





# Suivi par vidéo numérique de l'expérimentation de techniques de protection du littoral du lido de Sète à Marseillan. Année 2018-2020

Rapport final

**BRGM/RP-70147-FR**

Septembre 2020

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM AP19MPL023

**Y. Balouin**

Avec la collaboration de : **N. Valentini, C. Conor**

**Vérificateur :**

Nom : Palvadeau Eric

Date : 01/09/2020

Signature :

**Approbateur :**

Nom : Blum Ariane

Date : 01/09/2020

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement  
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

**Mots-clés** : Lido, système ARGUS, vidéo numérique, trait de côte, barres d'avant-côte

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Balouin, Y., Valentini, N. et Conor C.** (2020) – Suivi par vidéo numérique de l'expérimentation de techniques de protection du littoral du Lido de Sète à Marseillan – Année 2018-2020 – Rapport final. BRGM/RP-70147-FR, 47 p., 36 ill.

## Synthèse

Cette étude s'inscrit dans le projet de sauvegarde du lido de Sète à Marseillan. La communauté de communes Sète Agglopôle Méditerranée (ex Thau Agglo) a entrepris une politique innovante de défense du littoral avec le recul stratégique de la route littorale et l'expérimentation de techniques de défense contre l'érosion : un géotextile atténuateur de houle, implanté sur l'avant-côte et un système de drainage de plage ©Ecoplage. L'évaluation de ces expérimentations nécessite un suivi adapté permettant de mesurer les effets de ces systèmes sur l'évolution du littoral à moyen (quelques années) et long-terme (quelques décennies), mais également à court-terme lors des tempêtes. C'est dans ce contexte que le BRGM, en partenariat avec Sète Agglopôle Méditerranée, a engagé dès 2011 la mise en place d'un dispositif de suivi du littoral par vidéo numérique.

Le dispositif, de type ARGUS, a été implanté en avril 2011 par le BRGM et DELTARES (représentant ARGUS en Europe). L'installation est composée de deux mâts situés sur la partie Nord-Est du Lido, permettant le suivi d'une zone de 4 km entre le triangle de Villeroy et les trois digues. Ces mâts sont équipés de 5 et 3 caméras, reliées à un ordinateur d'acquisition et au réseau téléphonique pour le transfert d'images via Internet.

Ce rapport présente spécifiquement les résultats du suivi pour la période 2018 à juin 2020 et propose une vision et un examen global des évolutions constatées depuis le début du suivi en 2011 afin d'analyser l'efficacité de l'atténuateur de houle initial et de ses extensions successives.

Les principaux indicateurs de suivi sont les positions du trait de côte et des barres d'avant-côte, à plus ou moins haute-fréquence, combinées aux mesures hydrodynamiques (houle, niveau d'eau) et aux levés bathymétriques existants. Sont présentées à la fois l'évolution à moyen terme et les évolutions lors des tempêtes.

Les résultats du suivi pour la période juin 2018 à juin 2020 ont permis de mettre en évidence plusieurs caractéristiques de l'évolution du site :

- La linéarisation des barres et du trait de côte observée dans le secteur protégé s'est prolongée avec l'extension de l'atténuateur et les nouveaux secteurs protégés semblent également stabilisés. La tridimensionnalité des morphologies a quasiment disparue. Cette linéarité diminue les impacts sur la plage émergée lors des tempêtes les plus importantes avec notamment l'absence de franchissements du cordon dunaire pendant les tempêtes hivernales.
- Le trait de côte de 2018 à 2020 a montré une légère avancée dans le secteur protégé, probablement à mettre en relation avec une fréquence de tempêtes de sud plus importante pendant l'hiver 2019-2020.
- Sur la côte adjacente, le cycle de migration naturelle des barres vers le large se poursuit, indiquant le peu d'effet de l'atténuateur sur cette dynamique. Ce cycle, avec la création d'une nouvelle barre à la côte, est souvent synonyme de recul de la plage, ce qui a été observé en 2015 et qui est de nouveau observé en 2020.

L'extension de l'atténuateur a visiblement mis en défend un linéaire plus important du Lido qui reste très stable, malgré des phases temporaires de recul/avancée lors des tempêtes. Un effet potentiel de la chenalisation des courants longitudinaux par la structure sur les morphologies sableuses n'est pas observé, comme l'a confirmé l'utilisation de modèles morphodynamiques lors des travaux de Thèse de Clément Bouvier (Bouvier, 2019).

Malgré ce constat positif, il semble que l'intégrité de la structure soit mise à rude épreuve et Sète Agglopôle Méditerranée envisage l'expérimentation de la technique ©Géocorail pour renforcer sa résistance. Les avancées récentes en terme d'inversion bathymétrique par vidéo fourniront un méthodologie robuste et simple pour évaluer les effets de ce renforcement par agrégation des sédiments sur l'évolution de l'avant-côte et de la plage.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
1.1. PROBLEMATIQUE .....	9
1.2. OBJECTIFS .....	11
<b>2. Présentation du système de suivi vidéo sur le lido de Sète.....</b>	<b>13</b>
2.1. LE SYSTEME ARGUS.....	13
2.2. IMPLANTATION SUR LE LIDO DE SETE .....	13
2.3. CARACTERISTIQUES DU SYTEME ARGUS DE SETE .....	14
<b>3. Synthèse des acquisitions vidéo d’avril 2011 à Juin 2020 .....</b>	<b>17</b>
3.1. IMAGES ET ECHANTILLONNAGE DE PIXELS OBTENUS .....	17
3.2. ANALYSES REALISEES .....	18
<b>4. Résultats du suivi vidéo.....</b>	<b>22</b>
4.1. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES PENDANT LA DUREE DU SUIVI .....	22
4.1.1. Caractéristiques de la houle de 2011 à 2020 .....	22
4.1.2. Evènements énergétiques .....	22
4.1.3. Conclusion sur les conditions hydrodynamiques .....	26
4.2. EVOLUTION DE LA POSITION DU TRAIT DE COTE .....	26
4.2.1. Amplitude pluriannuelle de la position du trait de côte.....	26
4.2.2. Evolution temporelle de la position du trait de côte .....	28
4.3. EVOLUTION DES BARRES D’AVANT-COTE .....	33
4.3.1. Evolution générale .....	33
4.3.2. Evolution bathymétrique .....	38
4.4. EVOLUTION DU LITTORAL LORS DES TEMPETES DES HIVERS 2018-2019 ET 2019-2020.....	40
4.4.1. La tempête du 14 au 16 Octobre 2018.....	40
4.4.2. La tempête du 20 au 26 Avril 2019 .....	42
4.4.3. La tempête du 23 au 24 Octobre 2019.....	45
4.4.4. La tempête du 19 au 20 Décembre 2019.....	47
<b>5. Conclusions sur les évolutions observées et les effets de l’atténuateur de houle sur le     littoral du Lido.....</b>	<b>50</b>
5.1. SYNTHESE DES EVOLUTIONS OBSERVEES DE 2011 A 2020 .....	50

5.2. EVALUATION DE L'EFFICACITE DE L'ATTENUATEUR.....	53
5.3. PROPOSITION DE SUIVI SPECIFIQUE DE L'EXPERIMENTATION GEOCORAIL	
53	

<b>6. Bibliographie.....</b>	<b>55</b>
------------------------------	-----------

## Liste des illustrations

Illustration 1 – Localisation des ouvrages expérimentaux de protection du littoral (Egis-Eau, 2009). .....	10
Illustration 2 – Phases d'extension de l'atténuateur de houle (Sète Agglopôle Méditerranée)...	10
Illustration 3 – Position des 2 mâts implantés sur le Lido de Sète et champs de vision des 8 caméras (fond © Orthophoto IGN).....	14
Illustration 4 - Photos des 3 caméras (C6,C7 et C8) du mât n°1 (à gauche) et des 3 points de vue correspondants. ....	15
Illustration 5 - Point de vue des 5 caméras (C5,C4,C3,C2 et C1) du mât 2.....	15
Illustration 6 - Types d'images collectées : image instantanée (en haut à gauche), image moyennée sur dix minutes (en haut à droite), image moyennée sur la journée(en bas à gauche) et image variance (en bas à droite). ....	16
Illustration 7 - Système de coordonnées ARGUS pour le lido de Sète. ....	16
Illustration 8 – Synthèse des acquisitions vidéo des différentes caméras (1 à 8). Les interruptions sont signalées en blanc. ....	17
Illustration 9 - Présentation des indicateurs morphologiques et hydrodynamiques obtenus par l'outil Argus.....	18
Illustration 10 – Dates des prises de vue retenues pour l'analyse de l'évolution du trait de côte.	20
Illustration 11 – Dates des prises de vue retenues pour l'analyse de l'évolution de la position de la barre interne.....	21
Illustration 12 - Conditions hydrodynamiques lors de la période de suivi ; en haut : Hauteur significative de la houle à la bouée de Sète (en m, CANDHIS), et en bas : puissance longitudinale de la houle en kW/0.5h.....	23
Illustration 13 – Rose des houles à la bouée de Sète de Janvier 2011 à Juin 2020. Le trait noir indique l'orientation du trait de côte sur le Lido. ....	24
Illustration 14 - Paramètres hydrodynamiques à Sète entre le 01/06/18 et le 30/06/20 : Niveau marin (NM), Hauteur significative de la houle (Hs), Periode (Ts) et puissance longshore (Plong). Les zones grisées correspondent aux périodes de tempêtes.....	24
<i>Illustration 15 – Roses des houles pour les période allant de juin 2018 – juin 2019 et juin 2019-juin 2020. ....</i>	<i>25</i>
Illustration 16 - Paramètres hydrodynamiques caractérisant les évènements énergétiques de l'hiver 2016-2017 : Durée (heures), Hs max (en m), Tp à Hsmax (en sec) et direction moyenne (en deg).....	25
Illustration 17 – Superposition des traits de côte estivaux de 2011 à 2020 sur l'ortholittorale 2011. Sont indiqués sur différents secteurs de la plage,les amplitudes maximales des mouvements enregistrés en mètres.....	27

Illustration 18 - Superposition des traits de côte de 2017 à 2020 sur l'ortholittorale 2011. Sont indiqués sur différents secteurs de la plage les amplitudes maximales des mouvements enregistrés en mètres. ....	28
Illustration 19 – Position respective des traits de côte entre 2011 et 2020. Les valeurs en rouge indiquent le mouvement résultant (en m). ....	30
Illustration 20 – Position respective des traits de côte entre 2017 et 2020. Les valeurs en rouge indiquent le mouvement résultant (en m). ....	31
Illustration 21 – Evolution temporelle de la position du trait de côte sur des profils transverses dans la zone située derrière l'atténuateur et dans la zone adjacente non protégée au SO. La série temporelle des hauteurs de vagues au large est représentée en dessous pour localiser les événements de tempêtes. ....	32
Illustration 22 - Position estivale de la crête de barre interne de 2011 à 2020. ....	34
Illustration 23 – Evolution de la position des barres et du trait de côte de 2015 à 2020 (dans le référentiel Argus). ....	35
Illustration 24 – Evolution de la position des barres et du trait de côte e 2018 à 2020 (dans le référentiel Argus). ....	36
Illustration 25 – Evolution bathymétrique de 2011 à 2019 (données DREAL et Sete Agglopoles) : à gauche : modèles numériques de terrain ; à droite : profils transverses T1 à T4.37	
Illustration 26 : Images rectifiées illustrant l'évolution de la position de la barre interne de 2018 à 2020. ....	38
Illustration 27 : Paramètres hydrodynamiques mesurés lors de la tempête du 14 au 16 octobre 2018 (données Candhis et Refmar).....	40
Illustration 28 : Images des caméras 6, 5 et 1 illustrant l'inondation quasi-totale de la plage lors de l'événement du 15 Octobre 2018.....	41
Illustration 29 : Images rectifiées avant et après la tempête du 15 octobre 2018. La ligne rouge indique la position du trait de côte le 8 octobre 2018. ....	41
Illustration 30 – Paramètres hydrodynamiques mesurés lors de la tempête du 20 au 26 avril 2019 (données Candhis et Refmar).....	43
Illustration 31 – Images recitifiées du secteur nord-est du lido de Sète pendant le mois d'avril 2019. La ligne rouge indique la position du trait de côte début avril. Le rectangle orange désigne le secteur sur lequel des dégats ont été constatés dans les établissements de plage. ....	44
Illustration 32 – Image rectifiée du 20 avril 2019 montrant la forme de la barre interne au montant de la tempête. ....	45
Illustration 33 – Images des caméras 5 (à droite) et 6 (à gauche) illustrant respectivement les positions des lasses de mer de la tempête (ligne rouge) dans le secteur non protégé (à droite) et protégé (à gauche par l'atténuateur.....	45
Illustration 34 : Paramètres hydrodynamiques mesurés lors de la tempête du 23 au 24 octobre 2019 (données Candhis et Refmar).....	46
Illustration 35 : Images des caméras 5 et 1 illustrant l'inondation quasi-totale de la plage lors de l'événement du 23 Octobre 2019.....	46
Illustration 36 : Images rectifiées avant et après la tempête du 23 octobre 2019. La ligne rouge indique la position du trait de côte le 22 octobre 2019. ....	47
Illustration 37 : Paramètres hydrodynamiques mesurés lors de la tempête du 20 décembre 2019 (données Candhis et Refmar).....	48
Illustration 38 : Images rectifiées avant et après la tempête du 20 décembre 2019. La ligne rouge indique la position du trait de côte le 14 décembre 2019. ....	49

Illustration 39 : Bilan de l'évolution du littoral du Lido de Sète depuis 2011. ....	51
Illustration 40 – Images vidéo rectifiées illustrant l'évolution du littoral du Lido de Sète de 2011 à 2017. ....	52

# 1. Introduction

## 1.1. PROBLEMATIQUE

Le lido de Sète à Marseillan, frange côtière étroite séparant l'étang de Thau de la mer Méditerranée, est un littoral particulièrement sensible à l'érosion côtière et la submersion marine. Il fait l'objet d'une pression socio-économique toujours plus forte, et les différentes activités qui se concentrent sur cette étroite bande de terre sont soumises à des aléas forts.

Cet environnement littoral, caractéristique de la côte de l'Occitanie, est formé d'un lido sableux de 12 km entre Sète et Marseillan. La plage est étroite et son évolution naturelle est contrainte par l'ancienne route nationale 112 implantée sur le cordon dunaire. En domaine sous-marin, des barres sableuses parallèles à la côte jouent un rôle important sur l'évolution du trait de côte, en dissipant l'énergie de la houle lors des tempêtes, et en stockant une quantité importante de sédiments.

La dynamique de ce littoral résulte à la fois de transferts sédimentaires éoliens affectant le système dunaire, et des relations entre la dynamique des barres d'avant-côte et de la plage lors d'événements énergétiques. Cette évolution, bien documentée (Akouango, 1997 ; Barusseau et Saint-Guilly, 1981 ; Barusseau et al., 1994 ; Certain, 2002 ; Gervais, 2012), reste cependant mal comprise. Ceci résulte principalement de la difficulté d'obtenir des informations quantitatives lors des événements énergétiques (tempêtes), qui sont responsables des variations morphologiques majeures sur ce littoral.

Par ailleurs, les aménagements mis en place durant les dernières 50 années, et en particulier la route nationale, ont considérablement perturbé la dynamique naturelle. La ressource sédimentaire diminuant (par manque d'apports naturels), les impacts des tempêtes sont de plus en plus importants sur le long terme, et entraînent des coûts de réparation des infrastructures toujours croissants.

Le maintien et la survie de ce système sont l'objet de réflexions et de projets depuis les années 90 et ont conduit au projet d'aménagement du lido mené par Thau Agglo.

Ce projet d'aménagement du site emblématique du lido de Sète à Marseillan comprend différentes orientations stratégiques, alliant le recul de l'ex RN112 le long de la voie ferrée et la réhabilitation de la plage et du cordon dunaire. Ce projet assimile les grands principes de Gestion Intégrée des Zones Côtières, et a bénéficié d'un soutien important à l'échelle locale, régionale, nationale, et européenne par le biais du programme INTERREG IIIC MESSINA (Managing European Shoreline and Sharing Information on Nearshore Areas) en 2004-2006.

A ces aménagements terrestres sont associés des travaux maritimes qui ont pour objectifs de protéger la plage lors des événements érosifs en atténuant l'énergie de la houle et de maintenir la position du trait de côte. Une phase d'expérimentation de plusieurs techniques douces de protection marine est menée sur une portion du littoral du Lido afin d'évaluer la pertinence technique et économique de ces systèmes. Deux systèmes de protection ont été expérimentés (Balouin et al., 2016) : un système de drainage de plage ©Ecoplage et un atténuateur de houle (BRLi, 2009). La position approximative de ces ouvrages est indiquée sur l'illustration 1.



Illustration 1 – Localisation des ouvrages expérimentaux de protection du littoral (Egis-Eau, 2009).

De plus, un rechargement de 510 000 m<sup>3</sup> de sable sur un linéaire de 2 km de côte a été réalisé au droit de ces ouvrages en 2015. Sur ces 510 000 m<sup>3</sup> : 410 000 m<sup>3</sup> ont été injectés sur la plage émergée afin de porter sa largeur à 70 m et 100 000 m<sup>3</sup> injectés dans les petits fonds (de -2 m à -3 m) pour reconstituer un stock de matériaux sur l'avant-côte.

Le sable est récupéré par dragage au niveau du site de la Flèche sous-marine de l'Espiguette à 40 km du site. Les travaux du rechargement se sont déroulés en plusieurs étapes :

- Un faible rechargement du 15/11/2014 au 21/11/2014 ;
- Le rechargement total du 07/12/2014 au 10/02/2015.

Deux phases d'extension de l'atténuateur ont été réalisées, l'une en d'octobre 2015 à avril 2016 et l'autre de mai 2018 à juin 2019 (cf. illustration 2).

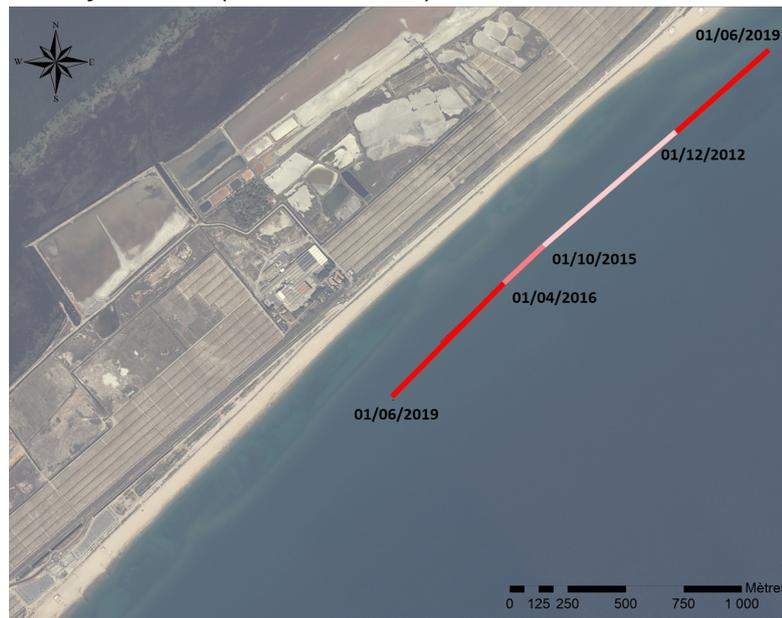


Illustration 2 – Phases d'extension de l'atténuateur de houle (Sète Agglopolè Méditerranée).

