



iuem

université  
de bretagne  
occidentale

Pierre STÉPHAN  
Bernard FICHAUT  
Serge SUANEZ  
Jérôme AMMANN  
Isabel TARDIEU  
Julien HOURON

# Rapport sur le suivi morphosédi- mentaire du sillon de Talbert pour l'année 2019

Janvier 2020



INSTITUT  
UNIVERSITAIRE  
EUROPÉEN  
DE LA MER



***Suivi morphologique du Sillon de Talbert pour l'année 2019***  
***(Commune de Pleubian – Période de septembre 2018 à octobre 2019)***

***Pierre STÉPHAN***  
***Bernard FICHAUT***  
***Serge SUANEZ***  
***Jérôme AMMANN***  
***Isabel TARDIEU***  
***Julien HOURON***

Janvier 2020

**COMMUNE DE PLEUBIAN (CÔTES D'ARMOR) ET  
CONSERVATOIRE DE L'ESPACE LITTORAL ET DES RIVAGES LACUSTRES**



***Suivi morphologique du Sillon de Talbert pour l'année 2019  
(Commune de Pleubian – Période de septembre 2018 à octobre 2019)***



**Maître d'œuvre**

LETG - UMR 6554 CNRS - Institut Universitaire Européen de la Mer - Place Nicolas Copernic, 29280 Plouzané

Réalisation : Pierre STÉPHAN, Bernard FICHAUT, Serge SUANEZ, Jérôme AMMANN, Isabel TARDIEU, Julien HOURON  
pierre.stephan@univ-brest.fr; bernard.fichaut@univ-brest.fr ; serge.suanez@univ-brest.fr

Direction scientifique : Pierre Stéphan, Serge Suanez et Bernard Fichaut  
pierre.stephan@univ-brest.fr ; serge.suanez@univ-brest.fr ; bernard.fichaut@univ-brest.fr

## 1-Introduction

La présente étude s'inscrit dans la continuité du suivi topo-morphologique du Sillon de Talbert initié en 2003 à la demande de la commune de Pleubian et du Conservatoire du Littoral. L'objectif est d'analyser les modalités d'évolution de la flèche depuis l'enlèvement de l'enrochement en 2004 (Stéphan *et al.*, 2007, 2008, 2009, 2011, 2012, 2015, 2019 ; Fichaut *et al.*, 2010, 2013, 2017). Dans le cadre de ce rapport, nous présentons les principaux changements morphologiques survenus entre les levés topographiques effectués aux mois de septembre 2017 et septembre 2018 à l'échelle du Sillon.

La méthode que nous avons employée pour reconstituer la topographie de l'estran respecte en partie le protocole de mesure détaillé dans nos précédents rapports. Elle s'appuie sur l'acquisition de mesures topographiques au DGPS (type TopCon HiperV) à partir d'une station fixe installée sur la borne IGN située sur le sémaphore de Créac'h Maout, dont les coordonnées géodésiques sont accessibles sur le site de l'IGN ([www.ign.fr/rubrique Géodésie](http://www.ign.fr/rubrique/Géodésie)). L'altitude de cette borne a été revue à partir d'un procédé de post-traitement des données GPS et se situe à 42,81 m NGF.

Ce rapport fait suite à l'ouverture, en mars 2018, d'une brèche dans la partie proximale du Sillon, à l'emplacement de l'ancienne zone appelée « taille de guêpe ». A partir du mois de mars 2018, il a donc été décidé de réaliser un suivi de ce secteur à une fréquence plus importante (environ un levé topographique tous les 2-3 mois) afin de suivre au plus près les changements morphologiques dans ce secteur. Nous avons donc opté pour une méthode impliquant le survol de la zone au drone et l'acquisition d'images aériennes.

Enfin, nous avons prolongé le travail important amorcé au cours de l'année 2018 sur l'analyse des conditions météo-marines. Ce travail a donné lieu à la rédaction d'un article scientifique qui paraîtra dans l'année 2020 dans la revue *Journal of Coastal Research* (Annexe 1). Les suivis topographiques réalisés par Julien Houron durant l'année le long des différents profils, ainsi que les mesures de pressions réalisées à l'aide du capteur OSSI ont également été traitées. Ces données prolongent le suivi des conditions de vagues au plus près du Sillon.

## 2-Méthodologie des relevés

### 2.1- Source des données utilisées pour le relevé de septembre 2018

Trois semis de points topographiques ont été utilisés pour produire le Modèle Numérique de Terrain de septembre 2018 (fig. 1) :

1- un semis de points « invariables » relevés au DGPS lors des précédentes campagnes de mesures et que nous avons réutilisé dans les secteurs qui n'ont pas enregistré de changements morphologiques perceptibles ;

2- un semis de points relevés au mois d'octobre 2019 au DGPS sur les secteurs mobiles du sillon que nous détaillons dans le point 2.2.

3- un semis de points « invariables » qui couvre les estrans et zones terrestres environnants le Sillon a été ajouté pour améliorer les aspects de visualisation du MNT. Ce semis de point est issu d'un relevé LIDAR réalisé en octobre 2002.

