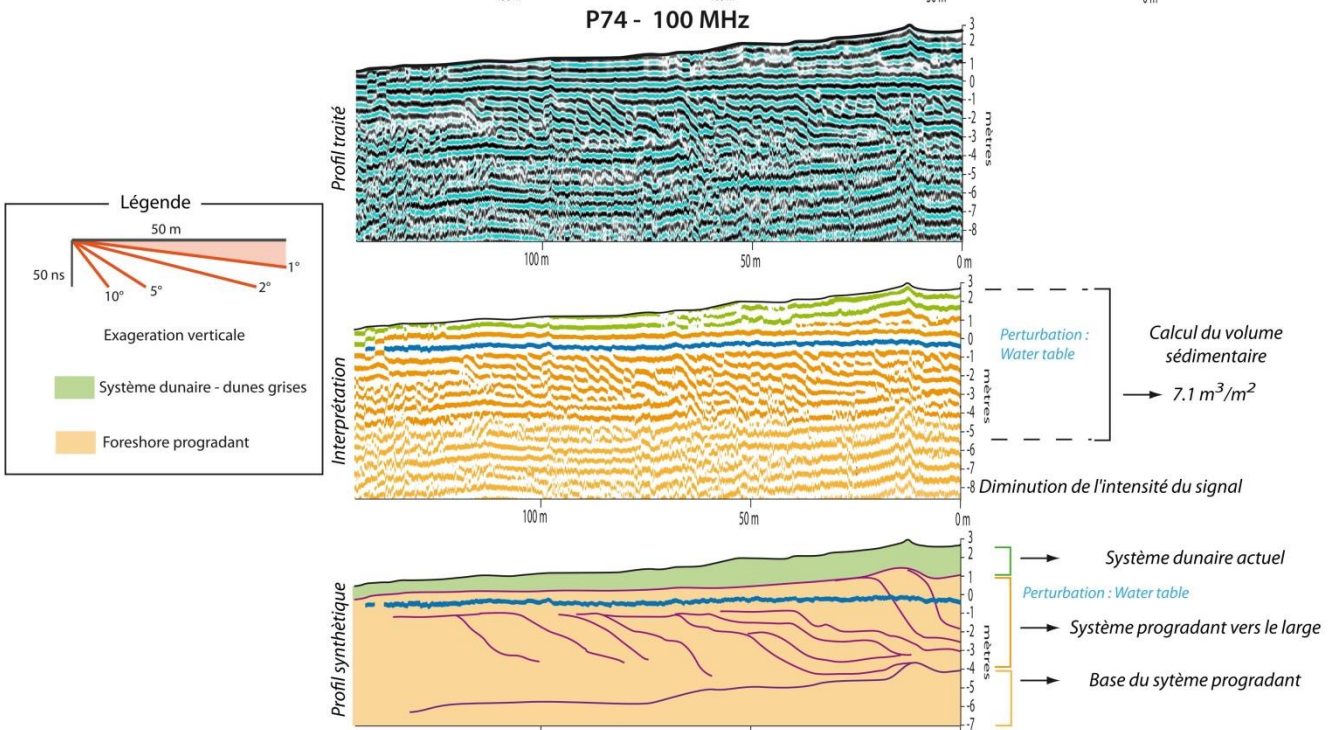
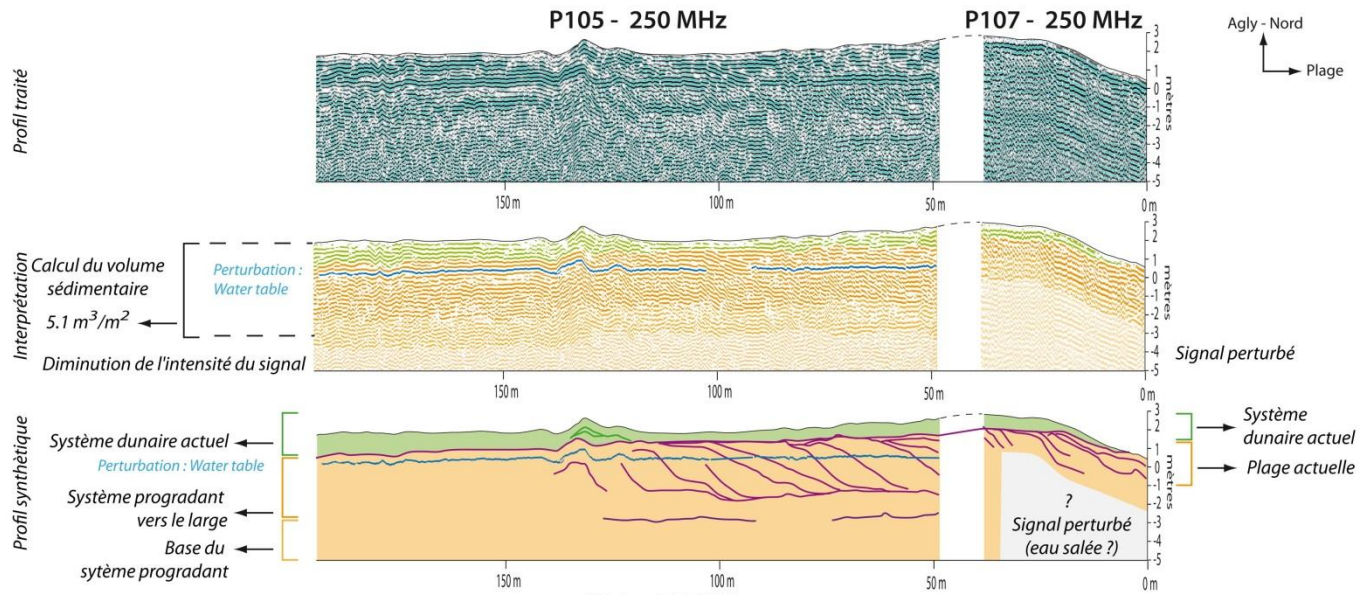


Figure 10 : Localisation (Litto 3D 2011) et représentation des profils GPR illustrant le secteur Est. Chaque profil est représenté sous trois formes 1) traité, 2) interprété et 3) synthétique.