**Cette phase d'expérimentation bénéficie depuis 2011 de la mise en place d'un suivi quantitatif adapté permettant l'analyse technique de ces aménagements, notamment :**

- Leur comportement en termes de réduction du phénomène d'érosion, due à une atténuation de la houle ;
- Leur capacité à maintenir la position du trait de côte à échelle pluriannuelle ;
- Leur effet sur la dynamique de la plage lors des tempêtes et sur la reconstruction post-tempête ;
- Les seuils hydrodynamiques à partir desquels la réponse morphologique est irréversible, pour les différentes techniques utilisées.

Le suivi expérimental a été dimensionné pour atteindre ces objectifs en permettant :

- Assurer une grande répétitivité des mesures pour comprendre le rôle des aménagements dans les évolutions observées ;
- Être en mesure d'obtenir des informations quantitatives sur l'hydrodynamique et la réponse morphologique lors des tempêtes ou forts coups de mer qui représentent la contribution majeure au remaniement du littoral.

Dans ce contexte, la mise en place des outils de suivi permet depuis 2011, non seulement d'analyser le comportement naturel de ce système côtier à long terme, mais également de quantifier les modifications comportementales engendrées par les aménagements. Cette observation approfondie et continue contribue à l'amélioration des connaissances et à l'évaluation des techniques de protection sur la zone expérimentale, et permet de définir les stratégies de protection du Lido de Sète à Marseillan.

## 1.2. OBJECTIFS

Afin de permettre l'acquisition de données sur le site expérimental à la fois sur le long terme (pluriannuel) et lors des épisodes climatiques majeurs, il paraît indispensable de disposer d'un outil :

- Autonome, afin de garantir la continuité des mesures ;
- Avec un pas de temps d'acquisition programmable (de quelques minutes à plusieurs jours), afin de s'adapter aux différentes échelles de suivi (long terme ou haute fréquence) ;
- Adapté à l'identification et à la quantification des évolutions attendues ainsi qu'à leur suivi suite à l'installation des ouvrages expérimentaux.

La vidéo numérique est un outil innovant multithématique et pluridisciplinaire dont l'installation sur le Lido de Sète à Marseillan a permis de:

- Apporter des possibilités nouvelles en matière de suivi du littoral et d'évaluation des systèmes de protection en offrant un suivi en temps réel et permanent (y compris durant les coups de mer) ;
- Offrir aux collectivités locales et aux administrations de l'Etat d'autres applications ultérieures (à développer) à partir des données acquises sur une longue période de temps (2011-2020).

Le système de vidéo numérique a permis ces dernières années de bien caractériser la dynamique hydro-sédimentaire du Lido de Sète avant le déploiement des ouvrages de protection contre l'érosion (Balouin et al., 2012, Balouin, 2013). Les effets du drainage de plage, du rechargement et de la mise en place de l'atténuateur ont également pu être évalués grâce à ce système (Balouin et al., 2016). Il n'a pas montré de rôle positif du drainage de plage sur l'évolution de la plage. En revanche, il a mis en évidence le rôle majeur de l'atténuateur sur la

linéarisation du trait de côte et la diminution de l'érosion pendant les tempêtes dans les mois suivant son déploiement (Balouin et al., 2016).

Suite à la prolongation de l'atténuateur (longueur totale de 2400 m), l'analyse des données fournies par le système vidéo a montré la poursuite de la linéarisation de la barre dans le secteur protégé, sans que cela ne modifie le comportement du littoral adjacent qui poursuit son rythme classique de migration cyclique des barres vers le large (Balouin et al., 2019).

L'objectif du présent rapport est d'illustrer les évolutions observées de 2018 à 2020, en mettant ces évolutions en perspectives par rapport à la période globale 2011-2020. Une analyse des principaux indicateurs (traits de côte et positions des barres d'avant-côte) déjà suivis dans les rapports précédents est présentée, intégrant l'ensemble des connaissances acquises depuis l'installation du système vidéo.

## 2. Présentation du système de suivi vidéo sur le lido de Sète

### 2.1. LE SYSTEME ARGUS

La méthodologie, développée à la fin des années 70 aux Etats-Unis (Holman et Stanley, 2007), repose sur l'installation d'une ou plusieurs caméras haute résolution le long du littoral. Celles-ci sont pilotées par une station de commande. Le système est configuré pour recueillir automatiquement des images qui sont de trois types: les images instantanées, les images moyennées sur 10 min et les variances (cf. § 2.3). Les images sont téléchargées en temps quasi-réel pour analyse et traitement.

Plusieurs systèmes d'acquisition ont été développés dans le monde. ARGUS est le pionnier de ces développements et a bénéficié des travaux d'une grande communauté scientifique (Holman & Stanley, 2007). Le système actuel de troisième génération permet l'acquisition synchronisée de plusieurs caméras, la gestion et le traitement des banques d'images, ainsi que des outils permettant l'échantillonnage de pixels ou de groupes de pixels pour l'analyse des conditions hydrodynamiques. Le système est complètement opérationnel et bénéficie des mises à jour continues de la communauté d'utilisateurs. Ce sont notamment ces caractéristiques, ainsi que la qualité des images du système de 3<sup>ème</sup> génération qui ont orienté le choix de ce système pour le suivi du Lido de Sète. Le système est développé par le CIL<sup>1</sup> (Coastal Imaging Lab., Université d'état de l'Oregon, USA) et commercialisé en Europe par DELTARES. Le système du lido de Sète constitue la première installation d'ARGUS sur le littoral français.

### 2.2. IMPLANTATION SUR LE LIDO DE SETE

Pour répondre aux objectifs d'observation des effets des techniques de protection, l'implantation de deux systèmes vidéo a été nécessaire. Ceux-ci sont positionnés à proximité des zones d'expérimentation, au niveau du Triangle de Villeroy, et à 500 m au Sud-Ouest du château de Villeroy (Listel). Le positionnement des deux stations vidéo a nécessité la mise en place de deux supports physiques (mâts de 19 m hors-sol soit environ 21 m au-dessus du niveau moyen des mers) afin d'obtenir une résolution permettant de suivre un linéaire côtier allant du triangle de Villeroy à la zone des trois digues (3 épis) soit 4 km de linéaire côtier (cf. ill. 3).

Le mât 1 (au NE) comporte 3 caméras et permet de visionner sur 110°. Le mât 2 (au SO) comporte 5 caméras pour une vision à 180° (cf. ill. 4).

---

<sup>1</sup> <http://cil-www.coas.oregonstate.edu/>

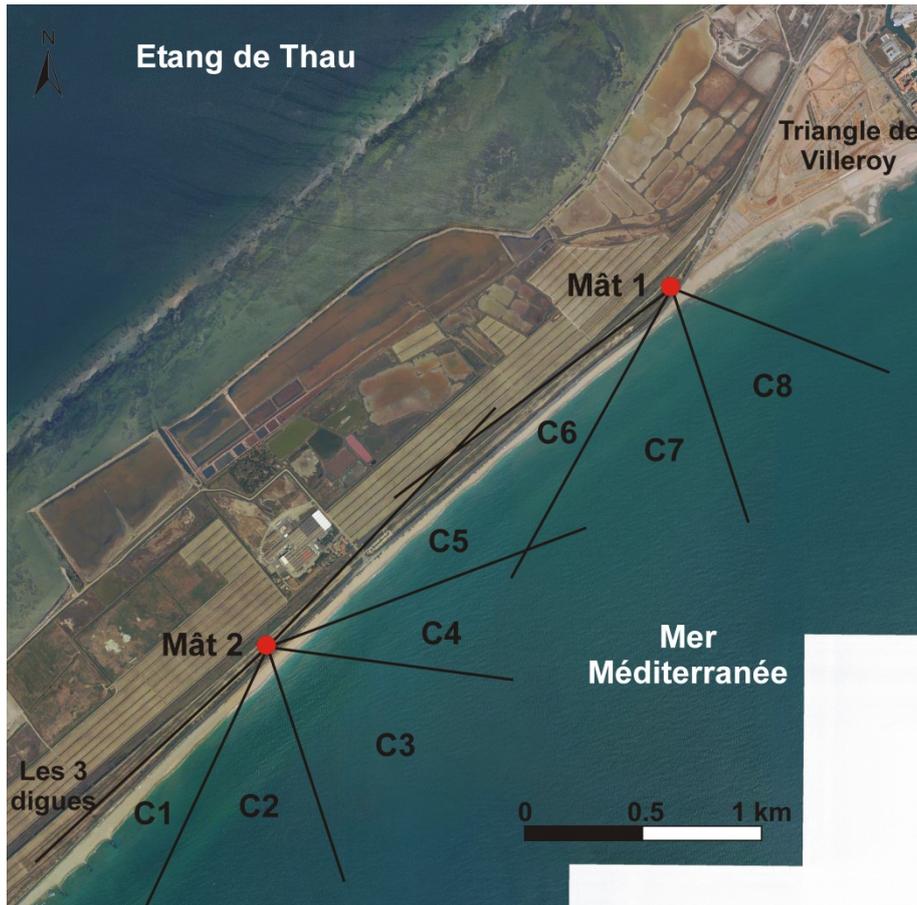


Illustration 3 – Position des 2 mâts implantés sur le Lido de Sète et champs de vision des 8 caméras (fond © Orthophoto IGN).

### 2.3. CARACTERISTIQUES DU SYTEME ARGUS DE SETE

Les caméras installées sont des capteurs couleurs à 5 Mpixels (2448×2048 pixels). Les réglages des lentilles sont différents selon les caméras pour obtenir la meilleure résolution possible au niveau de trait de côte. Le mât 1, situé au Nord-Est, est composé de 3 caméras permettant un angle de vue de 110° (cf. ill. 4) : 2 caméras perpendiculaires à la côte et une caméra parallèle à la côte. Le mât 2, situé au Sud-Ouest, est composé de 5 caméras permettant la vision à 180° (cf. Ill. 5).

Les images acquises par le système du lido de Sète sont de quatre types (Cf. Ill. 6):

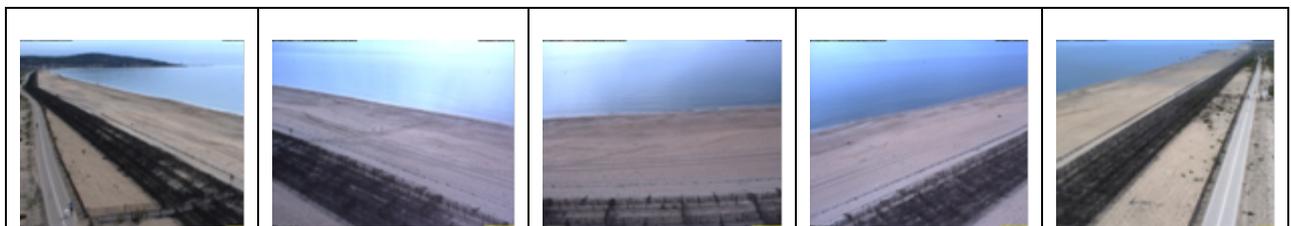
- Une image moyennée sur la journée ;
- Une image instantanée (snapshot);
- Une image moyennée (time-exposure ou timex) sur un temps d'exposition de 10 min;
- Une image « variance » (variance image) : somme des carrées de déviation par rapport à la valeur moyenne.

L'image moyennée « timex » est le produit ARGUS le plus utilisé car il permet de détecter plus facilement le trait de côte et la position des barres d'avant-côte.

L'acquisition des images se fait trois fois par heure (heure fixe, heure fixe + 15 min, heure fixe + 30 min) et seulement pour les horaires de la journée (entre 06 h et 20 h en période estivale).



*Illustration 4 - Photos des 3 caméras (C6,C7 et C8) du mât n°1 (à gauche) et des 3 points de vue correspondants.*



*Illustration 5 - Point de vue des 5 caméras (C5,C4,C3,C2 et C1) du mât 2.*

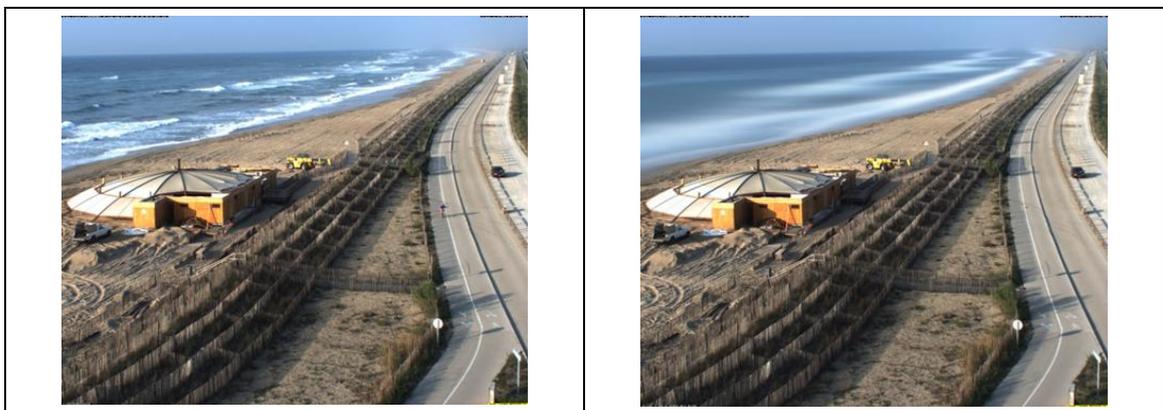




Illustration 6 - Types d'images collectées : image instantanée (en haut à gauche), image moyennée sur dix minutes (en haut à droite), image moyennée sur la journée(en bas à gauche) et image variance (en bas à droite).

Pour faciliter les traitements d'images, un repère Argus ayant pour origine le mat 2 a été mis en place (Illustration 7). La coordonnée X est positive vers la mer (perpendiculairement au trait de côte) et la coordonnée Y est positive vers le NO.

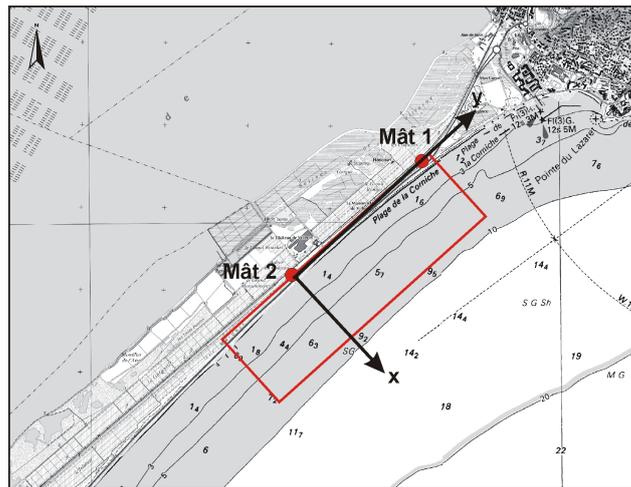


Illustration 7 - Système de coordonnées ARGUS pour le lido de Sète.

Pour rappel au besoin, les procédures de traitement des images et la validation initiale des indicateurs dérivés des images (position du trait de côte, position des barres d'avant-côte) sont présentées dans le rapport RP-60874-FR (Balouin *et al.*, 2012).



disparition du site internet dédié à la station vidéo Argus de Sète <http://argus-public.deltares.nl/> qui était mis à disposition gratuitement par DELTARES.

Par ailleurs, des échantillonnages de pixels sont réalisés quotidiennement à une fréquence horaire afin d'enregistrer des séquences de 10 min dans la zone de jet de rive, dans le déferlement, et en plusieurs points de l'avant-côte. Ces données permettent l'analyse des caractéristiques de l'hydrodynamique côtière (Balouin *et al.*, 2012). Elles permettent notamment d'obtenir la période et la direction de la houle, l'extension et la fréquence du jet de rive, la vitesse des courants longitudinaux de surface (cf. illustration 9). Ces échantillonnages sont lancés quotidiennement afin d'obtenir une banque de données la plus exhaustive possible des conditions hydrodynamiques avant et lors des travaux, qui servira pour évaluer les effets des aménagements sur les conditions de vagues, de courants et de surcote.

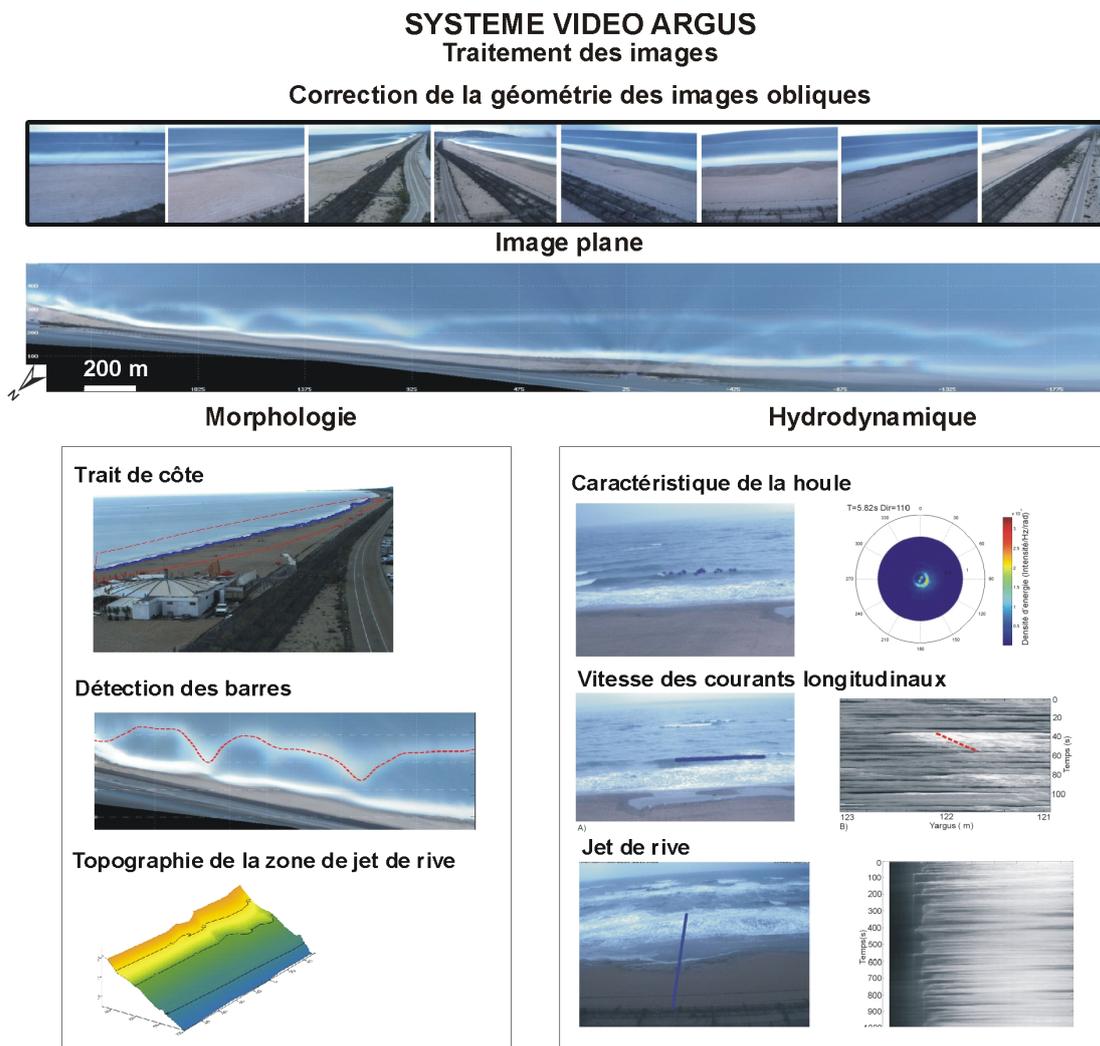


Illustration 9 - Présentation des indicateurs morphologiques et hydrodynamiques obtenus par l'outil Argus.