La topographie a été modélisée sous le logiciel Surfer 10 en utilisant le krigeage comme modèle d'interpolation avec intégration des lignes de rupture de pente. La topographie du mois d'octobre 2019 (fig.2A) a ensuite été comparée à celle de septembre 2018 afin d'effectuer le bilan morpho-sédimentaire de l'année (fig.2B).

### 2.2. Les relevés au DGPS

Les relevés au DGPS (modèle TopCon Hyper-V) ont été réalisés du 28 au 31 octobre 2019 à partir d'une station fixe et de 4 mobiles fonctionnant simultanément. Un total de 13.120 points de mesure ont été relevés sur le terrain de cette façon (fig. 1). 185 lignes de rupture de pente ont également été relevées sur le terrain afin d'être intégrées aux modélisations numériques. Un ensemble de 18.979 points « invariables » relevés au cours des précédentes années au DGPS ont été ajoutés, ainsi que 17 lignes de ruptures de pente « fixes ».

### 2.3. Le suivi de la brèche entre mars 2018 et janvier 2020

A partir du mois de mars 2018, nous avons amorcé un suivi topo-morphologique de la brèche formée dans le Sillon, en utilisant une méthode basée sur des survols aériens au drone ou au cerf-volant. Un total de 11 survols a été effectué entre mars 2018 et décembre 2019 (Tableau 1). Le détail des traitements photogrammétriques les plus récents sont fournis en Annexe 2.

Notons que cette méthode avait déjà été employée au cours de l'année 2016 pour relever la totalité du Sillon de Talbert. Dans nos précédents rapports, nous avons insisté sur les erreurs significatives liées à ce type de mesures, en particulier lorsqu'elles portent sur de très grandes superficies (Stéphan *et al.*, 2016 ; Fichaut *et al.*, 2017). Dans le cas présent, la zone couverte est circonscrite à un petit périmètre centré sur la brèche, minimisant les erreurs éventuelles. Néanmoins, nous avons pris soin de mesurer systématiquement cette erreur lors des campagnes de mesure. Les altitudes reconstruites par photogrammétrie ont alors été comparées aux altitudes mesurées au DGPS. Les résultats indiquent que les erreurs sont inférieures à  $\pm 2$  cm en X, Y et Z.



Date	Technologie	matériel utilisé	Précision horizontale	Précision verticale	Superficie couverte (km <sup>2</sup> )	Nombre de points topographiques acquis sur le terrain	Nombre de points topographiques utilisés pour générer le MNT	Résolution du MNT (m)
07/09/2017	DGPS	TopCon Hyper V	+/- 0.07 m	+/- 0.03 m	0,33	14 773	131 942	1
07/03/2018	Survol cerf-volant		+/- 0.02 m	+/- 0.02 m	0.061	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0106
22/03/2018	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.02 m	+/- 0.02 m	0.048	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0124
17/04/2018	Survol cerf-volant		+/- 0.02 m	+/- 0.02 m	0.096	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0130
17/07/2018	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.02 m	+/- 0.02 m	0.115	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0128
13/09/2018	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.02 m	+/- 0.02 m	0.116	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0135
21/11/2018	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.02 m	+/- 0.02 m	0.129	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0131
05/02/2019	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.02 m	+/- 0.02 m	0.129	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0131
08/03/2019	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.02 m	+/- 0.02 m	0.128	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0128
21/05/2019	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.017 m	+/- 0.0088 m	0.130	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0267
18/09/2019	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.013 m	+/- 0.0093 m	0.128	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0263
17/12/2019	drone	Phantom 4 pro	+/- 0.021 m	+/- 0.0157 m	0.124	> 10 <sup>8</sup>	> 10 <sup>8</sup>	0.0149

Tableau 1 : Inventaire des campagnes de mesures topo-morphologiques réalisées dans le secteur de la brèche entre septembre 2017 et décembre 2019.

### 3- Evolutions morphologiques du Sillon dans son ensemble, entre septembre 2018 et octobre 2019

#### 3.1. Vue d'ensemble

Les changements morphologiques mesurés sur le Sillon de Talbert entre septembre 2018 et octobre 2019 témoignent d'une année dominée par les transferts de sédiments le long du cordon et l'action de houles constructives ayant entraînée un exhaussement de la crête à la fois sur la face exposée et sur le revers.

Au niveau de la brèche, les courants générés par la marée n'ont pas entraîné d'élargissement significatif. Les bilans sédimentaires calculés indiquent néanmoins l'érosion d'un volume d'environ 4.000 m<sup>3</sup> qui s'explique par une incision de la passe. Nous reviendrons plus en détails sur l'évolution morphologique de ce secteur dans le point 4 de ce rapport.

#### 3.2. Vue de détails

Les principales modifications morphologiques sont synthétisées dans la figure 3 et sont décrites comme suit :

##### (1, fig. 3) : érosion modérée de la plage du Chouck

Comme cela est généralement le cas le long de la plage du Chouck, les évolutions morphologiques ont été de faibles ampleurs entre septembre 2018 et octobre 2019. Dans l'ensemble, on peut noter que la plage a enregistré une perte sédimentaire d'environ 1.000 m<sup>3</sup> (fig. 3). Le profil P007 (fig. 7) montre une grande stabilité morphologique dans ce secteur.