A) P60 et 69 antenne 100 MHz ▲

B) P 74 antenne 100 MHz et P 103, P 105-107 antenne 250 MHz ➤



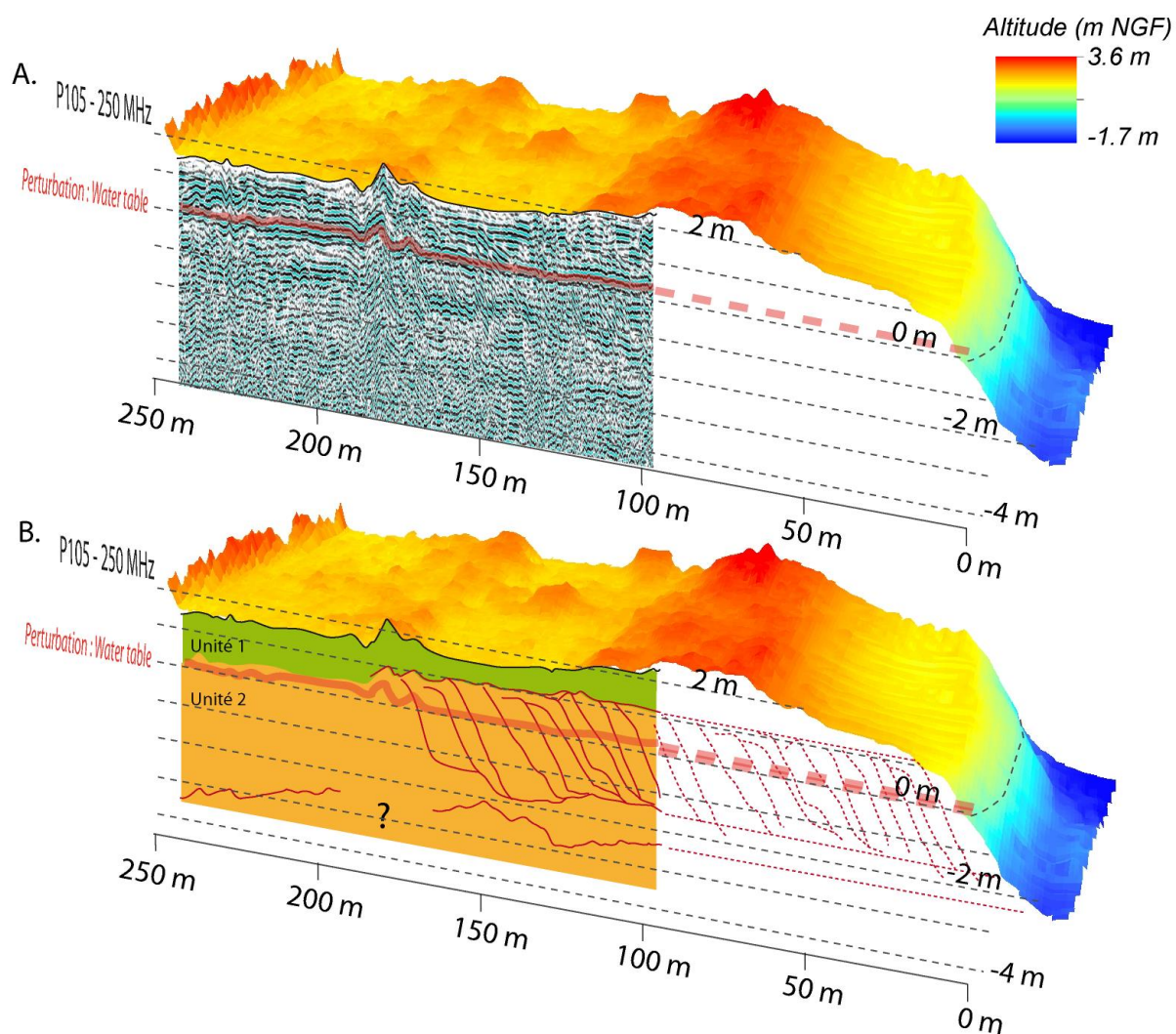


Figure 11 : Illustration du profil géo-radar P105 (250 MHz, A. géo-radar traité, B. géo-radar interprété). Les réflecteurs de la plage fossile sont projetés avec similitude sous la plage actuelle (source LIDAR : LITTO 3D 2011).

4.3. Estimation du stock sédimentaire terrestre

Cette étude permet d'identifier et de cartographier les unités sédimentaires constitutives du prisme littoral. Elle conduit à quantifier le volume des dépôts duaires et de la plage fossile, et plus particulièrement sur le secteur est.

Les profils géo-radar permettent d'estimer ce volume jusqu'à -3.5 m NGF avec l'antenne 250 MHz et -6.5 m NGF avec l'antenne 100 MHz (soit 5 m et 9 m de profondeur). Pour cette dernière, il est de l'ordre de 7 à 8.5 m³/m² et relativement homogène du nord au sud (Fig. 10). La base de cette unité sableuse est estimée à environ -11 m NGF par la sismique terrestre du BRGM ou le forage historique (Robin et al., 2018; Annexe 1). Ces volumes sont donc à considérer comme un minimum de sédiment disponible. La confrontation de cette quantification avec les évolutions topographiques constatées et la dynamique du trait de côte, permettra d'estimer la résilience de ce stock. Outre l'intérêt de ces connaissances dans le cadre d'un plan de gestion

des sédiments, elles informent également les gestionnaires sur la nature du sous-sol en cas de futurs aménagements.

4.4. Autres types d'informations

L'objectif principal de cette étude est de mener une expertise sur l'utilisation de l'outil géo-radar à des fins d'estimation du stock sédimentaire. Néanmoins, il est intéressant de noter, que cet outil apporte également des informations supplémentaires pouvant être d'une aide pour les gestionnaires. Trois thématiques peuvent être abordées : a) l'archive sédimentaire et l'évolution historique du littoral ; b) la recherche d'objets enterrés (type obus, canalisation) ; c) la gestion de l'eau.

a) L'archive sédimentaire et l'évolution historique du littoral

L'utilisation du géo-radar pour révéler des informations sur les périodes de construction-destruction passées d'un système côtier est largement reconnue depuis plusieurs dizaines d'années dans la bibliographie (e.g., [Goy et al., 2003](#); [Jahnert et al., 2012](#); [Oliver et al., 2017](#)). L'analyse des données sur Torrelles montre un schéma homogène avec des réflecteurs progradants vers l'est sans phases notables d'érosion à cette échelle ([Fig. 10](#)). Néanmoins nous pouvons identifier une zone particulière dans le prolongement du « Gorg de l'Aiguader » ([Fig. 12](#)). Ce Gorg est répertorié sur les cartes historiques (par exemple carte de 1778) comme une extension de l'Agly vers la mer ([Carozza et al., 2013](#)). L'enregistrement des profils autour du Gorg permet de cartographier les bordures de son extension ([Fig. 12](#), profil 56, 75, 79 et 80).

De plus, à proximité de la plage actuelle, une dépression est également visible (profil 104) et estimée à environ 1.5 m NGF, ce qui la dissocierait de la période de fonctionnement du Gorg. Cette incision peut être interprétée comme une ancienne marque de communication avec la mer pendant des phases énergétiques (par exemple, submersion, brèche dans la dune...) et qui serait maintenant colmatée. Néanmoins la précision de l'antenne 100 MHz ne permet pas d'identifier finement une chronologie de ce type d'évènements mais dans ce cas, simplement de pointer des évènements majeurs. Ce phénomène lié à des fortes conditions énergétiques lors de tempêtes et/ou surcotes n'est pas localisé uniquement dans le prolongement du Gorg, mais également visible plus au nord (exemple tracé jaune sur le profil 104 [Fig. 12](#)). Ces informations sont utiles pour les gestionnaires, en complément des données altimétriques actuelles (type Lidar), pour identifier les zones potentiellement les plus sensibles et mobiles.