### 3.2. ANALYSES REALISEES

Afin d'évaluer l'évolution du site et l'efficacité potentielle des ouvrages de défense, deux indicateurs principaux sont suivis sur le long terme (cf. Illustration 9) :

- la position du trait de côte à intervalle de temps régulier (à minima tous les 15 jours, cf. Illustration 10) et pour des conditions hydrodynamiques de très faible énergie ;
- la position des barres d'avant-côte qui sont détectées par le système dès lors que la houle atteint 1 m de hauteur significative pour la barre interne, et lorsqu'elle atteint 3 m pour la barre externe plus lointaine et plus profonde. L'Illustration 11 indique les dates choisies pour le suivi de ces barres.

Par ailleurs, une analyse spécifique est réalisée en période de tempête afin de mieux appréhender les évolutions rapides de la plage et de l'avant-côte, et d'évaluer les différences entre les fonctionnements des secteurs non-protégé et protégé du site.

Dates des levés du trait de côte					
17/06/2011	18/01/2013	15/07/2014	10/04/2016	28/04/2018	22/09/2019
03/07/2011	31/01/2013	30/07/2014	28/04/2016	29/04/2018	23/09/2019
18/07/2011	14/02/2013	15/08/2014	14/05/2016	30/04/2018	28/09/2019
02/08/2011	26/02/2013	01/09/2014	25/05/2016	02/05/2018	05/10/2019
10/08/2011	03/03/2013	14/09/2014	13/06/2016	08/06/2018	14/10/2019
18/09/2011	08/03/2013	03/10/2014	28/06/2016	20/06/2018	17/10/2019
06/10/2011	09/03/2013	22/10/2014	13/07/2016	29/06/2018	20/10/2019
20/10/2011	19/03/2013	02/11/2014	28/07/2016	08/07/2018	22/10/2019
21/10/2011	31/03/2013	20/11/2014	12/08/2016	16/07/2018	23/10/2019
24/11/2011	15/04/2013	07/12/2014	30/08/2016	24/07/2018	25/10/2019
28/11/2011	29/04/2013	23/12/2014	17/09/2016	30/07/2018	28/10/2019
30/11/2011	17/05/2013	08/01/2015	29/09/2016	11/08/2018	04/11/2019
03/12/2011	31/05/2013	24/01/2015	18/10/2016	18/08/2018	12/11/2019
15/12/2011	14/06/2013	09/02/2015	04/11/2016	27/08/2018	14/11/2019
18/12/2011	24/06/2013	23/02/2015	16/11/2016	10/09/2018	19/11/2019
09/01/2012	14/07/2013	08/03/2015	12/02/2016	20/09/2018	23/11/2019
21/02/2012	31/04/2013	23/03/2015	12/12/2016	27/09/2018	30/11/2019
19/03/2012	15/08/2013	04/04/2015	14/01/2017	08/10/2018	14/12/2019
24/03/2012	31/08/2013	30/04/2015	29/01/2017	17/10/2018	05/01/2020
25/03/2012	06/09/2013	15/05/2015	18/02/2017	27/10/2018	11/01/2020
26/03/2012	14/09/2013	30/05/2015	02/03/2017	02/11/2018	25/01/2020
29/03/2012	01/10/2013	16/06/2015	16/03/2017	13/11/2018	31/01/2020
05/04/2012	15/10/2013	30/06/2015	05/04/2017	25/11/2018	05/02/2020
08/04/2012	30/10/2013	15/07/2015	18/04/2017	08/12/2018	07/02/2020
13/04/2012	31/10/2013	28/07/2015	05/05/2017	29/12/2018	10/02/2020
22/04/2012	13/11/2013	10/08/2015	20/05/2017	09/01/2019	15/02/2020
24/04/2012	28/11/2013	10/09/2015	01/06/2017	30/01/2019	29/02/2020
02/05/2012	02/12/2013	25/09/2015	11/06/2017	04/02/2019	03/03/2020
13/05/2012	15/12/2013	08/10/2015	26/06/2017	16/02/2019	20/03/2020
22/05/2012	30/12/2013	25/10/2015	11/07/2017	24/02/2019	24/03/2020
06/07/2012	06/01/2014	11/11/2015	16/11/2017	03/03/2019	30/03/2020
30/07/2013	11/02/2014	24/11/2015	08/12/2017	11/03/2019	08/04/2020
07/08/2012	28/02/2014	08/12/2015	10/12/2017	23/03/2019	24/04/2020
29/08/2012	05/03/2014	24/12/2015	12/12/2017	16/04/2019	05/05/2020
09/09/2012	19/03/2014	20/01/2016	25/12/2017	28/04/2019	09/05/2020
22/09/2012	06/04/2014	01/02/2016	05/01/2018	10/05/2019	10/05/2020
07/10/2012	19/04/2014	07/02/2016	06/01/2018	09/08/2019	12/05/2020
07/11/2012	03/05/2014	01/03/2016	09/01/2018	17/08/2019	20/05/2020
23/11/2012	16/05/2014	16/03/2016	20/01/2018	31/08/2019	07/06/2020
02/12/2012	01/06/2014	01/04/2016	28/02/2018	15/09/2019	12/06/2020
18/12/2012	15/06/2014	03/04/2016	02/03/2018	18/09/2019	14/06/2020
04/01/2013	02/07/2014	09/04/2016	05/03/2018	21/09/2019	28/06/2020

Illustration 10 – Dates des prises de vue retenues pour l'analyse de l'évolution du trait de côte.

Dates des levés des positions des barres					
22/04/2011	23/04/2012	30/04/2013	31/03/2014	17/03/2016	11/10/2018
23/04/2011	25/04/2012	15/05/2013	02/04/2014	31/03/2016	14/10/2018
19/07/2011	26/04/2012	18/05/2013	03/04/2014	31/03/2016	16/10/2018
06/08/2011	27/04/2012	08/06/2013	04/04/2014	14/09/2016	01/11/2018
15/10/2011	28/04/2012	16/06/2013	04/04/2014	14/10/2016	05/11/2018
22/10/2011	29/04/2012	17/06/2013	19/05/2014	23/10/2016	06/11/2018
23/10/2011	18/05/2012	18/06/2013	21/05/2014	24/10/2016	09/11/2018
24/10/2011	23/08/2012	19/06/2013	28/06/2014	22/11/2016	12/11/2018
25/10/2011	24/09/2012	26/07/2013	04/07/2004	24/11/2016	13/12/2018
27/10/2011	17/10/2012	27/07/2013	19/07/2014	04/12/2016	18/12/2018
28/10/2011	20/10/2012	28/07/2013	10/08/2014	16/12/2016	19/12/2018
01/11/2011	21/10/2012	28/09/2013	17/09/2014	17/12/2016	05/04/2019
02/11/2011	26/10/2012	29/09/2013	19/09/2014	20/12/2016	06/04/2019
03/11/2011	31/10/2012	03/10/2013	29/09/2014	21/01/2017	21/04/2019
04/11/2011	10/11/2012	04/10/2013	12/10/2014	22/01/2017	21/09/2019
05/11/2011	14/11/2012	19/10/2013	03/11/2014	28/01/2017	22/09/2019
06/11/2011	17/11/2012	21/10/2013	04/11/2014	02/02/2017	14/10/2019
08/11/2011	18/11/2012	23/10/2013	11/11/2014	11/02/2017	20/10/2019
12/11/2011	24/11/2012	17/11/2013	14/11/2014	15/02/2017	23/10/2019
13/11/2011	26/11/2012	18/11/2013	27/11/2014	03/03/2017	14/11/2019
14/11/2011	13/12/2012	19/12/2013	30/11/2014	04/03/2017	23/11/2019
15/11/2011	14/12/2012	22/12/2013	15/01/2015	24/03/2017	25/01/2020
16/11/2011	18/12/2012	25/12/2013	16/01/2015	25/03/2017	29/02/2020
19/11/2011	28/12/2012	28/12/2013	21/02/2015	25/04/2017	24/03/2020
20/11/2011	01/03/2013	04/01/2014	22/03/2015	30/04/2017	09/05/2020
21/11/2011	04/03/2013	16/01/2014	04/05/2015	11/05/2017	10/05/2020
22/11/2011	08/03/2013	18/01/2014	12/06/2015	06/01/2018	12/06/2020
29/11/2011	17/03/2013	30/01/2014	16/09/2015	08/01/2018	
02/12/2011	23/03/2013	03/02/2014	02/11/2015	05/02/2018	
16/12/2011	24/03/2013	05/02/2014	01/01/2016	06/02/2018	
10/02/2012	28/03/2013	15/02/2014	11/01/2016	28/02/2018	
17/03/2012	01/04/2013	24/02/2014	06/02/2016	02/03/2018	
21/03/2012	04/04/2013	22/03/2014	06/02/2016	05/03/2018	
22/03/2012	14/04/2013	28/03/2014	07/02/2016	29/04/2018	
10/04/2012	25/04/2013	29/03/2014	27/02/2016	09/08/2018	
21/04/2012	26/04/2013	30/03/2014	28/02/2016	09/10/2018	

Illustration 11 – Dates des prises de vue retenues pour l'analyse de l'évolution de la position de la barre interne.

## 4. Résultats du suivi vidéo

Le système étant mis en place depuis avril 2011, met à disposition une banque de données inédite en France avec un suivi de 9 ans de la plage du lido. Outre les suivis des pionniers dans ce domaine aux Etats-Unis et en Australie, il s'agit de l'une des plus longues chroniques d'observation vidéo en Europe. Une analyse des principaux indicateurs (traits de côte et positions des barres d'avant-côte) déjà suivis dans les rapports précédents est présentée, intégrant l'ensemble des connaissances acquises depuis l'installation du système vidéo.

Ces résultats s'intéressent à la fois à l'évolution globale de la plage et de l'avant-côte, le fonctionnement lors des tempêtes, et l'évaluation des techniques de lutte contre l'érosion qui ont été installées lors de ce suivi, respectivement en avril 2012 pour le drainage, et au cours de l'hiver 2012-2013 pour l'atténuateur de houle et ses extensions successives de 2015 et 2019.

### 4.1. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES PENDANT LA DUREE DU SUIVI

#### 4.1.1. Caractéristiques de la houle de 2011 à 2020

Etant donnée son orientation, la plage du Lido de Sète est soumise à des houles principalement frontales (voir l'énergie ou puissance longitudinale, Illustration 12). Toutefois, lors des tempêtes hivernales (pour des hauteurs significatives au large supérieures à 3 m), les vagues peuvent provenir du secteur Sud et/ou du secteur ESE (Illustration 13).

Lors de la période de suivi, on constate une assez grande variabilité des conditions hydrodynamiques. Si les périodes hivernales présentent généralement des hauteurs de vagues supérieures, on observe, notamment en 2014, 2016 et 2020, un étalement de la période des tempêtes ou coups de mer qui surviennent jusqu'à la fin du printemps avec des coups de mer encore significatifs en juin et début juillet.

Les tempêtes les plus importantes sont celles de mars 2013, novembre 2014, octobre 2016 et octobre 2018 avec des hauteurs de vagues de l'ordre de 5 m au large et l'événement le plus intense de ces 9 dernières années est la tempête de février 2018 avec des hauteurs significatives au large de près de 6 m. Les directions de provenance de ces tempêtes sont majoritairement d'ESE. On note également un hiver particulièrement énergétique en 2016-2017 et 2019-2020 avec de nombreux coups de mer successifs enregistrés (Illustration 12).

Le secteur étant plutôt caractérisé par une énergie globale modérée, les périodes inter-tempêtes sont le plus souvent caractérisées par des vagues inférieures à 0,50 m, des périodes de l'ordre de 4 à 6 secondes et des directions de provenance principalement d'Est/Sud-Est.

#### 4.1.2. Evènements énergétiques

L'hiver 2018-2019 a été faiblement énergétique avec un seul événement dépassant les 4 m de Hs au large (Oct 2018, cf. illustration 14). L'hiver 2019-2020 a été plus énergétique avec 2 événements dépassant 4 m (Oct et Déc 2019) et une succession de coups de mer (12 événements dépassant 2,5 m de Hs au large). On note pendant l'hiver 2019-2020 une augmentation significative des fortes houles de sud (cf. illustration 15).

La tempête d'Octobre 2018 a atteint la valeur maximale de Hs lors de ces deux hivers (4,8 m). Sa direction E-SE est la plus fréquemment observée sur le Lido et est susceptible d'engendrer des courants de dérive importants vers le SO. Ces fortes vagues, associées à une surcote relativement importante (niveau maximal atteint de l'ordre de 0,75 m NGF mesuré au marégraphe de Sète - Source Refmar), sont susceptibles d'avoir généré des évolutions importantes de la plage.

La tempête d'octobre 2019 présente une Hauteur significative des vagues de 4,5 m et une surcote importante (niveau maximal atteint proche de 1 m NGF - source Refmar). Cette tempête étant toutefois très frontale, elle n'a entraîné qu'une puissance longitudinale relativement faible et des courants de dérive littorale probablement limités. La tempête de décembre 2019 est légèrement plus faible en intensité. Toutefois, la houle provenant du Sud a généré une puissance longitudinale beaucoup plus importante et un courant de dérive vers le NE le long du Lido.

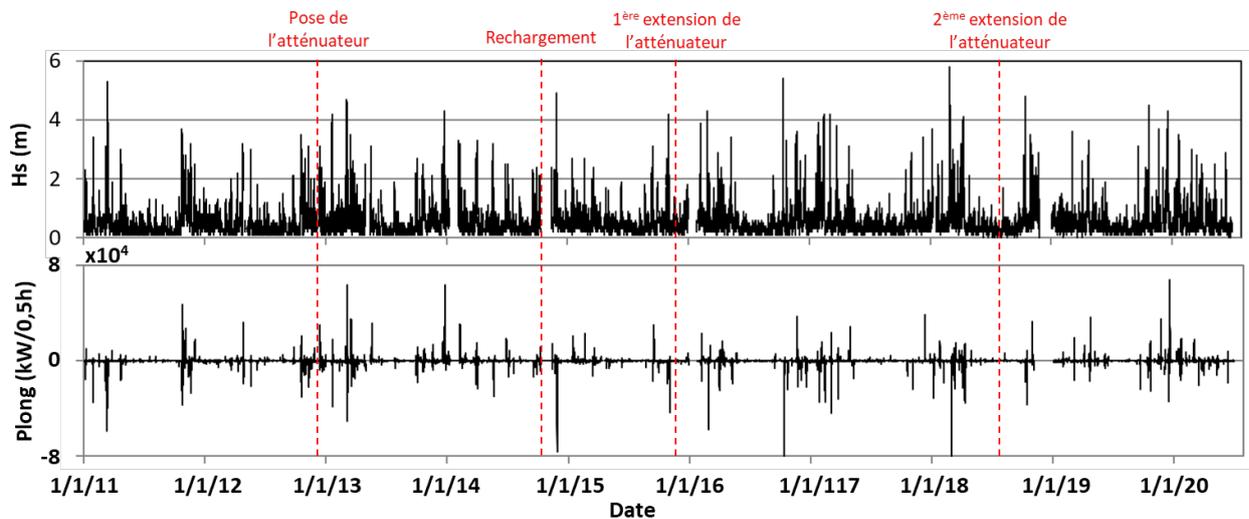


Illustration 12 - Conditions hydrodynamiques lors de la période de suivi ; en haut : Hauteur significative de la houle à la bouée de Sète (en m, CANDHIS), et en bas : puissance longitudinale de la houle en kW/0.5h

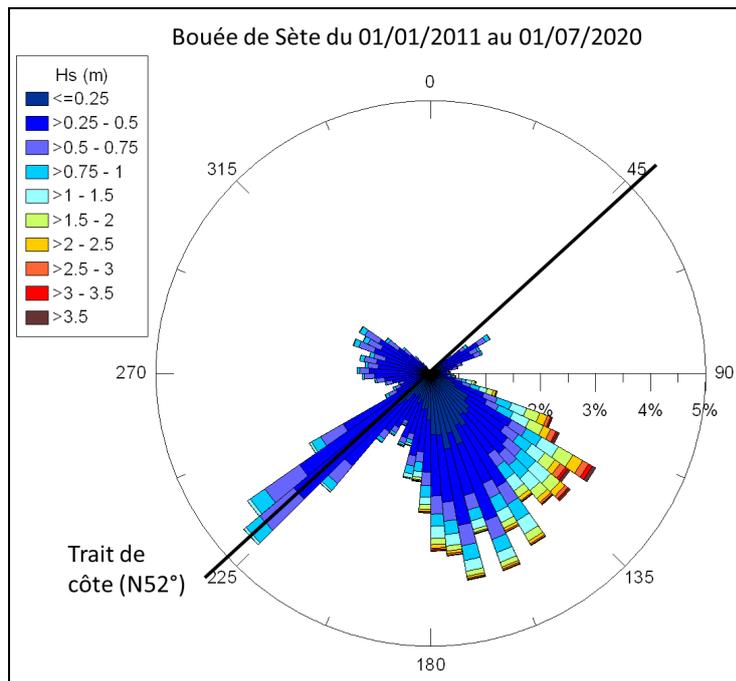


Illustration 13 – Rose des houles à la bouée de Sète de Janvier 2011 à Juin 2020. Le trait noir indique l'orientation du trait de côte sur le Lido.

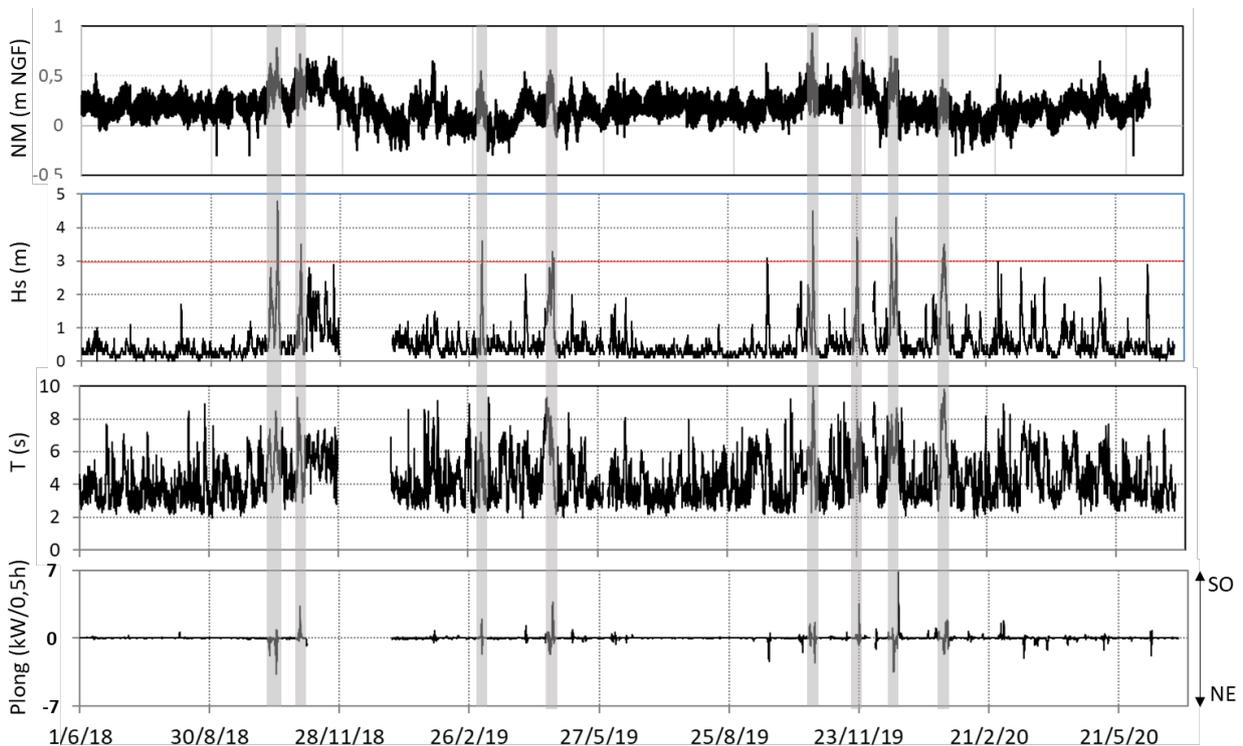


Illustration 14 - Paramètres hydrodynamiques à Sète entre le 01/06/18 et le 30/06/20 : Niveau marin (NM), Hauteur significative de la houle (Hs), Période (Ts) et puissance longshore (Plong). Les zones grisées correspondent aux périodes de tempêtes.