##### (2, fig. 3) : érosion de la brèche

Comme nous l'avons indiqué plus haut, la brèche ouverte en mars 2018 n'a pas connu d'élargissement significatif entre septembre 2018 et octobre 2019. Toutefois, le volume de matériel érodé est d'environ -4.630 m<sup>3</sup>. Une partie des sédiments évacués par les courants de marée (essentiellement les sables) s'est déposée immédiatement de part et d'autre de la brèche, sous la forme d'un lobe jusant sur la plage et d'un petit lobe de flot dans le marais de Mer Melen. Côté plage, le lobe d'accrétion est assez volumineux et représente environ 800 m<sup>3</sup>. Ce stock sableux est régulièrement remanié par les vagues et vient alimenter le haut de plage dans ce secteur. Repris par le vent, les sables du haut de plage viennent engraisser la dune. Cette dernière a connu un gain sédimentaire de +2.350 m<sup>3</sup> entre septembre 2018 et octobre 2019. Cet apport s'est également traduit par un exhaussement de la crête de 30 cm en moyenne entre les profils P020 et P035 (fig. 4). Enfin, on peut estimer à environ 1.500 m<sup>3</sup> le volume de sables qui a été redistribué vers le nord, repris par la dérive littorale. En résumé, si on se demande où sont passés les sédiments érodés dans la brèche : 50% sont actuellement accumulés dans la dune, 20% forment le lobe de jusant et 30% sont exportés vers le nord. Ces chiffres soulignent le fait que l'ouverture de la brèche favorise en grande partie la construction dunaire.

##### (3 & 4, fig. 3) : transit sédimentaire dans la partie proximale et exhaussement de la partie médiane

Dans la partie proximale du sillon, la plage exposée a été soumise à un transfert sédimentaire longitudinal vers le nord-est. Le volume déplacé est estimé à 5.000 m<sup>3</sup>. Ce volume s'est déposé sous la forme d'un gradin dans la partie haute du sillon et a conduit à un exhaussement de la crête d'une trentaine de centimètres en moyenne, entre les profils P055 et P075 (fig. 7).

##### (5, fig. 3) : transit sédimentaire dans la partie distale

Dans la partie distale, les bilans volumiques montrent un transfert sédimentaire vers le nord-est d'environ 6.500 m<sup>3</sup>. Les sédiments érodés sur la plage et la partie haute du cordon entre les points P075 et P090 ont été déplacés vers la pointe où une série de bermes se sont formées sur le haut de plage, totalisant environ 2000 m<sup>3</sup>. Le volume restant (soit environ 4.500 m<sup>3</sup>) a été transféré sur le revers de la spatule.

##### (6 & 7, fig. 3) : lobe de jusant et pointe du cordon en équilibre sédimentaire

Le lobe de jusant et la pointe du sillon ont enregistré quelques modifications morphologiques sous l'effet des houles et des courants de marée, se soldant néanmoins par un bilan sédimentaire globalement équilibré lorsque l'on totalise les volumes érodés et accumulés.

##### (8, fig. 3) : le revers de la spatule

Chaque année depuis le début de ce suivi topo-morphologique, le revers de la spatule bénéficie d'apports sédimentaires provenant de la face exposée du sillon. Ce matériel en transit est transporté jusqu'à la pointe du sillon, puis rabattu vers le sud-ouest par les houles, et enfin redistribué sur l'ensemble de la plage. Une partie de ce matériel vient s'accumuler sous la forme de ride d'accrétion au sommet du sillon. Une

autre vient alimenter la plage et poursuit son déplacement le long du revers sous l'effet d'une contre-dérive générée par les vagues du nord-est. Entre septembre 2018 et octobre 2019, environ 4500 m<sup>3</sup> de sédiments ont été déplacés sur le revers de la spatule, 2500 m<sup>3</sup> a été redistribué sur la plage et au sommet de la spatule, environ 2000 m<sup>3</sup> ont poursuivi leur déplacement sur le revers.

**(9, 10, 11, fig. 3) : déplacements de galets le long du revers et déversements localisés**

Les changements morphologiques mesurés le long du revers sont principalement le fait d'un transit longitudinal des sédiments généré par les vagues venant du nord-est. Ce transit est estimé à environ 500 m<sup>3</sup> sur le revers de la partie médiane composée de galets et atteint environ 1000 m<sup>3</sup> sur le revers sableux de la partie proximale. Ce déplacement sédimentaire donne lieu à juxtaposition de secteurs en érosion et de secteurs en accrétion le long du revers où des reculs ponctuels atteignant 5 m ont été mesurés (n°1 à 6, fig. 8). Enfin, on note un recul de plusieurs mètres du revers par *rollover*, sur une portion comprise entre les profils P045 et P055 (fig. 8). Ce recul s'explique par l'altitude particulièrement basse de la crête dans ce secteur, culminant à l'altitude de 11 m CM (fig. 6).