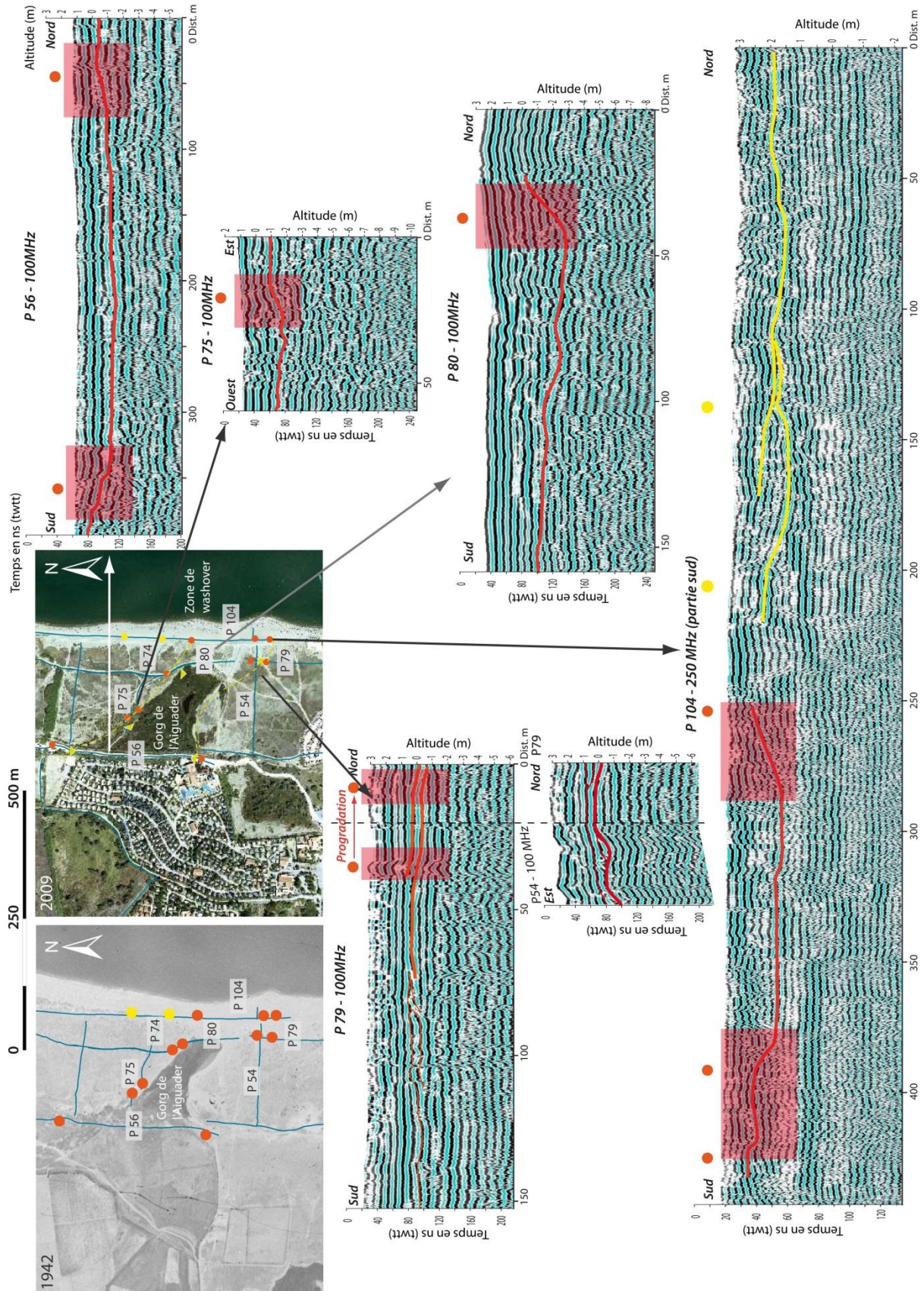


Figure 12 : Zoom sur le Gorg de l'Aiguader à Torrelles et cartographie des bordures de son extension passée (rond et pointé orange).

b) La recherche d'objets enterrés (type obus, canalisation)

Le second point porte sur le potentiel de l'outil à détecter des objets enfouis. C'est le cas sur plusieurs profils où les réflecteurs montrent une perturbation localisée de leur motif (en forme de cône ; Fig. 10). Ce type de perturbation est reconnue dans la bibliographie comme étant liée à la présence d'une masse métallique présente en profondeur (Neal, 2004). Connaissant l'histoire du département et du site d'étude, notre interprétation porte naturellement vers des objets de type « obus » bien que nous n'en ayons pas la preuve matérielle. Ces informations apparaissent donc intéressantes pour répondre à des problématiques de sécurité civile. Néanmoins, il est illusoire de pouvoir aboutir à une cartographie de ce type d'objet sur une zone aussi grande que le site d'étude, du fait que l'outil image des profils 2D d'une largeur seulement de quelques dizaines de centimètres. Cette approche doit donc plus être perçue comme une démarche opportuniste.

c) La gestion de l'eau

Le dernier point concerne la position du toit de la nappe d'eau douce. Sa présence pouvant perturber le signal et se matérialise par la présence d'un réflecteur très marqué, subhorizontal et épais, tout le long du profil et qui délimite la zone non saturée en eau (au-dessus) de celle saturée en eau (en dessous). Ce réflecteur n'a aucune réalité géomorphologique mais perturbe, masque le signal architectural. Cette interface liée à la nappe d'eau douce est facilement visible et il est donc possible de la cartographier (hauteur de la nappe au moment de la campagne de mesure). Par exemple, sur le profil 60 (Fig. 10), nous pouvons l'estimer à environ 0 m NGF soit environ 2 m sous la surface. Sur le profil 69 (Fig. 10), cette limite se situe proche de 1 m NGF soit environ 1.5 m sous la surface...

De plus, les ondes radar étant extrêmement sensibles à la présence de sel dans le sol (entraînant une perte du signal), il est également possible d'extraire des informations sur la présence ou non d'intrusions salines (Billy et al., 2014). Sur le site d'étude, l'interprétation des données ne laisse pas supposer ce type d'intrusion, ou tout du moins pas dans les premiers mètres, sauf sur les profils effectués sur la plage (P 107 ; Fig. 10). Toutefois, la perturbation du signal en profondeur, rendant l'imagerie beaucoup plus ténue et brouillée, peut-être due à la présence de cette intrusion saline (Fig. 9).

Bien que ces informations (position de la nappe et la présence ou non d'intrusion salée) varient dans le temps en fonction des conditions météo-marines, et ne sont donc représentatives que d'un instant « t », elles s'avèrent utiles pour les gestionnaires pour répondre à des problématiques portant sur la gestion de l'eau.

5. CONCLUSIONS

L'objectif principal de l'étude était d'apporter une expertise sur la faisabilité via l'outil géo-radar à estimer les stocks sédimentaires à terre, en prenant comme site d'étude la commune de Torreilles. Les résultats montrent que **le signal pénètre jusqu'à 9 m de profondeur (équivalent à environ -6.5 m NGF)** et que cette épaisseur sédimentaire est constituée de **sables moyens à grossiers avec des passages de galets**. Le couplage carottes sédimentaires et géo-radar permet de caractériser le site de Torreilles beaucoup plus finement que ce qui était connu précédemment avec le seul forage de 1973 (qui ne permettait pas de caractériser ces passages graveleux). De plus, la vaste campagne de prospection géo-radar permet d'avoir une vue sur l'ensemble de la zone d'étude. Ainsi le site peut être caractérisée par une unité superficielle de sable fin à moyen, caractérisée comme dunaire, qui recouvre des dépôts progradants vers le large de sables moyens à galets (d'au moins 4 m d'épaisseur) marquant les positions successives du paléo rivage. Malgré l'atténuation progressive du signal ou sa perturbation, l'imagerie permet également de visualiser le sommet des dépôts d'avant-plage. **Le volume de sédiments**, comprenant l'ensemble de ces unités, **est relativement homogène du sud au nord et est estimé entre 7 et 8.5 m³/m²**. Il faut préciser que ce volume est à minima puisque la base de l'unité sableuse, donc la base de l'avant plage, (estimé à environ -11 m NGF par le forage 1973 et imagé sur les profils sismique terrestre (BRGM)) est trop profonde pour être détectée par l'appareil. Néanmoins, les auteurs pensent que cette épaisseur est suffisamment riche d'informations et suffisante vis-à-vis des problématiques concernées pour que ce test soit qualifié de positif.

En parallèle de l'estimation des stocks sédimentaires, l'étude montre que l'outil géo-radar est également adapté pour extraire d'autres types d'informations. Il est montré avec l'exemple du « Gorg de l'Aiguader », l'intérêt de pouvoir imager l'archive sédimentaire afin de **reconstituer l'histoire du littoral** et d'identifier potentiellement les zones de faiblesse passées (ex : zones de brèches dunaires). L'interprétation de la donnée géophysique permet également de pouvoir localiser de façon opportuniste **des objets enfouis** (par exemple de **type « obus »**) ou d'accéder à des informations portant sur **la gestion de l'eau (détection du toit de la nappe, intrusion saline)**.