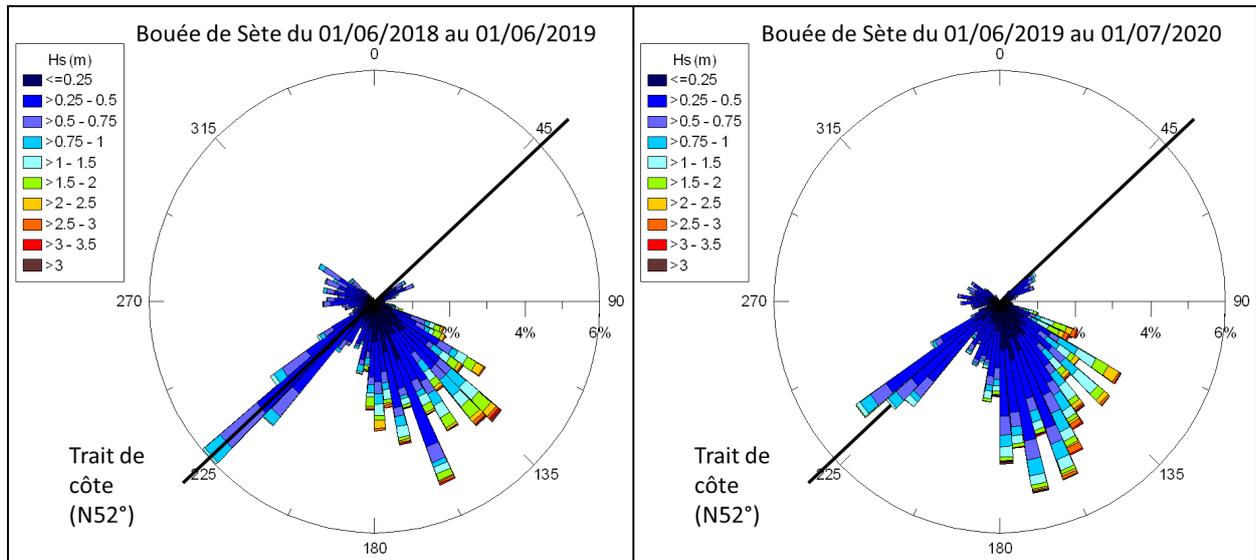


Illustration 15 – Roses des houles pour les période allant de juin 2018 – juin 2019 et juin 2019-juin 2020.

Les dates des évènements énergétiques ont été recensées dans l'illustration 16. La durée de la tempête est le temps pendant lequel Hs est resté au-dessus de 1,5 m. La hauteur significative maximale et la période correspondante sont également indiquées.

Date de début	Date de fin	Durée (hr)	Hs max (m)	Tp à Hsmax (s)	Direction moyenne (°)
10/10/2018 05:00	11/10/2018 05:00	24	2,8	6,9	128
14/10/2018 10:30	16/10/2018 07:00	44	4,8	8,3	131
31/10/2018 06:30	01/11/2018 05:30	23	3,5	7,9	158,2
23/11/2018 09:00	23/11/2018 19:00	10	2,9	6,9	111,4
06/03/2019 10:00	07/03/2019 03:00	18	3,6	6,9	147,1
22/04/2019 03:00	25/04/2019 21:00	90	3,3	8,4	126,5
21/09/2019 06:30	21/09/2019 22:30	16	3,1	7	171
23/10/2019 01:00	24/10/2019 05:00	28	4,5	9,1	138
22/11/2019 13:00	23/11/2019 19:30	31	3,7	7,6	151,5
16/12/2019 09:30	17/12/2019 21:30	36	3,7	8	128
19/12/2019 10:00	20/12/2019 17:00	31	4,3	8,4	172
20/01/2020 13:30	24/01/2020 07:00	89	3,5	9,7	140,3
29/02/2020 05:00	29/02/2020 13:30	8	3	7,3	151
11/06/2020 20:00	13/06/2020 04:00	32	2,9	7	131,8

Illustration 16 - Paramètres hydrodynamiques caractérisant les évènements énergétiques de l'hiver 2016-2017 : Durée (heures), Hs max (en m), Tp à Hsmax (en sec) et direction moyenne (en deg).

#### **4.1.3. Conclusion sur les conditions hydrodynamiques**

L'hiver 2018-2019 a été modérément énergétique avec 4 tempêtes dépassant une hauteur significative des vagues au large supérieure à 3 m. L'hiver 2019-2020 a été plus énergétique avec 8 tempêtes. Les événements importants (supérieurs à 4 m), susceptibles d'entraîner des évolutions morphologiques significatives, restent toutefois peu nombreux (1 en 2018-2019 et 2 en 2019-2020). Les tempêtes sont généralement d'E-SE donc quasi-frontales sur le Lido, mais l'hiver 2019-2020 a connu un nombre plus important de tempêtes de Sud qui génèrent des transits sédimentaires de SO à NE sur le Lido et un probable apport de sable dans la zone suivie.

## **4.2. EVOLUTION DE LA POSITION DU TRAIT DE COTE**

Afin d'évaluer l'évolution de la position du trait de côte (soit le contact terre-mer instantané), les images ont été sélectionnées afin de s'assurer de la comparabilité des différents traits de côte instantanés produits par la vidéo. Des conditions de vagues très calmes sont choisies, avec des vents faibles et un marnage faible afin de comparer des situations pour lequel le niveau d'eau est stable et peu perturbé par les conditions météo-marines.

Un total de 252 traits de côte instantanés a ainsi été sélectionné. L'erreur de positionnement de ces traits de côte est de l'ordre de 5 m, ce qui correspond à l'erreur d'un levé classique par GPS. Une fois positionnés sur les images vidéo, les coordonnées de ces traits de côte ont été converties dans le système RGF93/Lambert 93. Les traits de côte annuels, correspondant à la situation estivale de chaque année, sont présentés sur l'illustration 17.

#### **4.2.1. Amplitude pluriannuelle de la position du trait de côte**

La superposition de ces nombreux traits de côte (cf. Illustration 17) ne permet pas d'analyser la vitesse d'érosion, mais elle donne une évaluation de l'amplitude des déplacements du trait de côte lors du suivi. Cette amplitude des déplacements n'est pas homogène le long du site. Ainsi, elle atteint 30 à 40 m au NE de la zone, alors qu'elle n'est que de 20 à 30 m au SW. On retrouve donc bien une mobilité beaucoup plus forte au NE qui a connu un recul important du trait de côte lors des dernières décennies (Certain, 2002 ; Gervais, 2012).

Lors de la période récente (2017-2020) ; on note que la mobilité du trait de côte dans la zone protégée par l'atténuateur est faible (de l'ordre de 10 m) alors qu'elle demeure plus importante dans le secteur sud non protégé (de l'ordre de 15m). La différence de mobilité sur la période courte résulte principalement de l'effet du rechargement de 2015 qui avait entraîné une forte avancée de la plage dans le secteur protégé.

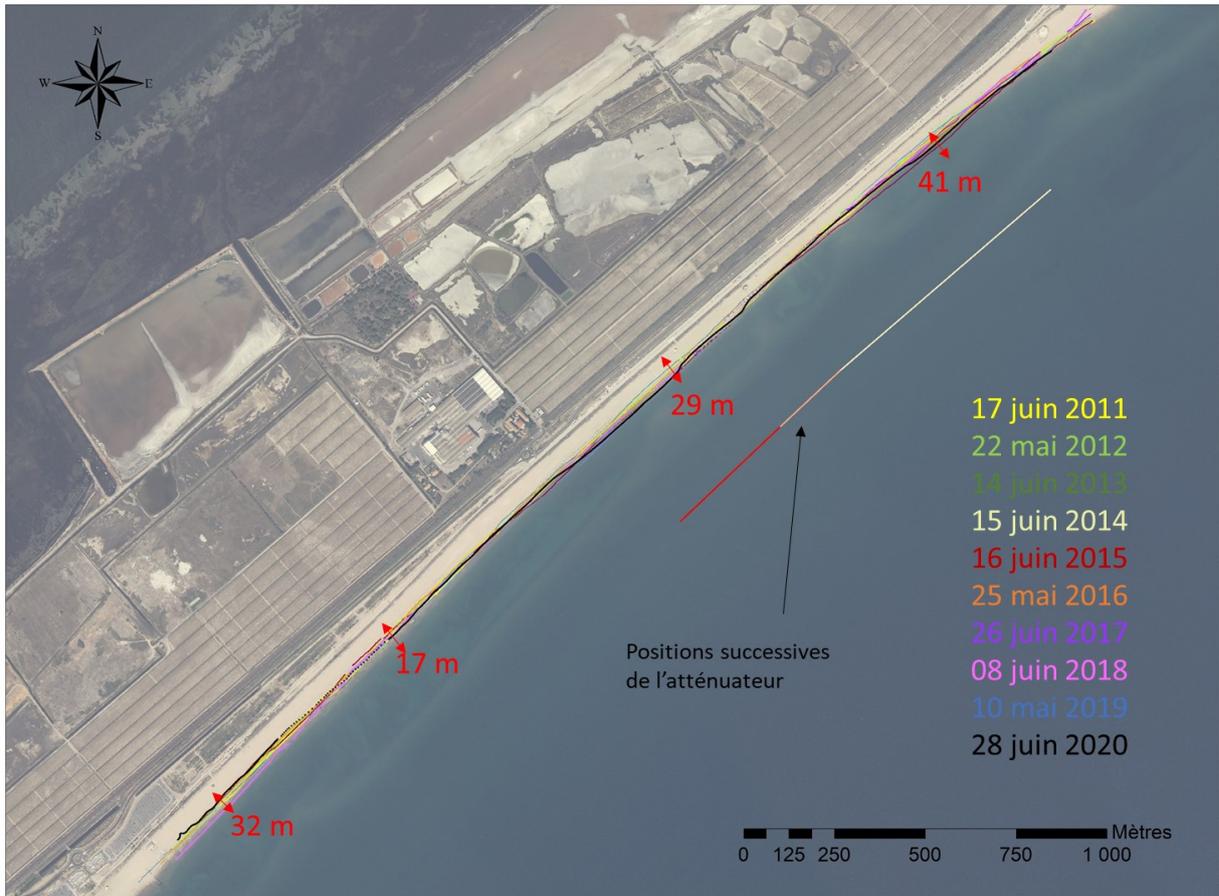


Illustration 17 – Superposition des traits de côte estivaux de 2011 à 2020 sur l'ortholittorale 2011. Sont indiqués sur différents secteurs de la plage, les amplitudes maximales des mouvements enregistrés en mètres.

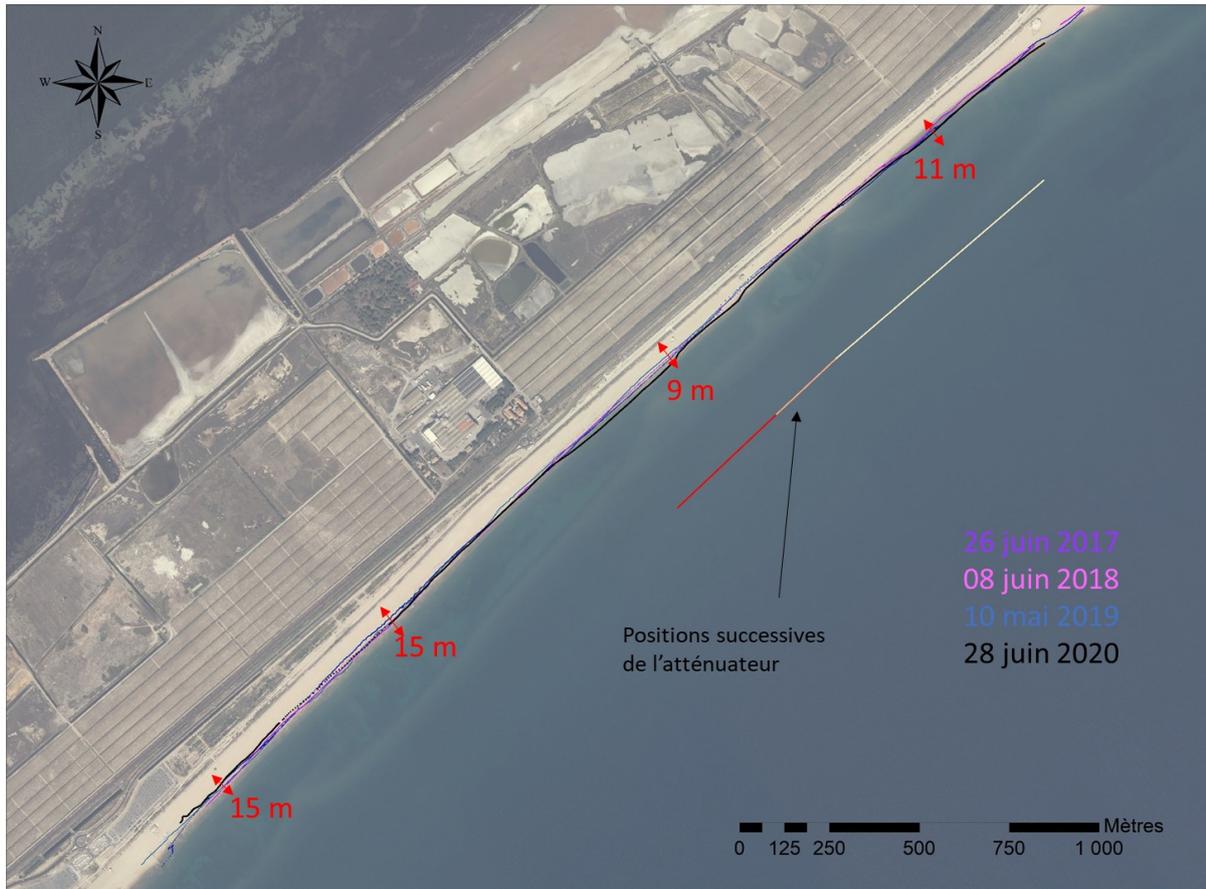


Illustration 18 - Superposition des traits de côte de 2017 à 2020 sur l'ortholittorale 2011. Sont indiqués sur différents secteurs de la plage les amplitudes maximales des mouvements enregistrés en mètres.

#### 4.2.2. Evolution temporelle de la position du trait de côte

La position estivale du trait de côte présente une certaine stabilité de tendance. Sur la période 2011-2020, le trait de côte est en avancée dans le secteur protégé (avec une avancée de 20 m dans le secteur où l'atténuateur est présent depuis 2013). Le littoral adjacent non protégé au SO est en recul modéré (environ 1 m /an à proximité des trois digues).

Sur la période récente, la vitesse d'avancée est toujours forte dans le secteur protégé (plus de 2 m par an) et elle concerne également le secteur qui fait face à l'extension de l'atténuateur (cf. illustrations 19 et 20). Au SO, dans le secteur adjacent, le recul est assez fort (de 1 à plus de 3 m par an en moyenne).

Ces évolutions ne sont évidemment pas linéaires dans le temps. On observe, des variations saisonnières, des variations événementielles et des variations liées aux aménagements. L'illustration 21 présente l'évolution temporelle de la position du trait de côte le long de profils transverses situés dans le secteur protégé par l'atténuateur (courbes vertes à jaunes), et dans la zone adjacente non protégée (courbes du gris au bleu clair).

Dans le secteur qui fait face à l'atténuateur, on note une avancée moyenne du trait de côte depuis la fin 2018. Les tempêtes entraînent un recul temporaire qui peut atteindre plus de 20 m par endroits, mais la récupération de la plage est très bonne et le trait de côte retrouve sa position initiale après quelques jours.

Le profil gris est situé à l'extrémité SO de l'atténuateur et on observe une inversion de tendance depuis la fin 2019. Le recul lent mais continu a laissé place à une avancée relativement rapide du trait de côte.

Dans la zone adjacente plus au SO, l'amplitude des reculs lors des tempêtes est légèrement plus importante et on observe une poursuite du recul moyen malgré là aussi une bonne récupération de la plage en post-tempête.

Les reculs événementiels sont variables d'un secteur à l'autre, ce qui s'explique notamment par la direction de provenance des houles et à la succession rapide de certains coups de mer qui laisse peu de temps de récupération à la plage.

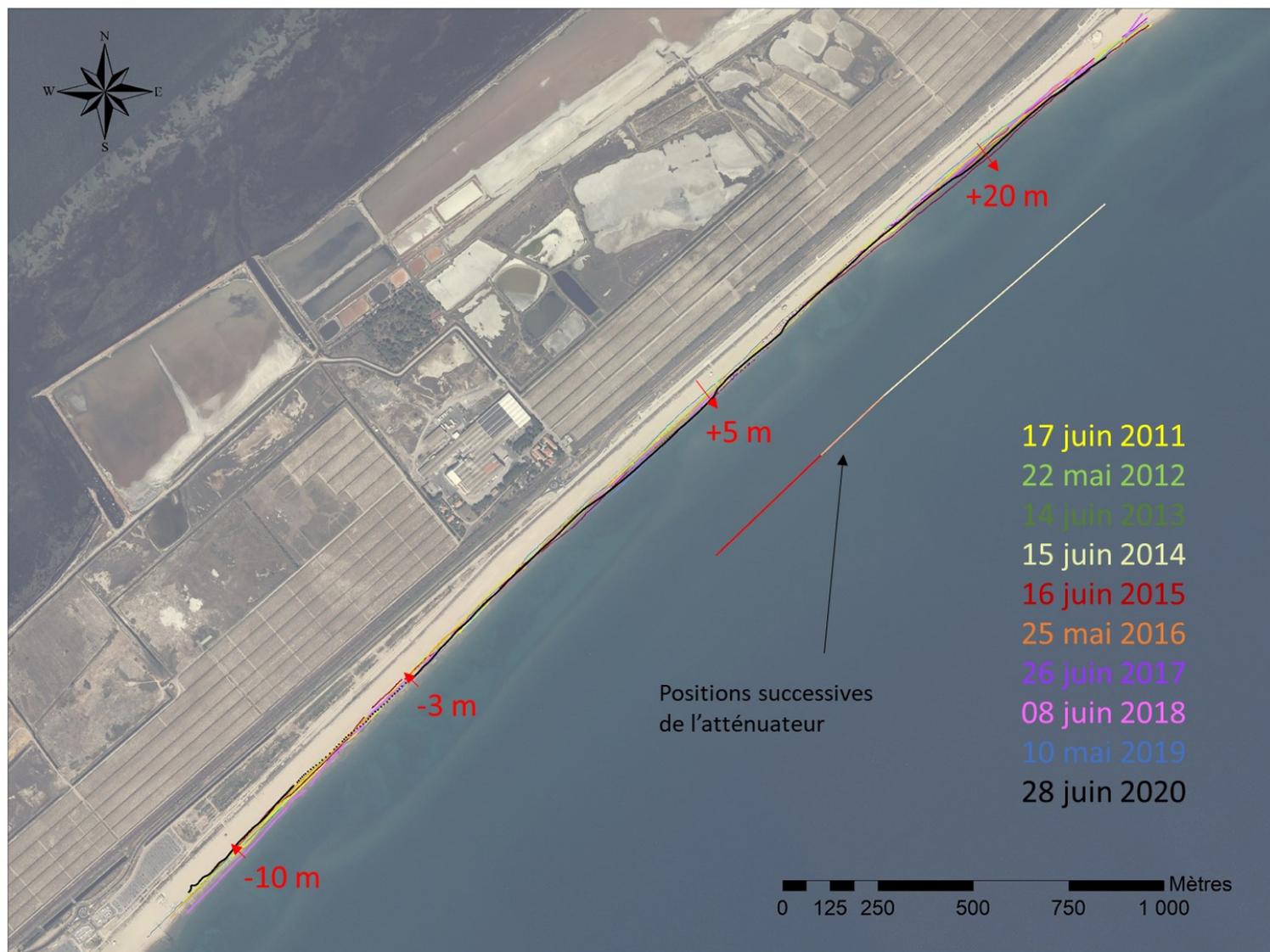


Illustration 19 – Position respective des traits de côte entre 2011 et 2020. Les valeurs en rouge indiquent le mouvement résultant (en m).