**4- Bilan du suivi de la brèche : évolutions topo-morphologiques entre septembre 2017 et décembre 2019**

Les figures 9 à 12 présentent les résultats du suivi mis en place à l'issue de l'ouverture de la brèche dans la partie proximale du Sillon de Talbert. Les résultats sont les suivants :

Périodes	Commentaires sur le DoD
Septembre 2017 – 7 mars 2018	Entre les mois de septembre 2017 et mars 2018, les relevés montrent tout d'abord l'impact de la tempête Eleanor des 2-3 janvier 2018 qui entraîne une érosion importante de la face exposée du cordon et un dépôt de sédiment sur le revers (dynamique de <i>rollover</i> ). Le second événement qui marque cette période est l'ouverture de la brèche (deux jours avant le relevé du mois de mars 2018) qui s'élargit très rapidement. L'érosion provoquée par les courants de marée empruntant la brèche conduit à la formation d'un delta de jusant en bas de plage.
7 mars 2018 – 22 mars 2018	Durant cette courte période de temps (15 jours), les évolutions morphologiques sont peu marquées. Le delta de jusant est repris par les vagues et déplacé vers l'est. Ce stock tend à remonter vers le sommet du cordon.
22 mars 2018 – 17 avril 2018	Cette période (28 jours) est marquée par une marée de vive-eau (coefficients supérieurs à 100 du 31 mars au 02 avril 2018) qui génère de forts courants de flot et de jusant dans la brèche. Les courants de jusant semblent

	prédominer. La présence de l'enrochement résiduel oblige les courants de jusant à s'orienter vers l'ouest au débouché de la brèche sur la plage. Leur vitesse est donc renforcée sur la rive concave (rive ouest) de la brèche et entraîne une érosion de la dune basse dans ce secteur. Le front de dune est taillé en micro-falaise et recule de 6 m par endroits. L'ancien lobe de jusant qui s'était constitué en mars 2018 poursuit sa remontée vers le haut de la plage et vers la dune sommitale.
17 avril 2018 – 17 juillet 2018	Cette période (91 jours) est à nouveau marquée par plusieurs marées de vive-eau en (fin avril, mi-mai, mi-juin 2018). La rive ouest de la brèche subit une érosion importante. Le front de dune recule de 3,5 m. Un nouveau lobe de jusant s'édifie à l'extrémité de l'enrochement résiduel, sur le bas de la plage.
17 juillet 2018 – 13 septembre 2018	Cette période (58 jours) reste dominée par les dynamiques érosives liées aux courants de jusant qui érodent la rive occidentale de la brèche (recul du front de dune de 8,5 m) et entraîne l'accumulation de sable à l'exutoire de la brèche, sur le bas de plage. Deux marées de vive-eau (mi-août et début septembre) sont responsables de ces changements. A l'est de la brèche, le haut de plage poursuit son engraissement.
13 septembre 2018 – 21 novembre 2018	Durant cette période, l'érosion de la rive ouest de la brèche se poursuit (recul de 3 m du front de dune). Le delta de jusant est également érodé. Le matériel est redistribué sur le bas de plage, vers l'est. Les données sont quelque peu biaisées par la présence de grandes quantités d'algues de rive échouées sur la plage. Sur le revers, des changements morphologiques sont également observés sous l'effet d'une reprise du transit longitudinal causé par le renforcement des houles à l'approche de la période hivernale.
21 novembre 2018 – 05 février 2019	La comparaison du relevé du 05 février 2019 avec les levés précédents est à nouveau partiellement biaisée par les accumulations d'algues d'échouage sur la face exposée du cordon. On note néanmoins une érosion modérée de la plage, le déplacement du delta de jusant vers le nord-est par la dérive littorale, une érosion de la rive occidentale de la brèche (avec un recul du front de dune de 3,8 m). Enfin, on observe pour la première fois l'accumulation de sédiments dans la partie interne de la brèche et l'amorce de formation d'un delta de flot.
05 février 2019 – 08 mars 2019	Durant cette période hivernale (31 jours), le chenal de marée qui emprunte désormais la brèche est remanié par les courants de flot et de jusant qui déplace les bancs de sables sur le fond. La rive ouest de la brèche recule de 2,8