L'utilisation du géo-radar s'avère complémentaire avec la méthode de sismique terrestre employée par le BRGM dans le cadre d'OBSCAT pour estimer l'épaisseur sédimentaire. En collaboration avec les agents du BRGM, un article présentant les avantages et les biais de chaque méthode sera présenté à la conférence « Génie civil et génie côtier » de La Rochelle en Mai 2018 et fait l'objet d'une publication comme acte de colloque ([Tableau.1](#) ; [Robin et al. \(2018\)](#)).

Tableau 1. Avantages et biais de l'utilisation du géo-radar et de la sismique MASW

	Facilité de déploiement	Vitesse d'acquisition	Pénétration du signal	Détail de l'archive sédimentaire	Temps du post-traitement
Géo-radar	++++	++++	++(+)	++++	++++
Sismique (MASW)	+++	++	++++	+	++++

Les résultats de l'étude ESTER montre que **le géo-radar est un outil adapté pour l'estimation des stocks sédimentaires à terre dans le Roussillon**. Plusieurs perspectives seraient intéressantes à envisager, et pourraient être découpées en deux phases :

a) Une première phase constituerait à étendre l'investigation à l'ensemble du territoire couvert par OBSCAT ou les zones de suivi. Un second test positif a déjà été réalisé sur la commune de Canet (au sud de la barrière entre Canet et Saint-Cyprien ; Fig. 13) et conforte la fiabilité de la démarche.

b) Une seconde phase aurait pour objectif d'estimer le stock sédimentaire total en couplant les résultats de la première phase avec ceux du projet LITTOSIS portant sur les stocks en mer (Raynal et al., 2015). Ces deux perspectives permettraient **d'aboutir à une vision globale de la ressource sédimentaire disponible sur le territoire de l'OBSCAT** pour alimenter le système. Ces résultats permettront également de mettre en relief les évolutions topo-bathymétriques constatées à l'échelle pluri-décennales (Brunel et al., 2014) ou à l'échelle des suivis OBSCAT en terme de résilience du système.

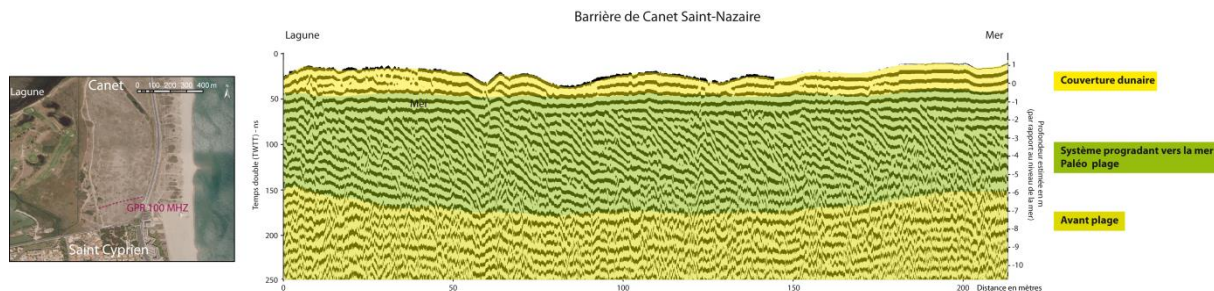


Figure 13 : Profil GPR (100 MHz) au sud de la barrière de Canet - Saint-Nazaire, illustrant un système de paléo-plage progradant vers l'est.

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aleman, N., Robin, N., Certain, R., Anthony, E.J., Barusseau, J.P., 2015. Longshore variability of beach states and bar types in a microtidal, storm-influenced, low-energy environment. *Geomorphology*, 241, 175-191.
- Billy, J., Robin, N., Hein, C.J., Certain, R., FitzGerald, D.M., 2014. Internal architecture of mixed sand-and-gravel beach ridges: Miquelon-Langlade Barrier, NW Atlantic. *Marine Geology*, 357, 53-71.

- Bristow, C.S., Jol, H.M.**, 2003. Ground Penetrating Radar in sediments. In: C.S. Bristow, H.M. Jol (Eds.), Geological Society Special Publications n 211, pp. 339.
- Brunel, C., Certain, R., Sabatier, F., Robin, N., Barusseau, J.P., Aleman, N., Raynal, O.**, 2014. 20th century sediment budget trends on the Western Gulf of Lions shoreface (France): An application of an integrated method for the study of sediment coastal reservoirs. *Geomorphology*, 204(0), 625-637.
- Carozza, J.M., Puig, C., Odier, T., Passarrius, O., Valette, P.**, 2013. L'édification de la Basse plaine de la Salanque (Roussillon, France) au cours de la seconde partie de l'Holocène et ses implications sur la répartition des sites archéologiques. *Quaternaire*, 24(2), 129-139.
- EUROSION**, 2004. Vivre avec l'érosion côtière en Europe: espaces et sédiments pour un développement durable. Bilans et recommandations du projet EUROSION. Direction Générale de l'Environnement, Commission Européenne. <http://www.euroSION.org/reportsonline/reports.html>.
- Goy, J.L., Zazo, C., Dabrio, C.J.**, 2003. A beach-ridge progradation complex reflecting periodical sea-level and climate variability during the Holocene (Gulf of Almería, Western Mediterranean). *Geomorphology*, 50(1-3), 251-268.
- Jahnert, R., de Paula, O., Collins, L., Strobach, E., Pevzner, R.**, 2012. Evolution of a coquina barrier in Shark Bay, Australia by GPR imaging: Architecture of a Holocene reservoir analog. *Sedimentary Geology*, 281, 59-74.
- Neal, A.**, 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, 66(3-4), 261-330.
- Neal, A., Roberts, C.L.**, 2000. Applications of ground-penetrating radar (GPR) to sedimentological, geomorphological and geo-archaeological studies in coastal environments. In: Pye, K., Allen, J.R.L. (Eds.), *Coastal and Estuarine Environments: Sedimentology, Geomorphology and Geoarchaeology*. Geol. Soc. London Spec., Publ. 175, 139- 171.
- Oliver, T.S.N., Tamura, T., Hudson, J.P., Woodroffe, C.D.**, 2017. Integrating millennial and interdecadal shoreline changes: Morpho-sedimentary investigation of two prograded barriers in southeastern Australia. *Geomorphology*, 288, 129-147.
- Raynal, O., Certain, R., Brunel, C., Aleman, N., Robin, N., Guérinel, B., Montel, L.**, 2015. LITTOSIS - Analyse volumétrique et granulométrique du prisme sableux littoral du Languedoc-Roussillon. Rapport final LITTOSIS. pp. 46.
- Robin, N., Billy, J., Palvadeau, E., Meulé, S., Balouin, Y., Bitri, A., Portal, A., Stepanian, A., Certain, R., Hebert, B., Raynal, O., Rojas-Marquez, A., Sotin, C., Marguerite, S., Aleman, N., Barusseau, J.P.**, 2018. Apport de la géophysique terrestre (géo-radar, sismique) pour l'aide à la gestion du trait de côte. Génie Côtier Génie Civil (GCGC), 15ème Journée Nationales - 29-31 Mai 2018, La Rochelle ; pp.8.
- Rodriguez, A.B., Meyer, C.T.**, 2006. Sea-Level Variation During the Holocene Deduced from the Morphologic and Stratigraphic Evolution of Morgan Peninsula, Alabama, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, 76(2), 257-269.

ANNEXE

ANNEXE 1 : APPORT DE LA GÉOPHYSIQUE TERRESTRE (GÉO-RADAR, SISMIQUE) POUR L'AIDE À LA GESTION DU TRAIT DE CÔTE (2018)

N.Robin, J.Billy, E.Palvadeau, S.Meulé, Y.Balouin, A.Bitri, A.Portal, A.Stepanian, R.Certain, B.Hebert, O.Raynal, A.Rojas-Marquez, C.Sotin, S.Marguerite, N.Aleman et J.P.Barusseau, 15^{ème} Journée Nationales Génie Côtier - Génie Civil (GCGC), 29-31 Mai 2018, La Rochelle, pp.8 .