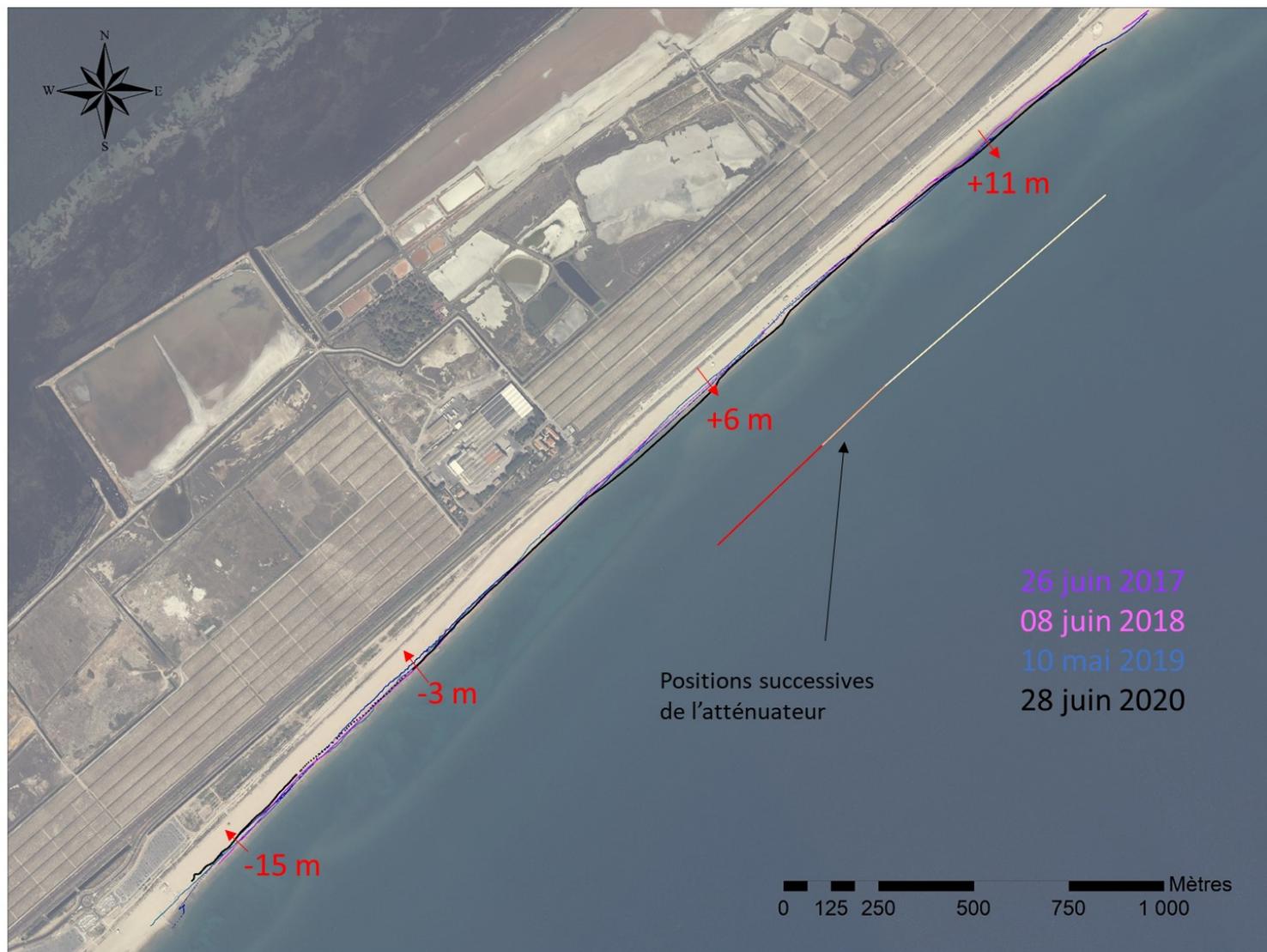


Illustration 20 – Position respective des traits de côte entre 2017 et 2020. Les valeurs en rouge indiquent le mouvement résultant (en m).



Illustration 21 – Evolution temporelle de la position du trait de côte sur des profils transverses dans la zone située derrière l’atténuateur et dans la zone adjacente non protégée au SO. La série temporelle des hauteurs de vagues au large est représentée en dessous pour localiser les événements de tempêtes.

## 4.3. EVOLUTION DES BARRES D'AVANT-COTE

### 4.3.1. Evolution générale

Comme cela a été illustré dans le rapport de suivi précédent (Balouin *et al.*, 2016), la forme de la barre d'avant-côte joue un rôle important sur la dynamique du trait de côte et la compréhension de son évolution est primordiale pour comprendre et anticiper les évolutions futures.

La dynamique de cette barre a considérablement été modifiée par le déploiement de l'atténuateur en 2013 (cf. Illustration 22 et Illustration 23). On est passé d'une barre tridimensionnelle, caractérisée par la présence de croissants, formant un angle important avec la côte à une barre linéaire, parallèle à la côte et parallèle à l'atténuateur.

Cela s'est produit par la rotation de la barre interne qui s'est éloignée de la côte dans le secteur nord-est, jusqu'à la tempête de décembre 2013 lors de laquelle la barre s'est scindée en deux. La partie sud-ouest a alors poursuivi sa migration vers le large tandis que la partie nord-est se stabilisait. Une nouvelle barre s'est ensuite formée à la côte au sud-ouest. Elle s'est accolée à la barre du nord-est et a commencé sa migration vers le large (cycle de NOM, Net Offshore Migration).

L'extension de l'ouvrage ne semble pas avoir modifié cette différence de comportement entre les zones protégée/non protégée. La barre garde une position moyenne stable face à l'atténuateur alors qu'elle poursuit sa migration vers le large dans le secteur adjacent.

Cette évolution a fait apparaître un point d'inflexion net dans la forme de la barre entre les deux zones, la barre dans la zone non-protégée se situant à plus de 100 m plus au large que dans le secteur protégé. Au fur et à mesure de l'extension de l'atténuateur, on a observé une migration vers le SO de ce point d'inflexion qui reste globalement positionné face à l'extrémité SO de l'atténuateur.

Toutefois, entre 2018 et 2020, ce point d'inflexion semble s'être plus ou moins stabilisé en position (cf. illustration 24). Le comportement observé est alors un raidissement de la zone de transition entre les deux secteurs. Ce raidissement, qui fait suite à une migration rapide de la barre vers le large dans la zone protégée est lié au cycle NOM et va se traduire par une rupture de la barre et la génération d'une nouvelle barre proche de la côte comme cela a déjà été observé en 2013. Cette dynamique s'observe déjà sur les images rectifiées du printemps 2020 (cf. illustration 26). Cette évolution n'est pas sans conséquence pour la plage car la génération d'une nouvelle barre se traduit généralement par une diminution du stock sédimentaire de la plage émergée qui vient former cette nouvelle morphologie de barre.

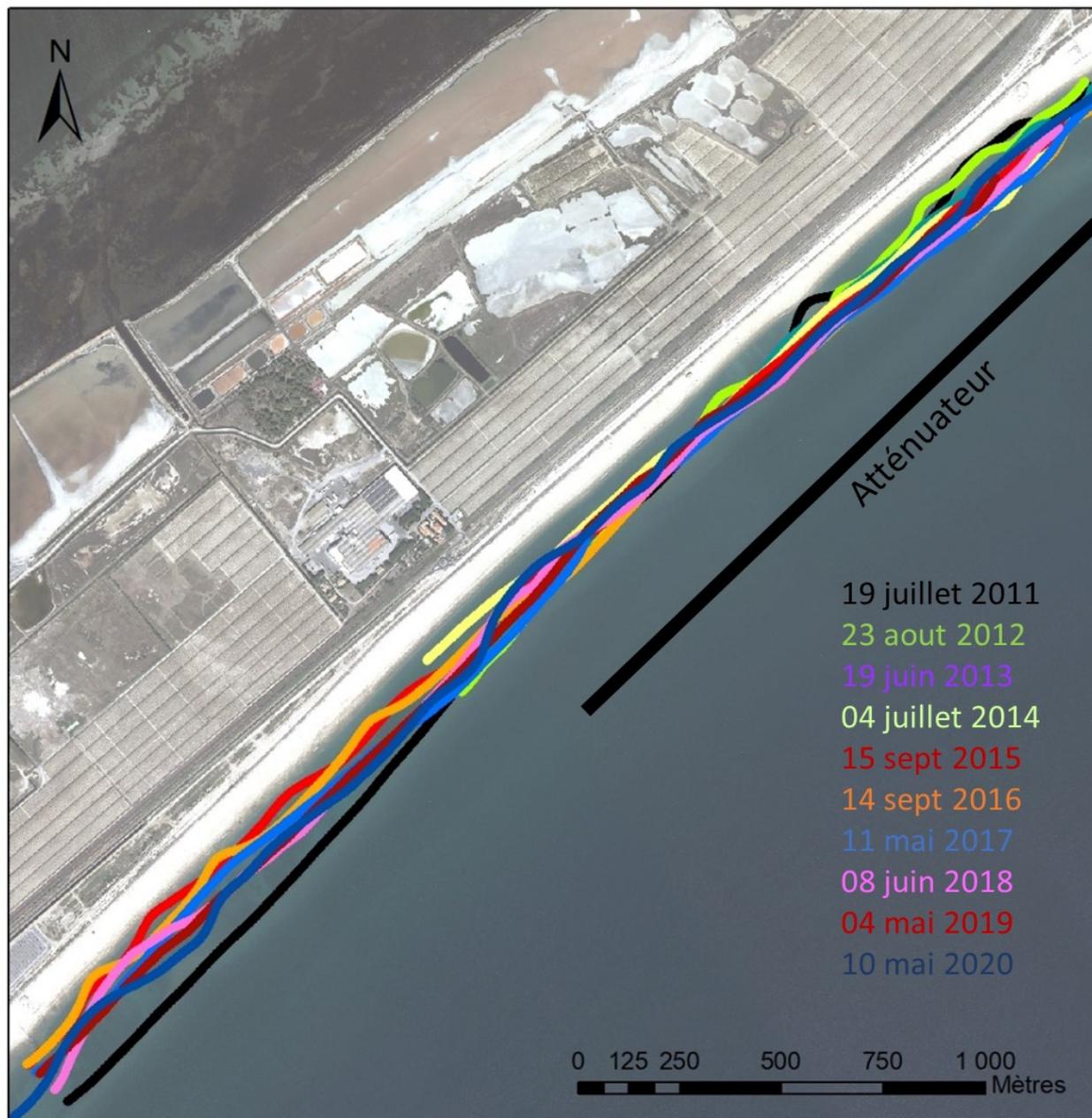


Illustration 22 - Position estivale de la crête de barre interne de 2011 à 2020.

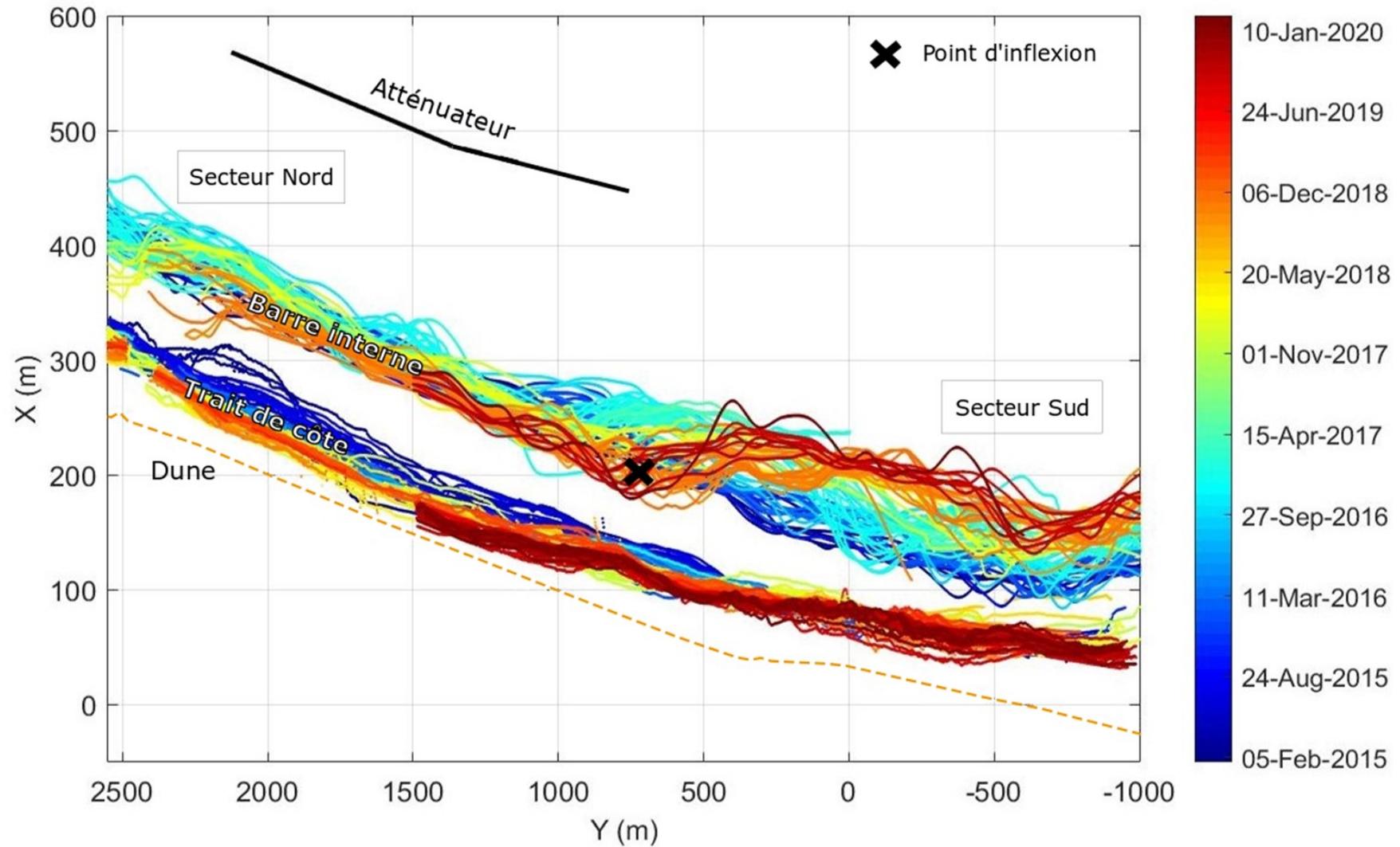


Illustration 23 – Evolution de la position des barres et du trait de côte de 2015 à 2020 (dans le référentiel Argus).

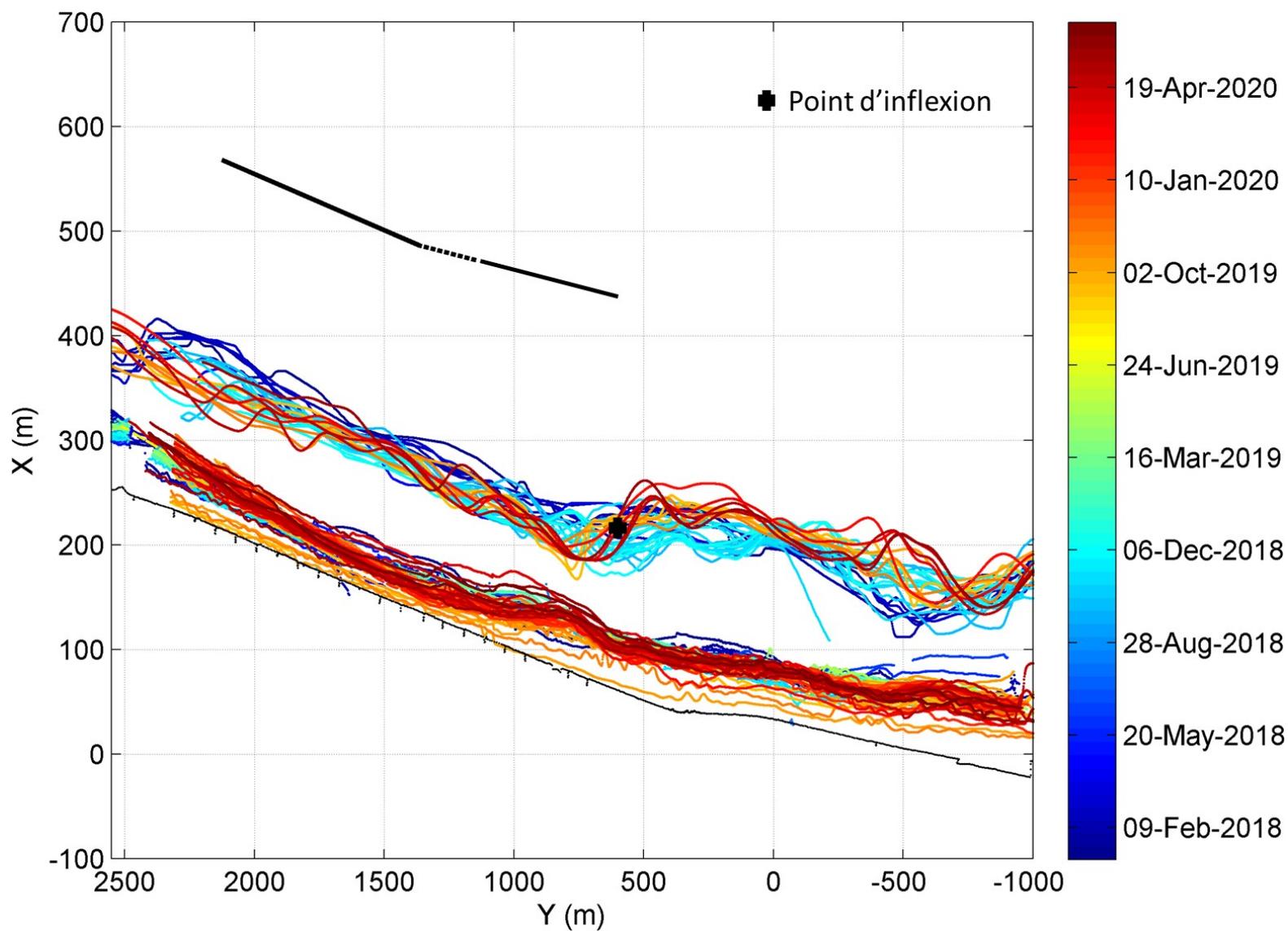


Illustration 24 – Evolution de la position des barres et du trait de côte e 2018 à 2020 (dans le référentiel Argus).