	m. Sur le sillon, on assiste à un engraissement de la face exposée du cordon. A l'emplacement précédent du delta de jusant, le bas de plage enregistre une érosion lié à un déplacement du stock sédimentaire vers le nord-est.
08 mars 2019 – 21 mai 2019	Les deux rives de la brèche sont érodées. Le matériel s'accumule en partie sur le delta de flot, et en partie sur le delta de jusant. Sur le Sillon, la partie basse de la plage subit également une érosion.
21 mai 2019 – 18 septembre 2019	Durant cette période (120 jours), les principaux changements morphologiques sont observés au niveau de la brèche. Les bancs tidaux sont déplacés vers les parties internes (delta de flot) et externe (delta de jusant) de la brèche.
18 septembre 2019 – 17 décembre 2019	Cette période (90 jours) est caractérisée par plusieurs épisodes tempétueux marqués par de fortes houles. Les changements morphologiques sont importants : une très forte érosion de la rive occidentale de la brèche (recul du front de dune de 4,5 m), une accumulation de matériel sur la rive orientale
BILAN GLOBAL 7 mars 2018 – 17 décembre 2019	Le bilan sédimentaire du secteur, établi entre le 7 mars 2018 (date du premier survol) et le 17 décembre 2019 (date du dernier survol), révèle l'ampleur des changements morphologiques liés à la rupture du sillon. L'ouverture de la brèche a favorisé l'incision du chenal de marée jusqu'à la semelle d'argiles bleuâtres sur laquelle repose le sillon dans ce secteur (figure 11, profil 2). En décembre 2019, le fond de la brèche est situé à l'altitude de 7,65 m Cote Marine (figure 11). Au fil des mois, le tracé de ce chenal a progressivement adopté une forme en S, contraint de sinuer entre l'enrochement résiduel au nord et l'ados artificiel au sud. Les sédiments érodés dans la brèche se sont accumulés, dans une très faible proportion dans le delta de flot situé dans le marais de Mer Melen, où des bancs de sables sont venus recouvrir le schorre par endroits. La majeure partie du matériel que les courants de marées ont prélevé à la brèche semble, en première analyse, avoir quitté le secteur. En réalité, les relevés successifs ont montré une dynamique en trois temps : 1- le matériel érodé dans la brèche s'accumule temporairement sur le bas de plage pour former un delta de jusant, 2- les vagues redistribuent ce stock, le déplaçant essentiellement vers le haut de plage lors des périodes de houles constructives (printemps, été), 3- durant l'été, les sables sont soufflés par le vent et viennent engraisser la crête dunaire. Il en résulte une accrétion importante sur le sommet du Sillon. Par ce biais, l'élargissement de la brèche favorise indirectement la consolidation du sillon

par une bonne alimentation de la dune en sables éoliens. Les figures 11 et 12 montrent que l'élargissement de la brèche a été relativement constant de mars 2018 à septembre 2019. En l'absence de tempête significative durant cette période, ce sont principalement les courants de marée qui ont causé l'érosion. Les fortes houles qui ont accompagné les tempêtes successives de l'automne 2019 ont causé une accélération de cet élargissement. En décembre 2019, la largeur de la brèche atteint 60 m.

## 5- Bilan du suivi topo-morphologique à haute fréquence du sillon de Talbert le long de deux profils de mesure pour l'année 2019

Depuis le mois de septembre 2012, un suivi morphologique à haute fréquence a été mis en place en parallèle du suivi topo-morphologique annuel de l'ensemble du sillon (effectué quant à lui depuis 2006). Ce suivi repose sur des levés topographiques mensuels réalisés le long de deux profils localisés dans les parties les plus mobiles du sillon (fig. 5.1).

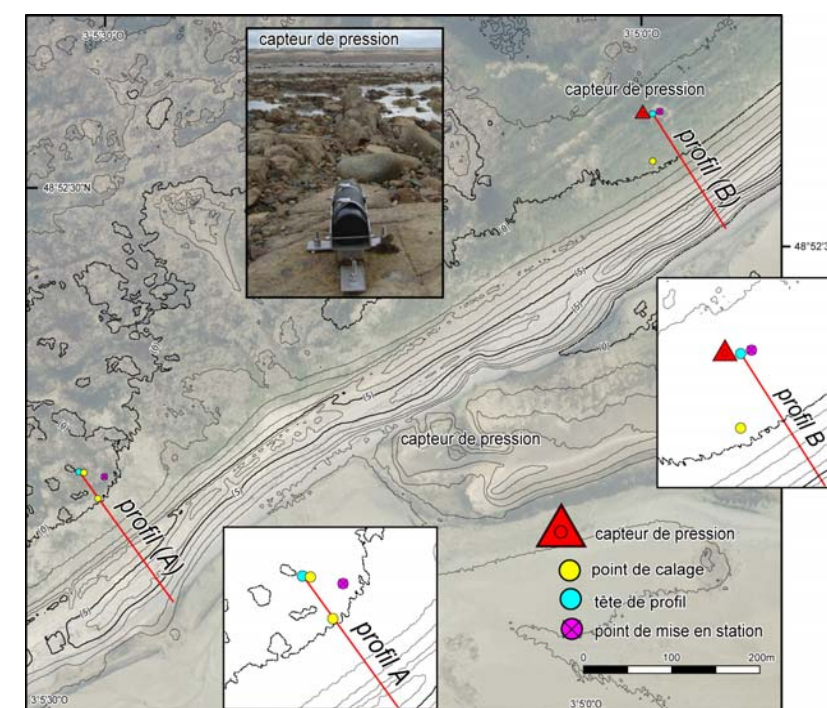


Figure 5.1 – localisation des deux profils de mesures topo-morphologiques et du capteur de pression de houle et de niveaux d'eau.

L'objectif de ce suivi à haute fréquence est de mesurer et de quantifier l'impact de tous les épisodes tempétueux agissant à une échelle épisodique et/ou d'évaluer les processus de régénération (en période de temps calme) agissant là encore à des échelles courtes (mensuelle à épisodique). Ainsi, durant l'année 2019, 12 mesures de profils de plage ont été réalisées à une fréquence quasi-mensuelles (fig. 5.2).