ANNEXE 2 : VULGARISATION DES TRAVAUX DANS LA PRESSE ÉCRITE ET MÉDIA TÉLÉVISUEL

A- ARTICLE « L'INDÉPENDANT » (13/04/2017)

B- REPORTAGE « TV SUD » (20/10/2016)

Annexe 1

APPORT DE LA GÉOPHYSIQUE TERRESTRE (GÉO-RADAR, SISMIQUE) POUR L'AIDE À LA GESTION DU TRAIT DE CÔTE (2018)

N.Robin, J.Billy, E.Palvadeau, S.Meulé, Y.Balouin, A.Bitri, A.Portal, A.Stepanian, R.Certain, B.Hebert, O.Raynal, A.Rojas-Marquez, C.Sotin, S.Marguerite, N.Aleman et J.P.Barusseau, 15^{ème} Journée Nationales Génie Côtier - Génie Civil (GCGC), 29-31 Mai 2018, La Rochelle, pp.8.

Apport de la géophysique terrestre (géo-radar, sismique) pour l'aide à la gestion du trait de côte

Nicolas ROBIN ¹, Julie BILLY ¹, Éric PALVADEAU ², Samuel MEULE ³,
Yann BALOUIN ², Adnand BITRI ⁴, Angélie PORTAL ⁴, Alexis STEPANIAN ⁵,
Raphael CERTAIN ¹, Bertil HEBERT ¹, Olivier RAYNAL ¹,
Alicia ROJAS-MARQUEZ ¹, Christine SOTIN ¹, Sébastien MARGUERITE ³,
Nicolas ALEMAN ¹, Jean-Paul BARUSSEAU ¹

1. CEFREM-UMR 5110, Université de Perpignan Via Domitia, 52 Avenue Paul Alduy, 66000 Perpignan, France.
nicolas.robin@univ-perp.fr
2. BRGM, Université de Montpellier, 1039 rue de Pinville, 34000 Montpellier, France.
3. Marseille Université, CNRS, IRD, Collège de France, CEREGE, Aix-en-Provence, France.
4. BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2, France.
5. BRGM, 117 avenue de Luminy, BP 168, 13276 Marseille Cedex 9, France.

Résumé :

Le système dunaire de Torreilles (Pyrénées Orientales) a été choisi comme site test pour réaliser une campagne de géophysique terrestre combinant géo-radar et sismique ondes de surface. L'objectif est d'apporter une expertise de l'utilisation de ce type de technologie afin de i) comprendre la construction et l'évolution du système et, ii) estimer le stock sédimentaire terrestre en place. Ces résultats démontrent l'avantage qu'il y a de coupler les deux méthodes pour identifier et cartographier les unités sédimentaires constitutives du prisme littoral. Les données géo-radar permettent d'obtenir une image détaillée de l'architecture interne des dépôts jusqu'à 9m de profondeur (pendage des dépôts et sens de progradation, informations sur les

phases de construction/destruction, toit de la nappe...). La donnée sismique présente l'avantage de pouvoir cartographier l'ensemble des unités jusqu'à 30 m de profondeur, toutefois sans détail architectural. Le volume des dépôts dunaires et de la plage fossile imagée atteint $8.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$. La combinaison des résultats de la sismique et du forage permet de pouvoir identifier la limite sable/argile (13 m de profondeur) et d'estimer le volume de l'ensemble de l'unité sableuse entre 13 et $17 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Ces données sont susceptibles d'apporter des éléments de réflexion sur l'évolution du système à des fins de gestion du trait de côte.

Mots-clés :

Géo-radar (GPR), Sismique, Ondes de surface, Stratigraphie dunaire, Stock sédimentaire.

1. Introduction

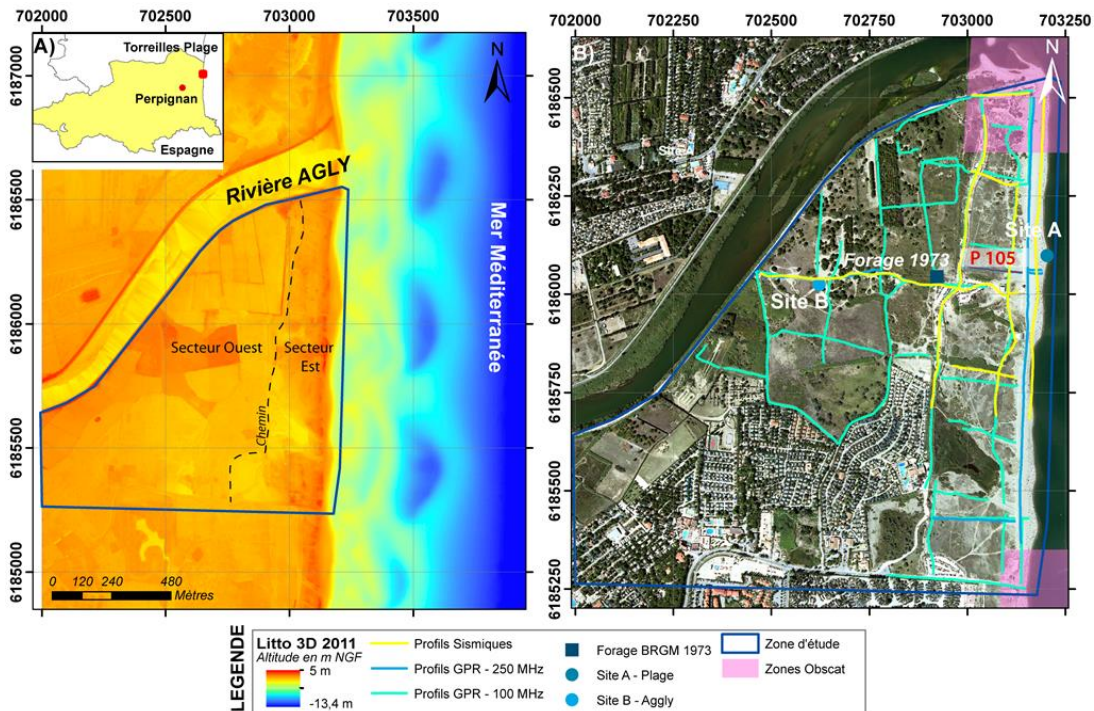
L'intérêt de la géophysique marine pour la gestion du trait de côte est croissant ces dernières années, puisqu'elle permet de confronter les évolutions bathymétriques constatées, avec le volume du stock sédimentaire marin susceptible d'alimenter la plage (BRUNEL *et al.*, 2014). Cette démarche innovante inspire ici l'étude de la partie terrestre du système littoral à l'aide de deux outils géophysiques : le géo-radar et la sismique en ondes de surface (MASW).

La géophysique terrestre est une méthode non-invasive qui présente l'avantage de pouvoir imager rapidement et de façon continue les structures sédimentaires d'une zone d'étude. Son développement par le biais de différents outils (géo-radar, sismique réfraction, sismique en ondes de surface, résistivité...) depuis une ou deux décennies a ainsi permis une amélioration significative de la compréhension spatiale des caractéristiques stratigraphiques d'un système en comparaison des outils traditionnellement utilisés auparavant à ces fins (carottages, tranchés...). L'utilisation de la sismique en ondes de surface est rare en domaine littoral à l'inverse de celle du géo-radar qui est maintenant devenue usuelle puisqu'elle permet d'apporter des informations précises sur les phases de construction ou de destruction d'un système (BILLY *et al.*, 2014). Ces deux outils peuvent également permettre de quantifier les stocks sédimentaires à terre. Ces informations sont donc à même d'aider les gestionnaires dans leur prise de décision face à la mobilité actuelle et future du trait de côte. C'est dans ce contexte que l'Observatoire de la Côte Sableuse Catalane (OBSCAT, <http://obs-cat.fr/>) a lancé le projet ESTER à l'origine de cette étude.