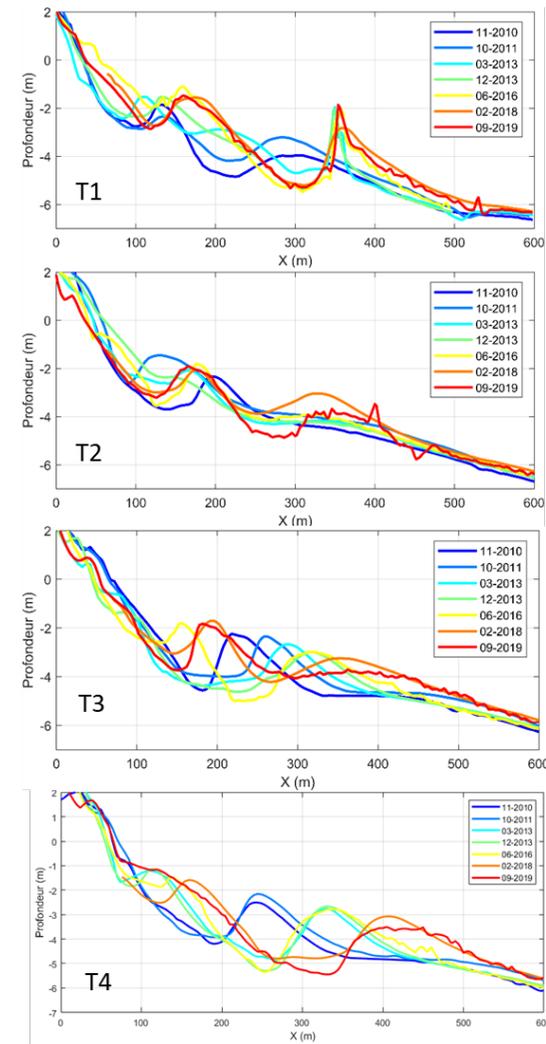
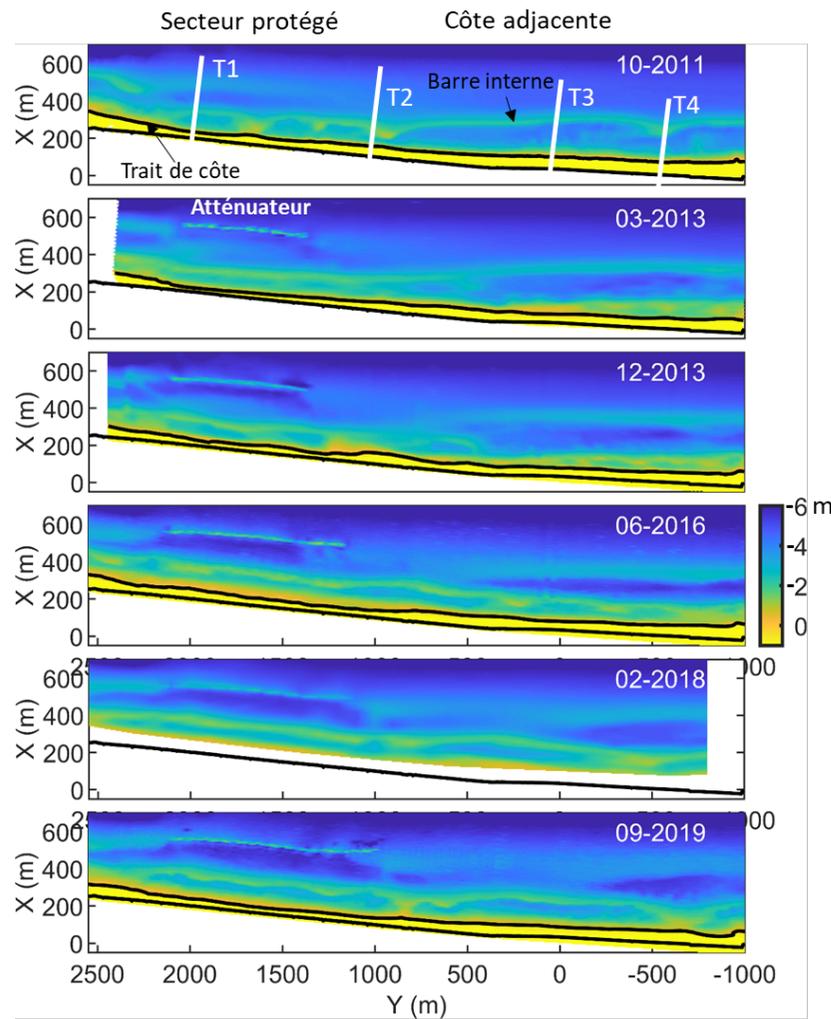


Illustration 25 – Evolution bathymétrique de 2011 à 2019 (données DREAL et Sete Agglopoie) : à gauche : modèles numériques de terrain ; à droite : profils transverses T1 à T4.



Illustration 26 : Images rectifiées illustrant l'évolution de la position de la barre interne de 2018 à 2020.

#### 4.3.2. Evolution bathymétrique

Le suivi bathymétrique réalisé par Sète Agglopôle Méditerranée (cf. illustration 25) confirme ces observations par vidéo (Illustration 25). Dans la zone protégée (profil T1), la position de la barre reste stable et présente une augmentation de volume significative entre 2016 et 2018. Le creusement au pied de l'atténuateur, très marqué entre 2013 et 2016 semble s'être stabilisé, ce qui résulte probablement de la mise à nu de la roche (beach-rock) dans ce secteur, comme cela a pu être constaté en plongée en 2018.

Sur le profil T2, situé à l'extrémité sud-ouest de la position actuelle de l'atténuateur (et donc non protégé jusqu'en 2019), on note que le cycle de migration vers le large s'est interrompu et la position reste stable depuis 2018.

Dans la zone adjacente non protégée (profil T3 et T4), le cycle de migration vers le large est très actif, et on note l'émoussement progressif de la barre à environ 400 du pied de dune, ainsi

que l'apparition d'une nouvelle barre moins volumineuse à proximité de la côte (à environ 160 m du pied de dune).

La bathymétrie de septembre 2019 montre que la génération de cette nouvelle barre s'initie principalement en 2 points du littoral : l'un à l'extrémité de l'atténuateur (Y = -900m) et l'autre à proximité des trois digues (Y= 650 m).

Le différentiel bathymétrique entre 2018 et 2019 montre que les variations volumétriques sont très faibles et que ces évolutions se font à volume sédimentaire constant sur l'ensemble du secteur (en incluant la topographie émergée et la plage sous-marine).

#### 4.4. EVOLUTION DU LITTORAL LORS DES TEMPETES DES HIVERS 2018-2019 ET 2019-2020

##### 4.4.1. La tempête du 14 au 16 Octobre 2018

###### a) Caractérisation de l'évènement

L'illustration 27 présente les caractéristiques de cet évènement survenu du 14 au 16 Octobre 2018.

Le niveau d'eau maximal atteint dans le port de Sète est de 0,75 m NGF lors de la journée du 15 octobre. Le pic de vagues, d'assez courte durée, est observé le 15 octobre, avec des hauteurs significatives de la houle atteignant 4,8 m au large. La direction de provenance de la houle est ESE, soit quasi-frontale à la côte. La période de la houle atteint 8 s.

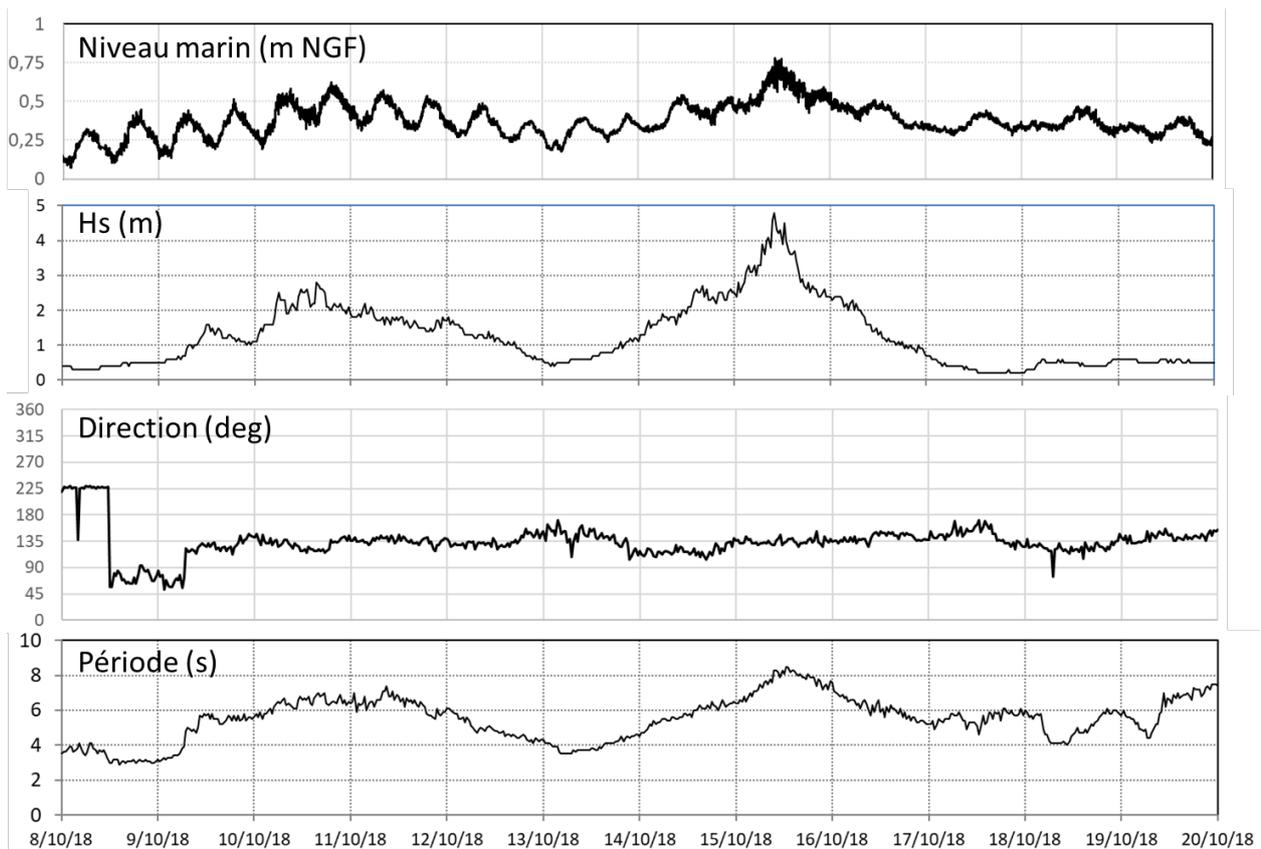


Illustration 27 : Paramètres hydrodynamiques mesurés lors de la tempête du 14 au 16 octobre 2018 (données Candhis et Refmar).

Au pic de la tempête, l'eau recouvre la quasi-totalité de la plage et le jet de rive atteint la ganivelle du pied de dune (cf. illustration 28).

15/10/2018 08h

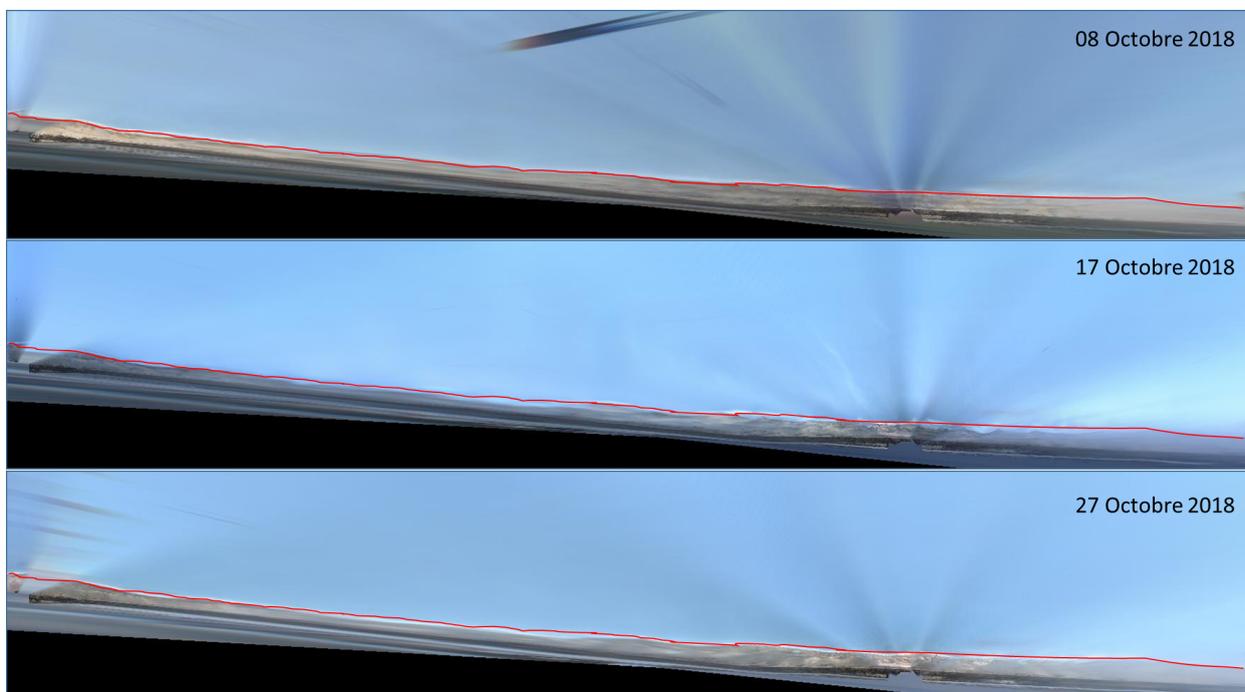


Hs = 4,8 m

*Illustration 28 : Images des caméras 6, 5 et 1 illustrant l'inondation quasi-totale de la plage lors de l'événement du 15 Octobre 2018.*

### **b) Evolution du trait de côte**

Comme cela a pu être observé sur l'évolution temporelle du trait de côte (cf. illustration 23), la tempête d'octobre 2018 a entraîné un recul provisoire du trait de côte de l'ordre de 20-25 m, étant plus prononcé dans le secteur non protégé par l'atténuateur. Toutefois, le retour à la position initiale (cf ; illustration 21 et 29) est rapide et quasi-complet. Le 17 octobre 2018, on note une position en retrait dans 2 secteurs : à l'extrémité SE de l'atténuateur et dans la zone plus proche des trois digues. Quelques jours après (cf image du 27 octobre, illustration 29), le retour à la position initiale est effectif sur la totalité de secteur suivi.



*Illustration 29 : Images rectifiées avant et après la tempête du 15 octobre 2018. La ligne rouge indique la position du trait de côte le 8 octobre 2018.*

#### **4.4.2. La tempête du 20 au 26 Avril 2019**

La tempête du 20 au 26 avril 2019 n'est pas un événement majeur, mais elle a entraîné des dégâts sur certains établissements de plage du Lido de Sète à Marseillan, notamment au niveau de l'accès 35 situé au droit de l'atténuateur de houle.

A la demande de Sète Agglopôle Méditerranée, une analyse spécifique de cet événement a donc été réalisée pour évaluer son impact, notamment en terme de submersion marine, dans la zone du Lido protégée par l'atténuateur de houle. Les observations réalisées par vidéo pendant l'événement, ainsi que les données relatives à l'hydrodynamique et la météorologie sont analysées pour évaluer plus précisément les effets de la tempête sur la plage du Lido.

##### **a) Caractérisation de l'évènement**

L'illustration 30 présente les caractéristiques de cet événement survenu du 20 au 26 avril 2019.

Le niveau d'eau maximal atteint dans le port de Sète est de 0,55 m NGF lors de la soirée du 23 avril. Un premier pic de vagues est observé le 22 avril, avec des hauteurs significatives de la houle atteignant 2,8 m au large. Un second pic, plus long, est observé les 24 et 25 avril, avec des hauteurs de vagues au large de l'ordre de 3 m. Le premier coup de mer avait une direction frontale, alors que le second avait une approche beaucoup plus oblique (houle provenant du secteur sud). De même, la période de la houle était légèrement plus élevée lors du premier coup de mer, atteignant 8 s.

D'un point de vue statistique sur les hauteurs de vagues, cet événement atteint juste le seuil de tempête estimé à 3 m le long du littoral héraultais. Il reste très inférieur à la tempête annuelle dont la hauteur de vague est estimée à 4,6 m.

On note qu'un événement similaire en terme de niveau d'eau et de hauteurs de vagues a eu lieu le 6 avril 2019.