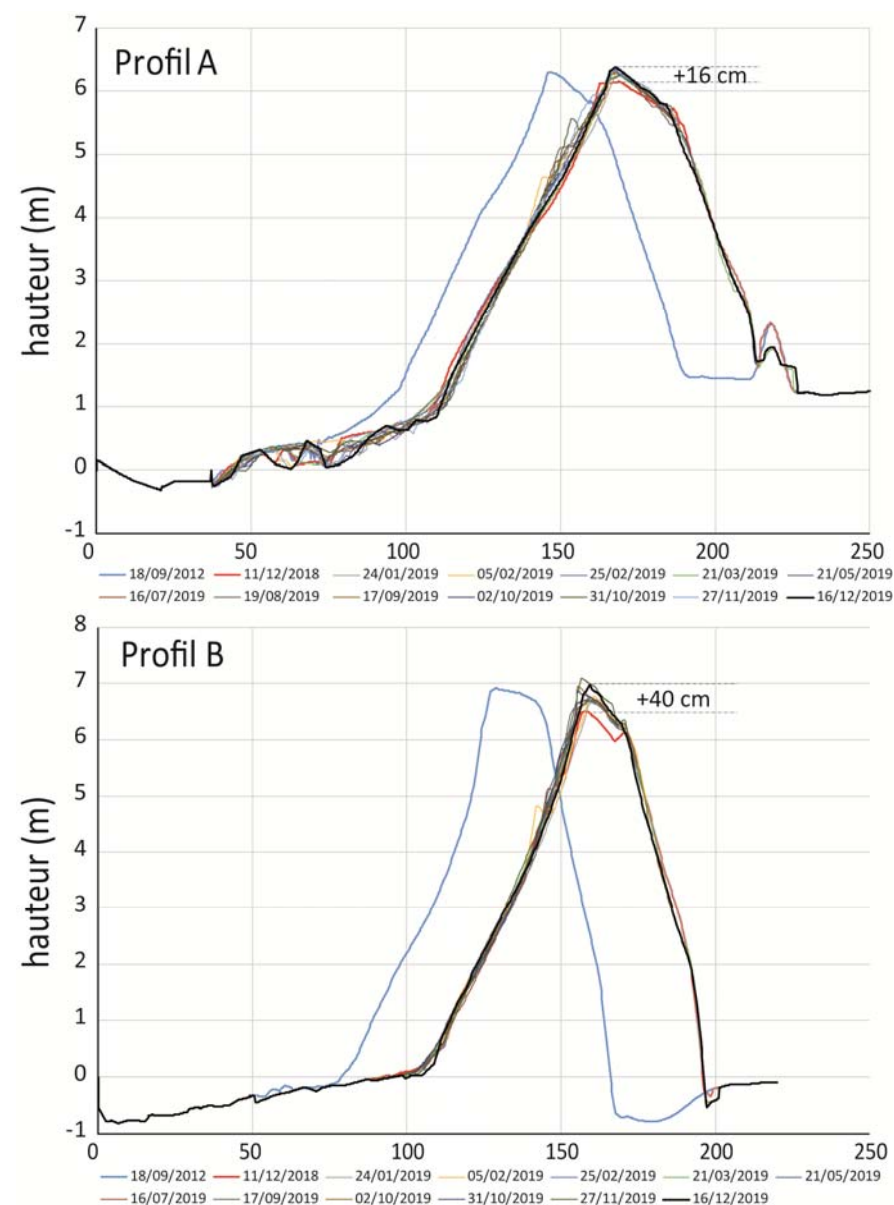


Figure 5.2 - Enveloppe de profils topo-morphologiques des profils A et B entre les mois de décembre 2018 et décembre 2019. Le profil initial du mois septembre 2012 a été rajouté afin d'illustrer l'importance du recul du Sillon depuis le démarrage de ce suivi.

L'analyse de ces données morphologiques ne montre aucun changement significatif. Le sommet du cordon n'a observé aucun déplacement le long des deux profils. Les seules modifications notoires concernent l'exhaussement de la crête atteignant +16 cm et + 40 cm, respectivement pour les profils A et B (fig. 5.2). A cela s'ajoute la migration vers le haut du sillon de gradins le long de la plage externe du cordon, notamment au niveau du profil A.

Cette évolution atteste de conditions hydrodynamiques particulièrement clémentes durant l'année 2019. Ainsi, l'absence de tempête (combinée à des marées de vive-eau) s'est traduit par un exhaussement du cordon que l'on peut interpréter comme une dynamique de régénération. Cette année 2019 se démarque donc des

années précédentes, notamment 2018 avec la tempête Eleanor du 5 janvier, ou antérieurement avec la tempête Ruzica du mois de février 2016, qui avaient généré un recul et un écrêtement significatif du sillon (Stéphan et al. 2019).

## 6- Références bibliographiques

Blaise E., Suanez S., Stéphan P., Fichaut B., David L., Cuq V., Autret R., Houron J., Rouan M., Floc'h F., Arduind F., Cancouët R., Davidson R., Costa S., Delacourt C. - Bilan des tempêtes de l'hiver 2013-2014 sur la dynamique de recul du trait de côte en Bretagne. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. 21 (3), pp. 267-292.

Fichaut B., Suanez S., Stéphan P., (2010) – Rapport sur le suivi morphosédimentaire du Sillon de Talbert pour l'année 2010, décembre 2010, 16 p.