Les travaux qui comparent et discutent de l'utilisation conjointe de ce type de méthode géophysique sur une même zone d'étude restent rares et cantonnés au domaine purement continental (SCHWAMBORN *et al.*, 2002 ; SASS, 2006). L'objectif de cette étude est d'apporter une expertise sur l'utilisation de la géophysique terrestre (géo-radar et sismique en ondes de surface) en milieu littoral afin de mettre en avant la complémentarité de ces deux outils en comparant leurs avantages et leurs limites pour : i) comprendre la construction et l'évolution du système et, ii) estimer le stock sédimentaire terrestre en place.

2. Site d'étude

Le site de Torreilles (Pyrénées Orientales) présente un large système dunaire progradant vers l'est qui s'est développé depuis la fin Holocène. Il est bordé à l'ouest



et au nord respectivement par le bras et l'embouchure de l'Agly, alors que sa partie maritime à l'est correspond à une plage de type intermédiaire, dominée par la houle, avec un système de doubles barres festonnées (figure 1A). Les granulométries du sable de plage montrent un mode dominant à 0.63 mm (ALEMAN *et al.*, 2015). La partie médiane du système présente une altitude d'environ 1.5 m NGF et une végétation typique d'une dune grise. En se rapprochant de la façade maritime, l'altitude augmente significativement pour atteindre localement 4 m NGF avec une végétation de dune jaune ou très clairsemée.

Figure 1. Localisation de la zone d'étude et plan de position des profils géo-radar et de sismique en ondes de surface (source LIDAR : LITTO 3D 2011).

3. Méthodologie

Afin d'atteindre les objectifs de cette étude, des mesures géophysiques à l'aide d'un géo-radar et de sismique en ondes de surface ont été réalisées. Des données sédimentaires (carottages, tarières et un forage) et topographiques (LIDAR et DGPS-RTK) complètent le jeu de données (figure 1B).

3.1 Géo-radar

Le géo-radar (GPR) est une méthode géophysique qui permet d'imager les structures internes d'un objet sédimentaire sur plusieurs mètres de profondeur (NEAL, 2004 ; BILLY *et al.*, 2014). Son fonctionnement repose sur l'émission, la propagation et la réflexion d'ondes électromagnétiques hautes fréquences (centaines de MHz) dans le sol. À la réception du signal, les discontinuités électriques enregistrées par

l'appareil symbolisent les différentes interfaces et les hétérogénéités sédimentaires présentes dans le sol. L'image générée permet ainsi de visualiser les dépôts, les pendages et les organisations sédimentaires. La pénétration du signal est fonction de la fréquence d'émission des antennes du système : plus la fréquence est élevée plus la pénétration du signal sera grande mais le signal perdra en résolution verticale, et inversement. Pour ce projet, 11.2 km de profils GPR (antennes MALA de fréquence 100 et 250 MHz ; figure 1B) transversaux et parallèles au trait de côte ont été enregistrés. Un DGPS-RTK a été couplé au géo-radar afin de localiser les profils et d'enregistrer la topographie associée.

3.2 Sismique en ondes de surface (MASW)

La sismique active consiste à induire une vibration en surface et d'enregistrer le déplacement de l'onde créée, de la source vers une série de récepteurs. La vitesse des ondes sismiques de cisaillement (V_s) constitue un excellent indicateur du comportement élastique des sols. Sa variation en fonction de la profondeur est ici estimée par l'analyse et l'inversion de la dispersion des ondes de surface (MASW, Multichannel Analysis of Surface Wave). Cette technique de sismique légère innovante (ligne de 24 géophones espacés de 2 m tractable par un quad) et non-destructive évite la mise en œuvre de méthodes classiques plus lourdes (essais cross-hole entre forages). Pour ce projet, 3.3 km de profils sismiques transversaux et parallèles au trait de côte ont été réalisés (figure 1B).

3.3 Données sédimentaires

Des données sédimentaires nouvelles (Site A : une carotte d'un mètre ; Site B : une carotte de 3.3 m et une tarière de 2 m, figure 1B) et anciennes (un forage archive de 1973 (<http://infoterre.brgm.fr/>) de 20 m, figure 1B) ont permis de corréler le signal géophysique à la réalité sédimentologique. Une série de 49 échantillons a été prélevée sur les nouvelles données sédimentaires. Le traitement du matériel sédimentaire a été réalisé via une colonne à tamis (10 à 0.05 mm) afin d'obtenir les caractéristiques granulométriques classiques des échantillons (Mode, D_{50} , classement...).

4. Résultats et interprétation

4.1 Granulométrie

Les échantillons de la carotte du site A ont permis de mettre en avant le type de sédiments présent sur la plage actuelle. On constate ainsi qu'il est assez hétérogène, présentant un sable grossier avec des pics modaux de 0.63 à 1 mm et de nombreux galets et graviers. Les échantillons de la carotte et tarière du site B ont permis de révéler trois éléments : a) la présence d'un sol entre 0 à 0.60 m de profondeur (soit de +1.40 à 0.80 m NGF), b) la présence de sable entre 0.60 m à 1.80 m de profondeur (soit 0.80 à -0.40 m NGF) avec des modes dominants compris entre 0.25 et 0.63 mm (majoritairement entre 0.315 et 0.5 mm), c) la présence d'un sable entre 1.80 à 3.30 m de profondeur (soit de -0.40 à -1.90 m NGF) avec une répartition modale homogène des dépôts à 0.63 mm. Seul un mince horizon entre -0.90 et -1.10 m NGF montre un mode à 0.5 mm. Concernant l'archive du forage de 1973, elle indique

la présence d'un petit sol sablo-argileux sur 1 m qui recouvre une épaisse couche de sable et de graviers jusqu'à 12.80 m de profondeur (soit -11 m NGF). La base de cette unité sables/graviers (le dernier mètre) est caractérisée par un sable argileux à graviers. Au-delà de 12.80 m et jusqu'à la base du forage (20 m de profondeur), les dépôts sont argileux avec quelques passages graveleux.

4.2 Le Géo-radar

Les données géo-radar peuvent être découpées en deux zones par rapport au chemin nord-sud qui traverse la zone (figure 1) : 1) entre celui-ci et la rivière Agly (zone ouest), les données architecturales sont très chaotiques, difficilement interprétables et ne pénètrent pas à plus de 8 ou 9 m de profondeur ; 2) entre le chemin et la plage (zone est), deux unités sont visibles sur l'ensemble des profils.