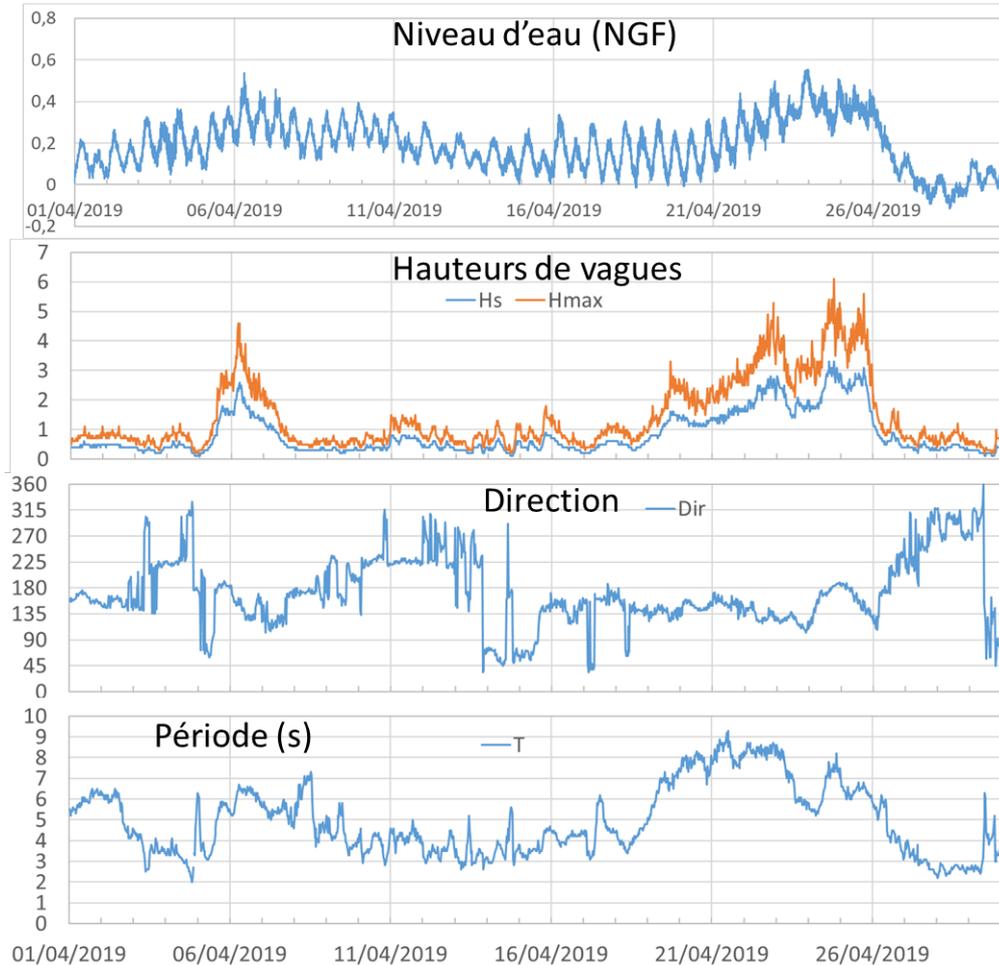
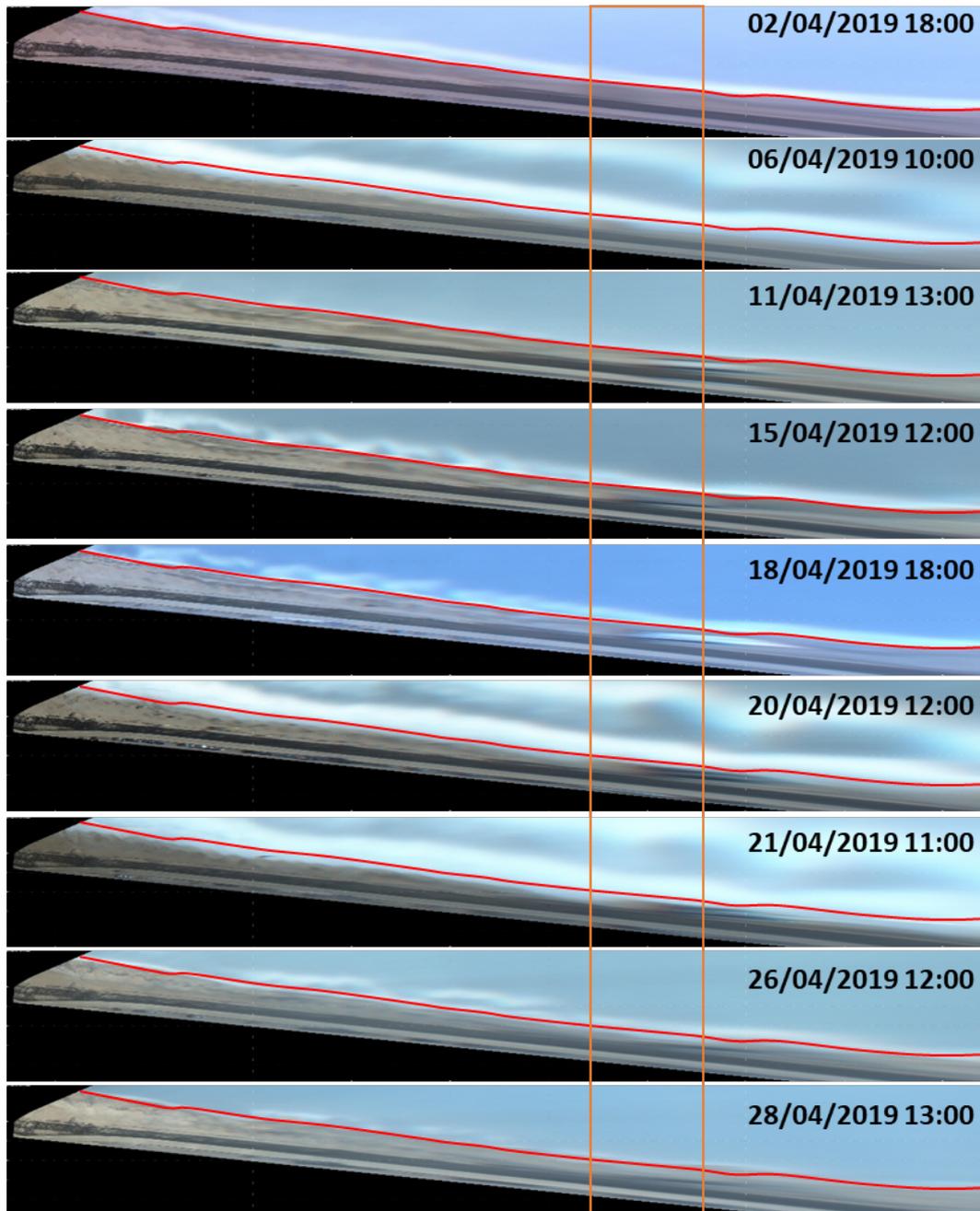


Illustration 30 – Paramètres hydrodynamiques mesurés lors de la tempête du 20 au 26 avril 2019 (données Candhis et Refmar).

## b) Evolution du trait de côte

L'illustration 31 présente les images rectifiées du secteur nord-est de la plage du Lido (1800 m à partir du mât Est situé à la pointe du triangle de Villeroy) pendant le mois d'avril 2019. On note une inondation partielle de la plage pendant le coup de mer du 6 avril, avec toutefois, une position du trait de côte qui revient à sa position initiale après ce premier événement (cf. position du 11 avril). A partir du 20 avril, les conditions d'agitation augmentent, comme en témoignent les zones blanches correspondant aux zones de déferlement des vagues. L'inondation de la plage est variable le long du Lido : face à Villeroy, elle reste limitée, alors que dans le secteur des établissements de plage, l'extension de l'inondation couvre une grande partie de la plage, n'atteignant toutefois pas le pied des ganivelles. En terme de position du trait de côte, on note que le 28 avril, la plage regagne totalement sa largeur initiale dès que le niveau de surcote diminue.



*Illustration 31 – Images recitifiées du secteur nord-est du lido de Sète pendant le mois d’avril 2019. La ligne rouge indique la position du trait de côte début avril. Le rectangle orange désigne le secteur sur lequel des dégâts ont été constatés dans les établissements de plage.*

On note (cf illustration 32) que dans le secteur où des dégâts ont été constatés, la barre forme une morphologie tridimensionnelle en croissant et est située un peu plus au large que sur les littoraux adjacents. On note aussi une diminution de l’atténuation du géotextile (zone moins blanche qui atteste d’un déferlement moins prononcé sur l’ouvrage). Ces éléments peuvent avoir contribué à l’arrivée sur la plage dans ce secteur de vagues légèrement plus énergétiques que sur les littoraux adjacents. Toutefois, la diminution de largeur de plage pendant cet événement reste limitée face à l’atténuateur (laisse de mer à la moitié de la largeur de plage) alors que l’inondation dans le secteur non protégé (cf illustration 33, à droite) est plus marquée, le jet de rive ayant atteint les ganivelles du pied de dune.

Les variations morphologiques constatées lors de cet événement sont cohérentes avec les conditions hydrodynamiques mesurées au large, et c'est probablement uniquement l'occurrence tardive de ce coup de mer (fin avril), juste après l'installation des établissements de plage, qui explique les dégâts observés.

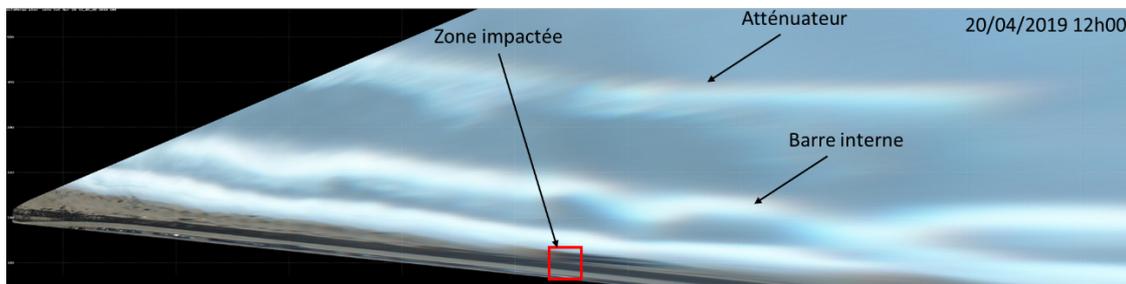


Illustration 32 – Image rectifiée du 20 avril 2019 montrant la forme de la barre interne au montant de la tempête.



Illustration 33 – Images des caméras 5 (à droite) et 6 (à gauche) illustrant respectivement les positions des lasses de mer de la tempête (ligne rouge) dans le secteur non protégé (à droite) et protégé (à gauche) par l'atténuateur.

#### 4.4.3. La tempête du 23 au 24 Octobre 2019

##### a) Caractérisation de l'évènement

L'illustration 34 présente les caractéristiques de cet événement survenu du 23 au 24 Octobre 2019.

Le niveau d'eau maximal atteint dans le port de Sète est de près de 0,9 m NGF lors de la journée du 23 octobre. Le pic de vagues est observé le 15 octobre, avec des hauteurs significatives de la houle atteignant 4,5 m au large. La direction de provenance de la houle est E-SE, soit quasi-frontale. La période de la houle atteint 10 s.

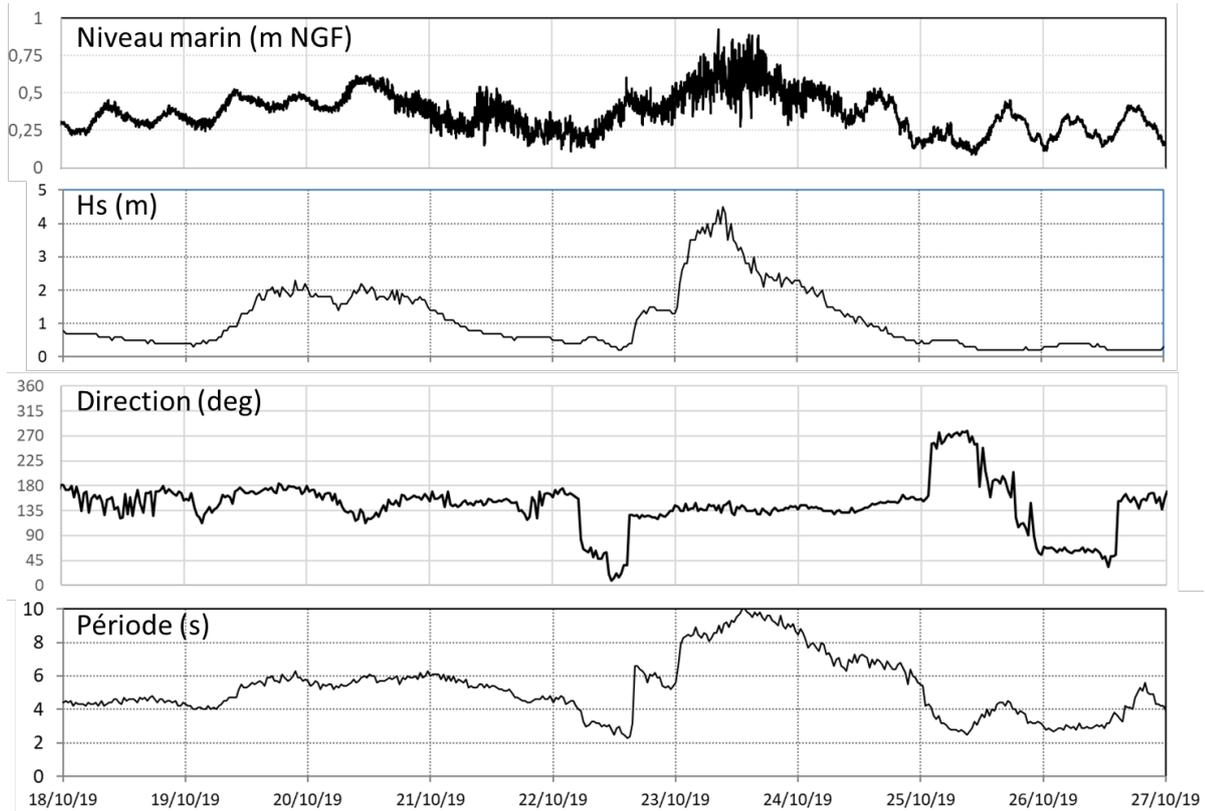


Illustration 34 : Paramètres hydrodynamiques mesurés lors de la tempête du 23 au 24 octobre 2019 (données Candhis et Refmar).

Au pic de la tempête, l'eau recouvre la quasi-totalité de la plage et le jet de rive atteint le pied de dune (cf. illustration 35).

23/10/2019 9h

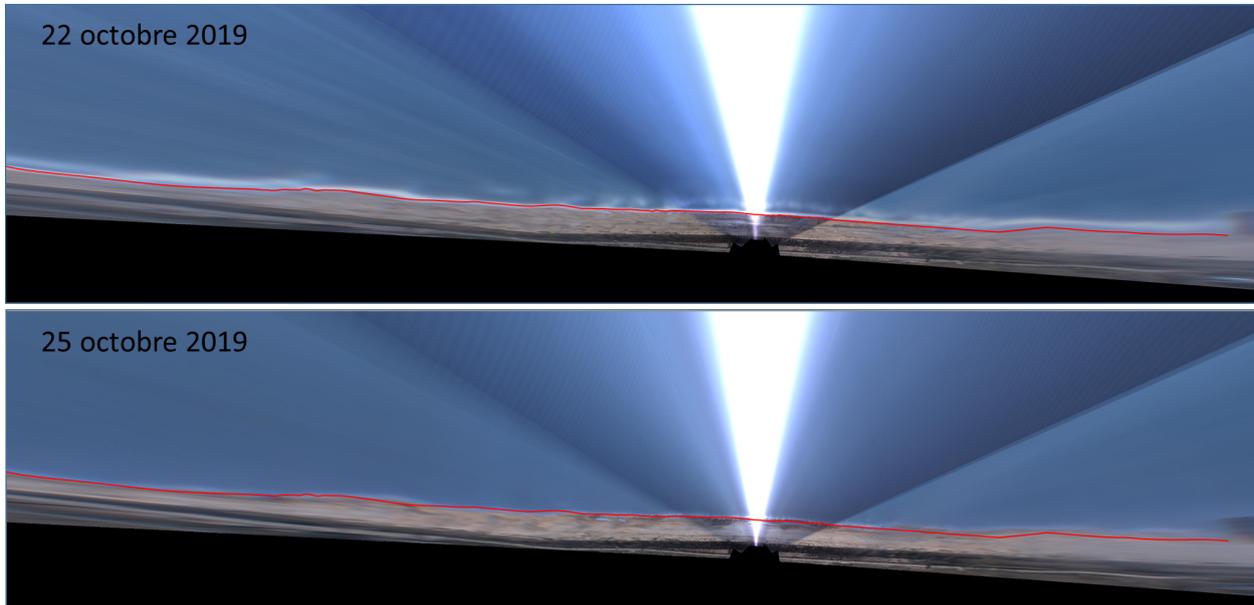


Hs = 4,5 m

Illustration 35 : Images des caméras 5 et 1 illustrant l'inondation quasi-totale de la plage lors de l'événement du 23 Octobre 2019.

## b) Evolution du trait de côte

Le recul instantané pendant cette tempête a été assez important (plusieurs dizaines de mètres, cf. illustration 21). Toutefois, la récupération de la plage est très rapide et le 25 octobre, 2 jours après le pic, le trait de côte a retrouvé sa position initiale (cf. illustration 36).



*Illustration 36 : Images rectifiées avant et après la tempête du 23 octobre 2019. La ligne rouge indique la position du trait de côte le 22 octobre 2019.*

Même si le niveau d'eau était relativement élevé et le jet de rive a atteint le pied de dune, aucun franchissement du cordon dunaire n'a été constaté.

### 4.4.4. La tempête du 19 au 20 Décembre 2019

#### a) Caractérisation de l'évènement

L'illustration 37 présente les caractéristiques de cet événement survenu du 20 décembre 2019.

Le niveau d'eau maximal atteint dans le port de Sète est de près de 0,6 m NGF lors de la journée du 20 décembre. Le pic de vagues est observé le 20 décembre, avec des hauteurs significatives de la houle atteignant 4,3 m au large. La direction de provenance de la houle est Sud. La période de la houle atteint 8 s. On note l'occurrence d'un coup de mer d'E-SE les 16 et 17 décembre susceptible d'avoir déjà érodé la plage.

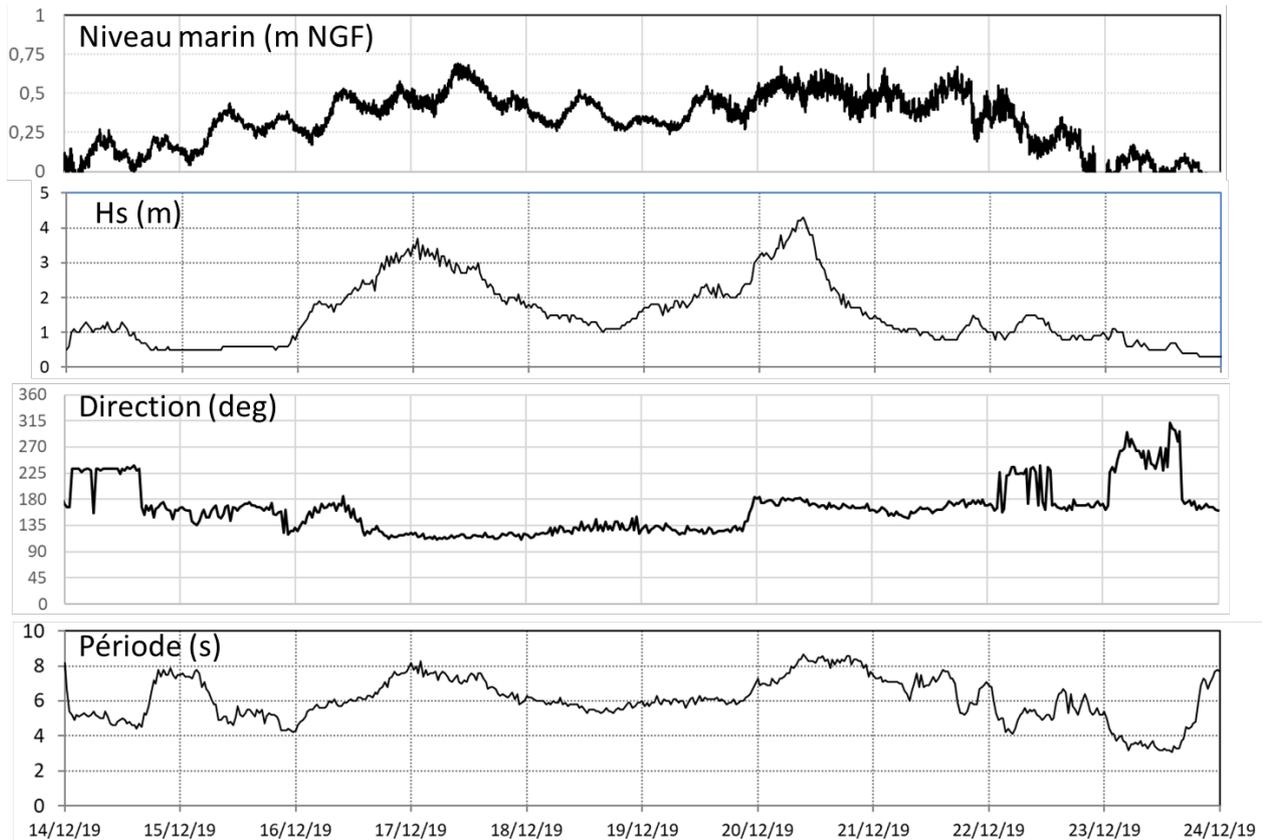
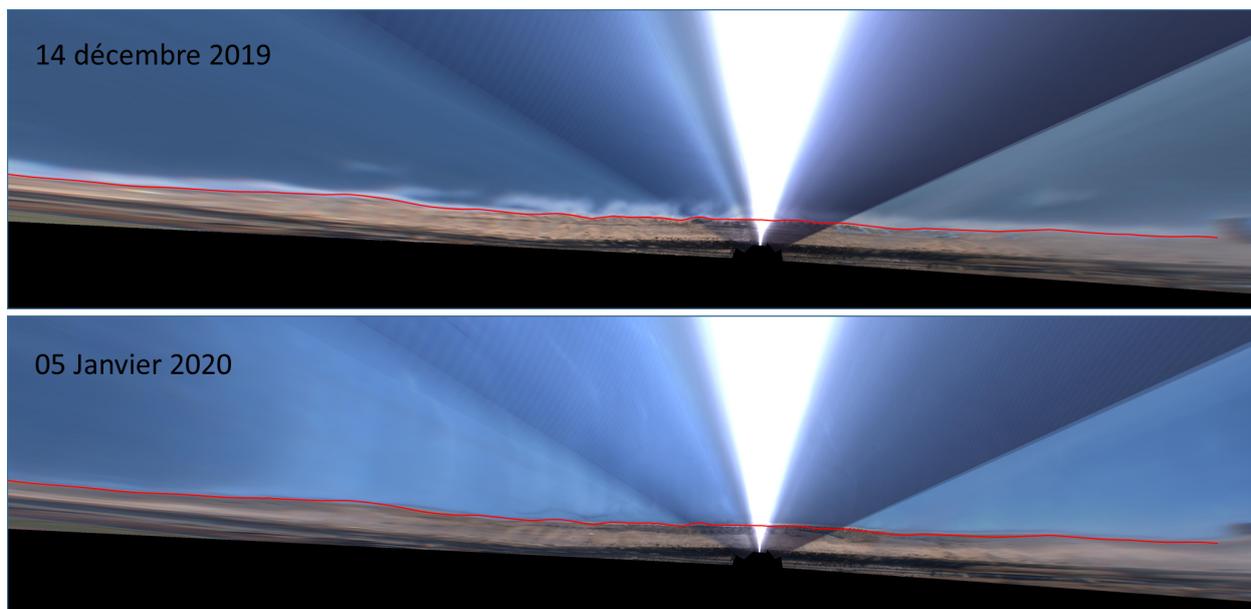


Illustration 37 : Paramètres hydrodynamiques mesurés lors de la tempête du 20 décembre 2019 (données Candhis et Refmar).