Fichaut, B., Stéphan P., Suanez, S., Blaise E. (2013) – Suivi topo-morphologique du Sillon de Talbert (Commune de Pleubian - Période 2012-2013), 27 p.

Fichaut B., Stéphan P., Suanez S., Amman J., Grandjean P., (2017) – Rapport sur le suivi morpho-sédimentaire sur le Sillon de Talbert pour l'année 2016. Laboratoire LETG-Brest Géomer (UMR 6554 CNRS), Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, avril 2017, 25 p.

Stéphan P., Fichaut, B., Suanez, S. (2007) – Rapport d'activité sur le suivi topo-morphologique du Sillon de Talbert (Commune de Pleubian), 19 p.

Stéphan P., Fichaut, B., Suanez, S. (2008) – Deuxième rapport d'activité sur le suivi topo-morphologique du Sillon de Talbert (Commune de Pleubian - Période 2007-2008), 12 p.

Stéphan P., Fichaut, B., Suanez, S. (2009) – Suivi topo-morphologique du Sillon de Talbert (Commune de Pleubian - Période 2008-2009), 10 p.

Stéphan P., Fichaut, B., Suanez, S., Blaise E. (2011) – Suivi topo-morphologique du Sillon de Talbert (Commune de Pleubian - Période 2010-2011), 10 p.

Stéphan P., Fichaut, B., Suanez, S., Blaise E. (2012a) – Suivi topo-morphologique du Sillon de Talbert (Commune de Pleubian - Période 2011-2012), 14 p.

Stéphan P., Suanez S., Fichaut B. (2012b) – Long-term morphodynamic evolution of the Sillon de Talbert gravel barrier spit, Brittany, France, *Shore & Beach*, 80, 1, pp. 19-36.

Stéphan P., Fichaut B., Suanez S., Blaise E., Autret R. (2015) – Rapport sur le suivi topo-morphologique du Sillon de Talbert pour l'année 2014, mars 2015, 32 p.

Stéphan P., Fichaut B., Suanez S., Autret R., Houron J. (2018b) – Rapport sur le suivi morpho-sédimentaire sur le Sillon de Talbert pour l'année 2017. Laboratoire LETG-



Brest Géomer (UMR 6554 CNRS), Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, mars 2018, 47 p.

Stéphan P., Suanez S., Fichaut B., Autret R., Blaise E., Houron J., Ammann J., Grandjean P. (2018a). Monitoring the medium-term retreat of a gravel spit barrier and management strategies, Sillon de Talbert (North Brittany, France). *Ocean & Coastal Management*, 158, 64-82.

Suanez S., Stéphan P., Floc'h F., Autret R., Fichaut B., Blaise E., Houron J., Ammann J., Grandjean P., Accensi M., André G., Ardhuin F. (2018) – Fifteen years of hydrodynamic forcing and morphological change leading to breaching of a gravel spit, Sillon de Talbert (Brittany, France). *Géomorphologie : Relief. Processus. Environnement*, 24, 4, 403-428.

Stéphan P., Fichaut B., Suanez S., Ammann J., Tardieu I., James D., Mury A., Houron J. (2019) - Suivi morphosédimentaire du sillon de Talbert pour l'année 2018. Rapport scientifique, LETG-Brest UMR 6554 CNRS / UBO, 99 p. (avec annexes).