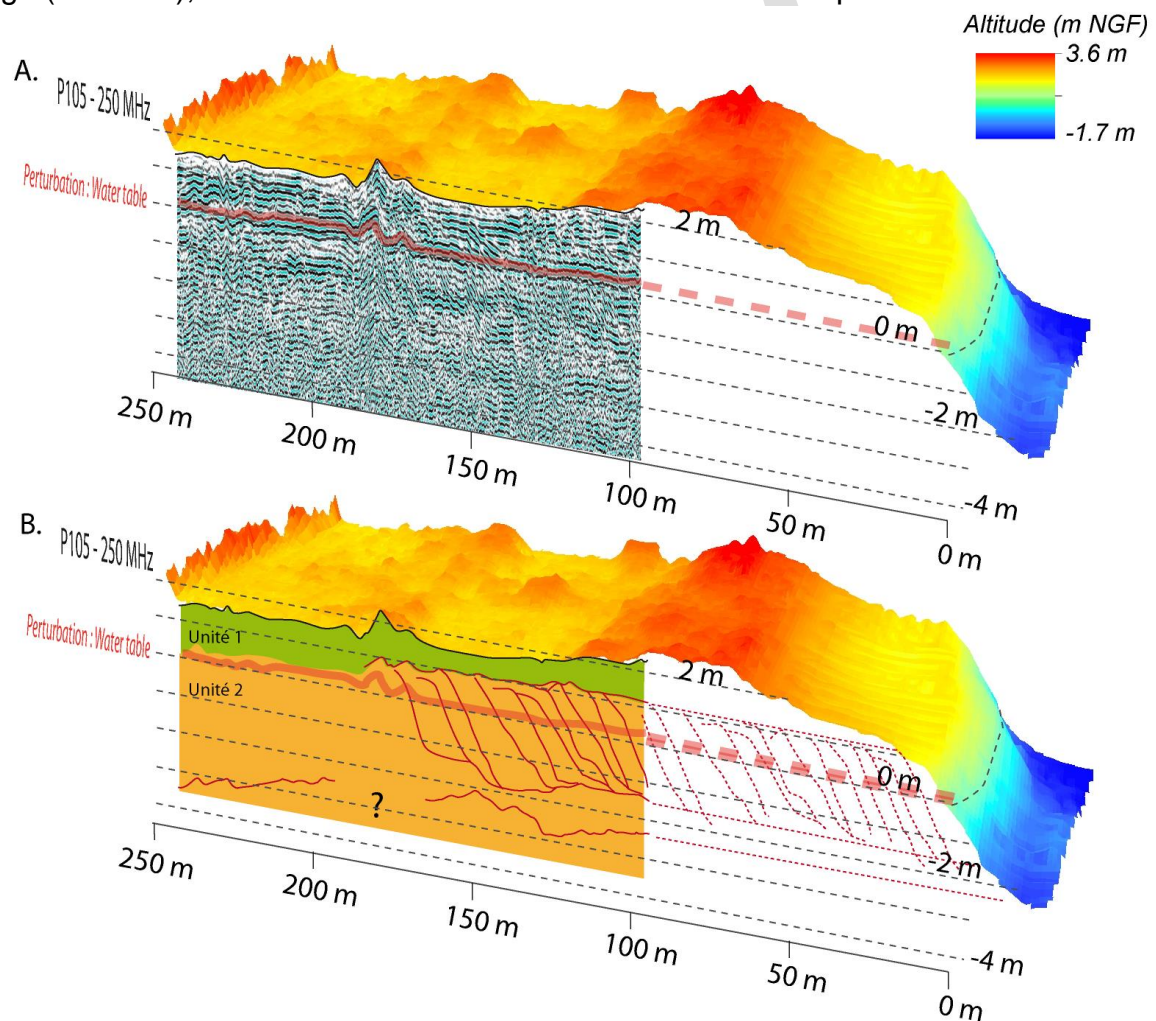


Figure 2. Illustration d'un profil géo-radar à l'aide de l'antenne 250 MHz (A. géo-radar traité, B. géo-radar interprété). Les réflecteurs de la plage fossile sont projetés avec similitude sous la plage actuelle (source LIDAR : LITTO 3D 2011).

Unité 1 : Présente entre un et deux mètres sous la surface, elle est interprétée comme une couverture dunaire.

Unité 2 : Présente sous l'unité 1 et jusqu'à la limite de pénétration de l'instrument (5 m et 9 m de profondeur respectivement pour l'antenne 250 et 100 MHz), elle

montre des réflecteurs progradants vers l'Est sur 200 m dont le pendage est de l'ordre de 7-8°. La progradation semble continue, sans phases notable d'érosion à cette échelle visuelle. Du fait d'un pendage et d'une granulométrie (mode de 0.63 mm) identiques à la partie basse de la plage actuelle, l'unité 2 est interprétée comme la plage fossile (figure 2).

4.3 La sismique MASW

L'ensemble des profils sismiques enregistrés entre le chemin et la plage (zone est) permet de montrer une homogénéité des dépôts du sud vers le nord. En effet, on constate que la limite à 300 m/s (en turquoise, figure 3) évolue autour de 15 m de profondeur (entre 12 et 18 m), et celle à 400 m/s autour des 20 m de profondeur. Le forage historique de 1973, localisé sur le profil sismique 5, est la clé pour la comparaison des données géophysiques et sédimentaires. Ainsi, la limite à 300 m/s correspondrait à la limite entre des dépôts de sable et graviers (au-dessus) et des argiles (en dessous). Les informations sédimentaires du forage se terminent à la profondeur 20 m (correspondant à notre limite 400 m/s) mais il n'est pas possible de lier cette limite avec une différence lithologique. Sur la zone ouest (profil 5), la profondeur de la limite 300 m/s reste relativement homogène. Elle devient beaucoup moins épaisse (environ 5 m) à l'extrémité ouest, endroit où la limite 700-800 m/s présente un dôme prononcé. L'absence d'autres profils sismiques sur cette zone ne permet pas de conclure sur un caractère général ou local de cette observation.

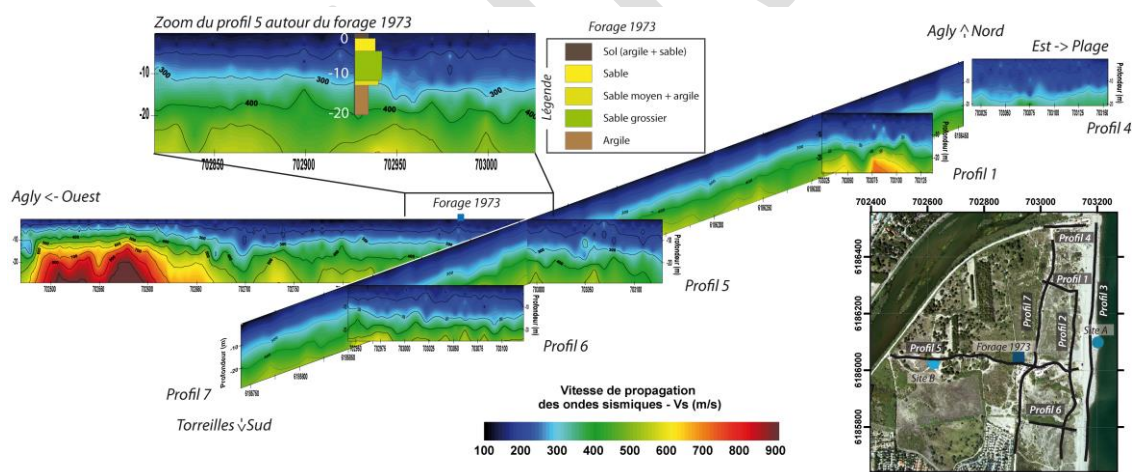


Figure 3. Illustration des profils sismiques MASW. La description lithologique du forage « archive » est indiquée sur le zoom du profil 5 (modifiée d'après CHRISTMANN et al., 2017).

5. Discussion

L'étude géophysique du système dunaire de Torreilles démontre l'avantage qu'il y a de coupler l'utilisation du géo-radar et de la sismique en ondes de surface (MASW), afin d'obtenir une image complète et précise des différentes unités sédimentaires du site. En effet, cette approche permet de masquer les biais inhérents à chaque méthode (Tab.1).

5.1 Informations issues de l'archive sédimentaire

Les données géo-radar permettent d'obtenir une image détaillée de l'architecture interne sur les premiers mètres de dépôt (ici jusqu'à 8-9 m de profondeur). Le signal peut être perturbé par la présence d'intrusions salines (NEAL, 2004 ; BILLY *et al.*, 2014) mais l'impact de ce facteur semble mineur sur ce site. Ces quelques mètres sont riches d'informations puisqu'ils permettent de connaître les modalités de mise en place du système, de pointer l'absence de phases érosives majeures, et accessoirement de pointer la position du toit de la nappe. La donnée sismique présente quant à elle l'avantage de pouvoir cartographier l'ensemble des unités jusqu'à environ 30 m de profondeur, toutefois sans détail architectural de ces unités.