### b) Evolution du trait de côte

Un dysfonctionnement dans l'acquisition des images des caméras implique que très peu d'images vidéo sont disponibles pour caractériser les évolutions de la plage du Lido pendant cet événement. Toutefois, les données acquises avant et après l'événement montrent que, si le recul temporaire a probablement été fort, la plage a très bien récupéré (cf. illustration 38) et on note même suite à cette tempête une avancée du trait de côte sur la quasi-totalité du site (cf. illustration 21).



*Illustration 38 : Images rectifiées avant et après la tempête du 20 décembre 2019. La ligne rouge indique la position du trait de côte le 14 décembre 2019.*

## 5. Conclusions sur les évolutions observées et les effets de l'atténuateur de houle sur le littoral du Lido

### 5.1. SYNTHÈSE DES ÉVOLUTIONS OBSERVÉES DE 2011 A 2020

Le suivi réalisé depuis 2011 a permis de caractériser finement les évolutions du Lido de Sète avant et après l'installation des ouvrages de défense. Si les évolutions majeures ont été observées en 2013-2014 après l'installation de l'atténuateur, les observations récentes permettent d'améliorer la compréhension de la dynamique, et en particulier la différence de comportement entre la zone NE et la zone SO.

Les différentes conclusions sur l'évolution morphodynamique de la plage du lido de Sète de la période 2011-2020 sont présentées sur l'illustration 39.

Période	Tendance		Observations
<b>Juin 2019 – Juin 2020</b>	Zone protégée par l'atténuateur	Extension de la zone stabilisée au fur et à mesure de l'extension de l'atténuateur	Stabilisation du point d'inflexion provoquant la rupture de la barre au niveau de l'extrémité SO de l'atténuateur
	Zone adjacente	Recul lent mais continu du trait de côte, migration de la barre interne vers le large	Migration vers le large qui se poursuit avec apparition d'une nouvelle barre proche de la côte
<b>Juin 2017 – Juin 2019</b>	Zone protégée par l'atténuateur	Extension de la zone stabilisée au fur et à mesure de l'extension de l'atténuateur	Migration vers le SO du point d'inflexion ; légère avancée du trait de côte estival
	Zone adjacente	Recul lent mais continu du trait de côte, migration de la barre interne vers le large	Le recul du trait de côte se poursuit, mais correspond à l'évolution naturelle de ce secteur en lien avec la migration de la barre vers le large (phénomène cyclique)
<b>Juin 2016 - Juin 2017</b>	Zone protégée par l'atténuateur	Tend vers une stabilisation du trait de côte et des barres avec une variabilité saisonnière	Création d'une barre interne proche de la côte dans la zone NE + recul du TDC
	Zone adjacente	Stabilisation du trait de côte, migration globale des barres vers le large	Migration transversale forte d'une partie de la barre interne dans la zone SO + accrétion (mât Ouest) ; migration longitudinale d'une sinuosité + recul du TDC (zone Y800)
<b>Novembre 2014 – Juin 2016</b>	Avancée forte du trait de côte de 50 m puis recul de 20 m (zone atténuateur)		Rechargement + avancée globale du trait de côte de 30m pour la zone NE et 5m pour la zone SO

		L'éloignement vers le large de la barre au SO entraîne le recul du trait de côte
<b>Mars 2013 – Novembre 2014</b>	Avancée du trait de côte de 10m environ face à l'atténuateur	Pose atténuateur + avancée du trait de côte (zone protégée) + linéarisation et rotation de la barre interne face à l'atténuateur
<b>Janvier 2011 – Mars 2013</b>	Recul constant du trait de côte d'environ 5m/an	Périodes de recul important (plus de 10m de recul)

*Illustration 39 : Bilan de l'évolution du littoral du Lido de Sète depuis 2011.*

La mise en place de l'atténuateur a fortement modifié la morphodynamique du site, que ce soit derrière le géotextile ou sur la zone adjacente.

Dans son état initial (Illustration 40), le trait de côte présentait des sinuosités marquées, en miroir avec les barres d'avant-côte en croissant. La barre d'avant-côte formait un angle important avec le trait de côte, s'éloignant de la côte vers le SO. En conséquence, dans la partie nord-est du Lido, la dynamique de la plage était fortement contrainte par celle de l'avant-côte. Cette dynamique se caractérisait par une migration des morphologies sous l'effet des houles, avec un mouvement résultant vers le sud-ouest. Lors des tempêtes les plus violentes, les barres pouvaient migrer rapidement longitudinalement, se retrouvant en antiphasse avec les sinuosités de plage et favorisant l'apparition de points vulnérables sur la plage. Dans ces secteurs, l'atténuation naturelle de l'énergie des vagues par la barre était amoindrie, entraînant une propagation plus importante du jet de rive sur la plage, avec des dégâts sur les ganivelles et des franchissements localisés.

La mise en place du géotextile a entraîné dans un premier temps la quasi-linéarisation de la barre interne et le début de sa rotation pour se positionner parallèlement à l'ouvrage lors de la tempête de déc. 2013. En raison du fort couplage entre la plage émergée et la barre, le trait de côte a également tourné pour se mettre parallèle au géotextile et la barre, ce qui s'est traduit par une avancée de près de 15 m en face de l'ouvrage. Suite à cette rotation et linéarisation de la barre et du trait de côte, le système plage-avant-côte est resté quasi-stable.

La rotation de la barre en face du géotextile a entraîné une rupture liée à la différence de comportement entre la zone protégée et la zone non-protégée (Illustration 40). Cette rupture, liée à la rotation de la barre interne, a entraîné la migration vers le large de l'ancienne barre interne, dite résiduelle, et l'apparition d'une nouvelle barre proche de la côte. Ce mécanisme de migration, appelé NOM (Net Offshore Migration), est un phénomène classique sur le Lido de Sète, même s'il a probablement été accéléré par la rupture de barre.

Les barres et le trait de côte se sont par la suite stabilisés, formant un système complètement uniforme longitudinalement (Illustration 40). Le cycle de migration vers le large s'est poursuivi dans la zone adjacente (secteur SO) jusqu'à 2016. Ce mécanisme a entraîné le développement et la migration d'une barre interne, dont la construction a entraîné un recul temporaire du trait de côte.

Suite aux extensions successives de l'atténuateur, on observe la stabilisation progressive des nouvelles zones protégées, et la poursuite du cycle naturel NOM dans la zone adjacente. Au cours de l'année 2019, on note une avancée du trait de côte dans le secteur face à l'atténuateur, malgré des phases de recul temporaires importants lors des tempêtes. Cette avancée pourrait être due à l'augmentation du nombre de tempêtes et coups de mer de sud qui

gène une dérive littorale inverse (vers le NE) et peuvent favoriser un engraissement de la plage au NE du Lido.

Les événements de tempêtes au cours des années 2018-2019 et 2019-2020 n'ont pas engendré d'érosion importante et les phénomènes de submersion se sont généralement limités à la plage sans affecter le cordon dunaire.

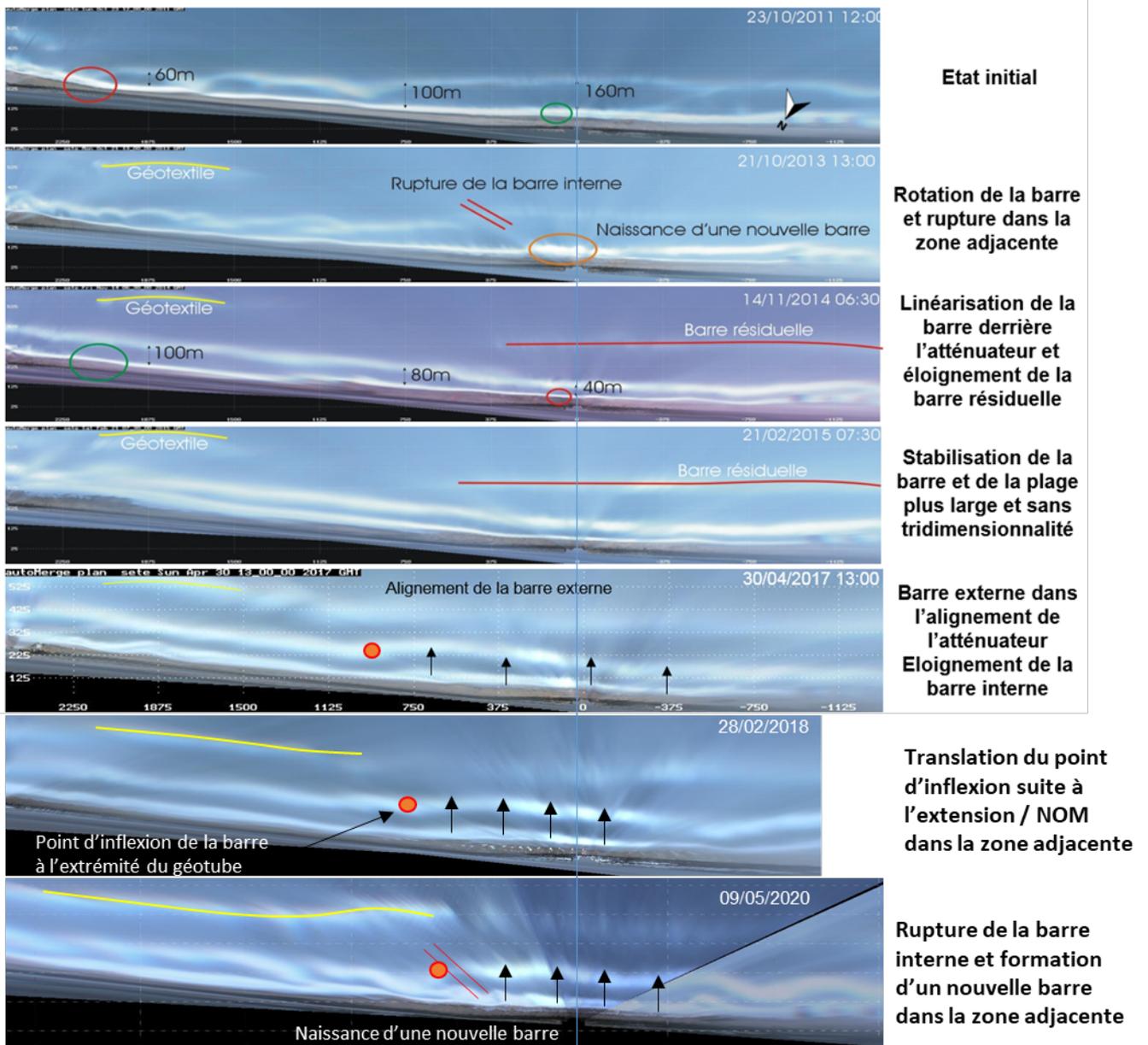


Illustration 40 – Images vidéo rectifiées illustrant l'évolution du littoral du Lido de Sète de 2011 à 2017.

## 5.2. EVALUATION DE L'EFFICACITE DE L'ATTENUATEUR

Les observations réalisées depuis 2011 à partir des levés bathymétriques et du suivi par vidéo Sète Agglopôle Méditerranée – BRGM sur le lido de Sète ont permis de caractériser les évolutions de l'avant-côte et de la plage émergée avant et après le déploiement de l'atténuateur de houle, et de comparer les évolutions dans les zones protégées et non-protégées par celui-ci.

Malgré un recul temporaire toujours marqué lors des tempêtes, les phénomènes d'atténuation sont confirmés par les observations : la récupération post-tempête est quasi-totale et relativement rapide, les phénomènes de submersion sur le cordon dunaire ne sont plus observés et on note même une légère avancée du trait de côte cette dernière année, probablement à mettre en relation avec des tempêtes de sud plus fréquentes.

Les analyses mettent en évidence un comportement du secteur en aval-transit de l'ouvrage (zone non protégée) similaire à celui qui est décrit sur le lido depuis les premières études réalisées dans les années 90 (Balouin *et al.*, 2019). Les barres d'avant-côte poursuivent un cycle de migration vers le large qui entraîne des phases de recul plus intense du trait de côte lors de la création d'une nouvelle barre proche de la côte. Ce phénomène est classique et naturel et n'a pas été modifié par l'installation de l'atténuateur.

Par ailleurs, les analyses comparatives des bathymétries disponibles semblent indiquer que ces importantes modifications morphologiques se font à volume quasi-constant, donc sans perte du stock sédimentaire du système avant-côte/plage émergée.

## 5.3. PROPOSITION DE SUIVI SPECIFIQUE DE L'EXPERIMENTATION GEOCORAIL

Les développements réalisés ces dernières années sur le traitement vidéo, notamment en ce qui concerne l'inversion bathymétrique, donnent la possibilité de suivre en trois dimensions les évolutions qui étaient jusqu'à présents analysées en deux dimensions : identification de la position de la crête de barre par exemple, mais pas de quantification de son volume.

Sète Agglopôle Méditerranée souhaite expérimenter la technique ©Geocorail pour améliorer la résistance de l'ouvrage aux dégradations naturelles et anthropiques. Cette technique repose sur l'agrégation des sédiments par une méthode électrochimique et entrainerait la mise en place d'un agrégat solide sur le ©Géotube, renforçant sa résistance.

Cette modification des propriétés physiques du géotextile sont susceptibles de modifier le comportement d'atténuation de l'ouvrage.

Si le système vidéo ne permet pas de visualiser et suivre les phénomènes d'agrégation et la résistance de l'ouvrage. En revanche, les suivis, notamment par bathymétrie inversée que permet le système vidéo actuellement en place apportent des informations indispensables pour caractériser des effets induits sur la courantologie, l'atténuation et les évolutions morphologiques existantes.

En lien avec ce projet de Sète Agglopôle Méditerranée, les acquisitions systématiques de bathymétries pourront être réalisées pour caractériser l'efficacité de cette solution technique.



## 6. Bibliographie

Akouango, E., 1997. Morphodynamique et dynamique sédimentaire dans le golfe du Lion. Contribution à l'étude de la zone côtière dans l'actuel et le quaternaire récent. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, 191 p.

Balouin, Y., 2013. Suivi par vidéo numérique de l'expérimentation de techniques de protection du littoral du Lido de Sète à Marseillan – Rapport d'avancement. Rapport BRGM RP-62594-FR, 60 p., 36 ill., 1 annexe

Balouin, Y., Bouvier, C. et Taveneau, A., 2019. Evaluation des effets de l'atténuateur de houle du lido de Sète sur le littoral adjacent. Rapport BRGM RP-68996-FR, 12 p.

Balouin, Y., Desbiendras, L., et Tesson, J., 2012. Suivi par vidéo numérique de l'expérimentation de techniques de protection du littoral du Lido de Sète à Marseillan – Phase 1 : présentation et validation du système Argus. Rapport BRGM RP-60874-FR, 49 p., 35 ill.

Balouin, Y., Colombet, Y., et Longueville, F., 2016. Suivi par vidéo numérique de l'expérimentation de techniques de protection du littoral du Lido de Sète à Marseillan – Volume 1 : Atténuateur de houle, 58 p. et volume 2 : suivi du dispositif de drainage de plage, 32 p. Rapport BRGM RP-65607-FR.

Balouin, Y., Tesson, J. and Gervais, M., 2013. Cuspate shoreline relationship with bar dynamics during storm events – field observations at Sète beach, France. *Journal of Coastal Research*, SI 65, p.440-445.

Barousseau, J.P., Saint-Guily, B., 1981. Disposition, caractères et mode de formation des barres d'avant-côte festonnées du littoral du Languedoc-Roussillon (France). *Ocea. Acta.* 4, 297-304.

Barousseau, J.P., Descamps, C., Radulescu, M., Akouango, E., Gerbe, A., 1994. Morphosedimentary multiyear changes on a barred coast (Gulf of Lion, Mediterranean Sea, France). *Marine Geology*, 122, 47-62.

BRLi, 2009. Déploiement de géotubes en zone littorale pour la protection d'une plage sableuse. Rapport BRLi, 37 p.

Bouvier, C., 2017. – Barres d'avant-côte et trait de côte : dynamique, couplage et effet induit par la mise en place d'un atténuateur de houle – Rapport d'avancement de thèse. Rapport Final. BRGM/RP-67120-FR, 77p, 49 ill. 4 ann.

Bouvier, C. 2019. Barres d'avant-côte et trait de côte : dynamique, couplage et effets induits par la mise en place d'un atténuateur de houle. Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle, Université de Bordeaux, 196 p.

Certain, R., 2002. Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le Golfe du Lion (Languedoc - Roussillon). Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, 209 p.

Egis-Eau, 2009. Protection et aménagement durable du Lido de Sète à Marseillan. Dispositif expérimental ECOPLAGE ® et ouvrage atténuateur de houle. Dossier d'enquête publique. ENS\_85369P. 492p.

Gervais, M., 2012. Impact morphologiques des surcotes et vagues de tempêtes sur le littoral méditerranéen. *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle*, Université de Perpignan Via Domitia, 355 p. + annexes.

Gervais, M., Balouin, Y., Thiebot, J., Certain, R., Belon, R., Pedreros, R., Robin, N., Berné, S., 2011. Morphodynamic evolution of nearshore bars in response to winter storms (Lido de Sète, NW Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, SI 64, 1855-1860.

Gervais, M., Balouin, Y. and Belon, R., 2012. Morphological response and coastal dynamics associated with major storm events along the Gulf of Lions coastline, France. *Geomorphology* 143-144:69-80.

Holman, R.A. and Stanley, J., 2007. The history and capabilities of ARGUS. *Coastal Engineering* 54: 477-491.

Ruessink, B.G. and Kroon, A., 1994. The behavior of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling, the Netherlands: 1965-1993. *Marine Geology*, 121:187-197.

Winjberg, K. and Holman, R., 2007. Video observations of shoreward propagating accretionary waves. *Proceedings RCEM 2007*, 737-743.





Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**BRGM Occitanie**

1039, rue de Pinville

34000 -Montpellier - France

Tél. : 04 67 15 79 80