Tableau 1. Avantages et biais de l'utilisation du géo-radar et de la sismique MASW

	Facilité de dé- ploiement	Vitesse d'acquisi- tion	Pénétra- tion du signal	Détail de l'archive sédimen- taire	Temps du post- traitement
Géo-radar	++++	++++	++(+)	++++	++++
Sismique (MASW)	+++	++	++++	+	++++

5.2 Quantifications des stocks sédimentaires

Cette étude permet d'identifier et de cartographier les unités sédimentaires constitutives du prisme littoral. Elle conduit à quantifier le volume des dépôts dunaires et de la plage fossile, et plus particulièrement sur le secteur est. Les profils géo-radar permettent d'estimer ce volume jusqu'à -3.5 m NGF avec l'antenne 250 MHz et -6.5 m NGF avec l'antenne 100 MHz. Pour cette dernière, il est de l'ordre de 7 à 8.5 m³/m² et relativement homogène du nord au sud. La combinaison des résultats sismiques et du forage permet d'identifier la limite sable/argile à 300 m/s correspondant à une profondeur de -11 m NGF au point de forage archive. Ainsi le volume de l'unité sableuse dans son ensemble est compris entre 13 et 17 m³/m². Le site de Torreilles (secteur est) présente donc une couverture sableuse relativement homogène spatialement (figure 3). La confrontation de cette quantification avec les évolutions topographiques constatées et la dynamique du trait de côte, permettra d'estimer la résilience de ce stock. Outre l'intérêt de ces connaissances dans le cadre d'un plan de gestion des sédiments, elles informent également les gestionnaires sur la nature du sous-sol en cas de futurs aménagements.

6. Conclusions

L'étude géophysique du système dunaire de Torreilles est considérée comme une étape test pour la caractérisation et la cartographie des stocks sédimentaires à terre. De plus, l'information historique provenant d'archives sédimentaires est un élément clé à prendre en considération pour la compréhension de l'évolution actuelle du littoral et de ces projections futures. Face aux résultats positifs et l'apport que représente ce type d'approche pour les gestionnaires, son extension à l'ensemble du territoire

de l'Observatoire de la Côte Sableuse Catalane (OBSCAT, <http://obscat.fr/>) ou à d'autres environnements est en perspective. Ce travail doit également permettre d'aboutir, dans un second temps, à une quantification globale du stock sédimentaire présent sur l'ensemble du continuum terre-mer littoral, puisque celle de la partie marine est déjà effectuée dans le Golfe du Lion (BRUNEL *et al.*, 2014 ; RAYNAL *et al.*, 2015).

7. Remerciements

Les auteurs remercient l'OBSCAT pour le soutien apporté au projet ESTER lors de son montage et sa réalisation et Perpignan Méditerranée Métropole pour son financement.

8. Références bibliographiques

- ALEMAN N., ROBIN N., CERTAIN R., ANTHONY E. J., BARUSSEAU J. P. (2015). *Long-shore variability of beach states and bar types in a microtidal, storm-influenced, low wave-energy environment*, *Geomorphology*, (241), pp 175-191. doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.029
- BILLY J., ROBIN N., HEIN C., CERTAIN R., FITZGERALD D. (2014). *Internal architecture of mixed sand and gravel beach ridges: Miquelon Langlade Barrier, NW Atlantic*, *Marine Geology*, (357), pp 53-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2014.07.011>
- BRUNEL C., CERTAIN R., SABATIER F., ROBIN., BARUSSEAU J. P., ALEMAN N., RAYNAL O. (2014). *20th century sediment budget trends on the Western Gulf of Lions shoreface (France), an application of an integrated method for the study of sediment coastal reservoirs*, *Geomorphology*, (204), pp 625-637. doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.09.009
- CHRISTMANN H., PALVADEAU E., STEPANIAN A., BOLDERE G., BOUVIER C., HUREAU S., MALDAN F., MAURICE B., PORTAL A., DAILLOUX D., SABARICH L., SIBERT V. (2017). *Observatoire de la côte sableuse catalane-OBSCAT*, Rapport technique d'année 4, Rapport final, BRGM/RP-67386-FR, 185p.
- NEAL A. (2004). *Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress*, *Earth-Science Reviews.*, (66), pp 261-330. doi:10.1016/j.earscirev.2004.01.004
- RAYNAL O., CERTAIN R., BRUNEL C., ALEMAN N., ROBIN N., GUERINEL B., MONTEL L. (2015). *LITTOSIS-Analyse volumétrique et granulométriques du prisme sableux littoral du Languedoc-Roussillon*, Rapport final LITTOSIS, 46 p. <https://elmusca.wordpress.com/>
- SASS O. (2006). *Determination of the internal structure of alpine talus using different geophysical methods (Lechtaler Alps, Austria)*, *Geomorphology*. (80), 45–58. doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.09.006
- SCHWAMBORN G. J., DIX J. K., BULL J. M., RACHOLD V. (2002). *High resolution seismic and ground-penetrating radar geophysical profiling of a thermokarst lake in the western Lena Delta, Northern Siberia*, *Permafrost and Periglacial Processes*, (13), 259–269. doi: 10.1002/ppp.430

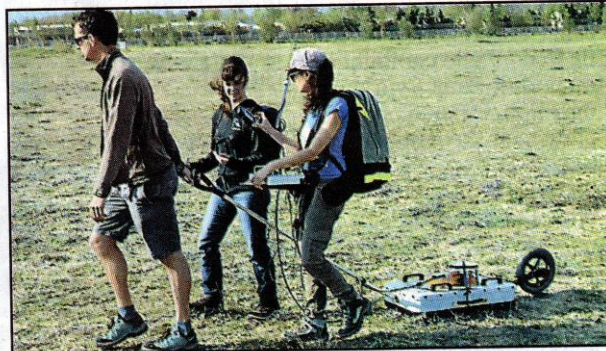
Annexe 2

VULGARISATION DES TRAVAUX DANS LA PRESSE ÉCRITE ET MÉDIA TÉLÉVISUEL
C- ARTICLE « L'INDÉPENDANT » (13/04/2017)
TORREILLES

Projet Ester : les chercheurs évaluent les stocks de sable du littoral

Le projet Ester (Évaluation du stock sédimentaire terrestre) vise à évaluer les stocks de sédiments sur la partie sableuse non immergée de la côte. « *Le but est de comprendre les modalités et les processus de formation et de fonctionnement de ces littoraux, et in fine de pouvoir en prédire les tendances évolutives, avec une attention particulière pour le trait de côte* », expliquent les chercheurs sur leur site : <https://el-musca.wordpress.com/>

Durant le mois de mars, trois journées de campagne ont été consacrées à des relevés par géoradar. Cet instrument envoie des ondes dans le sol. Réfléchies par les différentes strates, elles permettent d'évaluer la profondeur des sédiments et d'établir des



Relevés par géoradar puis carottier sur la plage et le cordon du-naire.

profils de la zone. La semaine dernière, les chercheurs du Cefrem (Centre de formation et de recherche sur les environnements méditerranéens) sont revenus sur la plage nord de Torreilles afin de préciser les résultats à l'aide d'un carottier. La présence de sable jusqu'à

une profondeur de 5 à 6 mètres a été attestée. « *Les résultats sont encourageants. La méthode fonctionne et c'est une bonne nouvelle de savoir qu'il y a un stock de sable disponible* », confie Nicolas Robin, maître de conférences à l'UPVD, responsable du projet Ester.

D- REPORTAGE « TV SUD » (20/10/2016)


<http://www.lindependant.fr/2016/10/20/le-jt-de-tv-sud-du-jeudi-20-octobre,2272327.php>