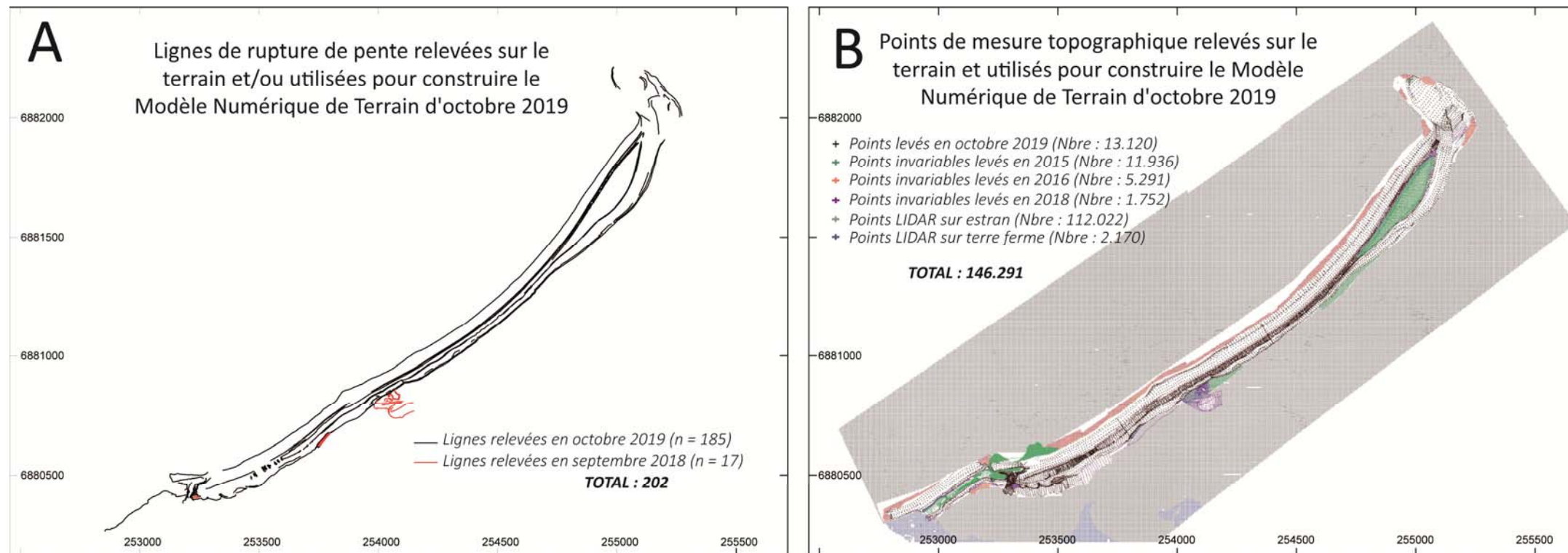


Figure 1 : Données topographiques utilisées pour construire les modèles de terrain d'octobre 2019 sur le Sillon de Talbert.  
A. Localisation des lignes de rupture de pente relevées. B. Localisation des points topographiques utilisés.

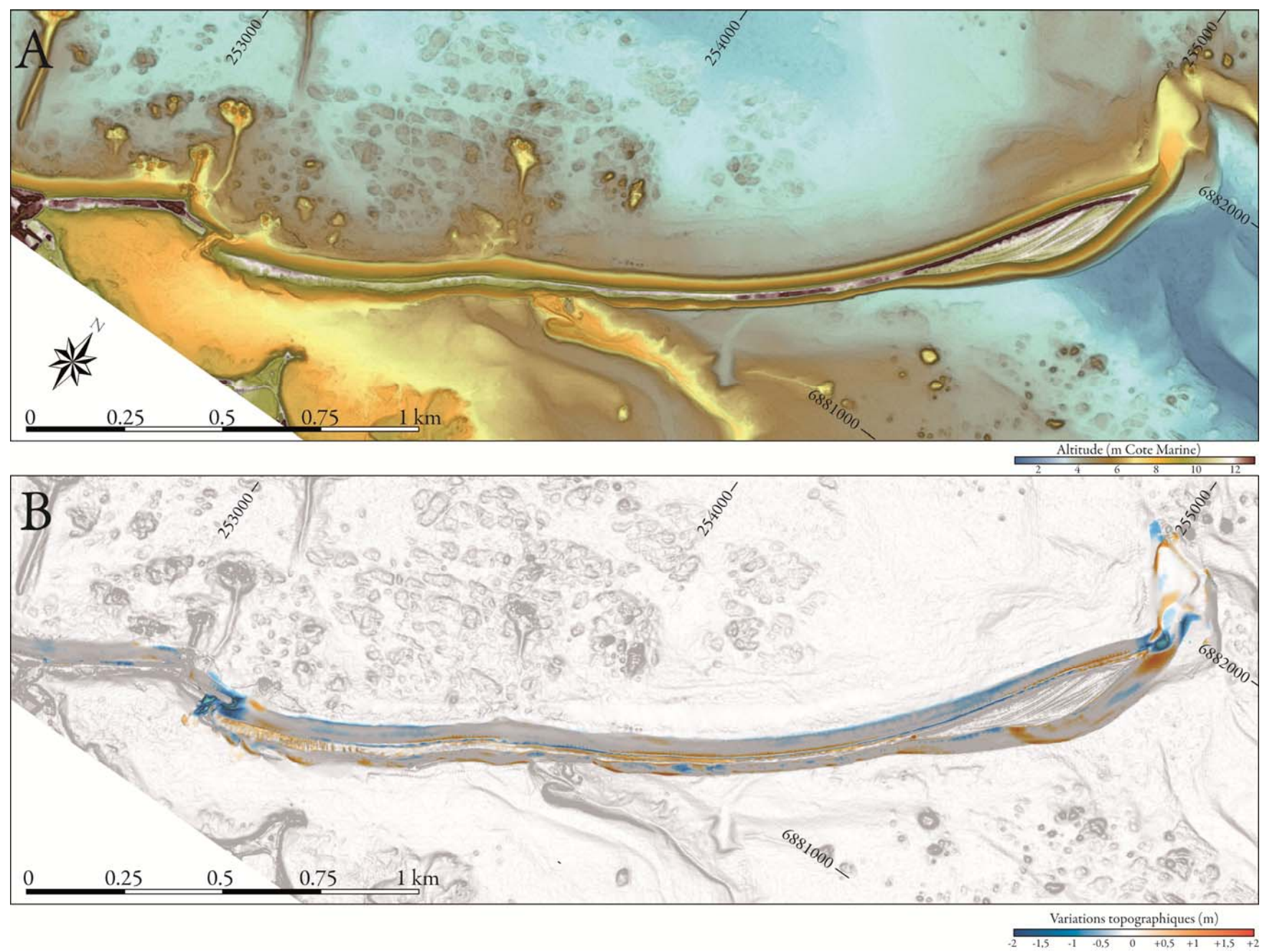


Figure 2 : Modèle Numérique de Terrain du Sillon de Talbert en octobre 2019 (A). Evolution topo-morphologique du Sillon de Talbert entre septembre 2018 et octobre 2019.



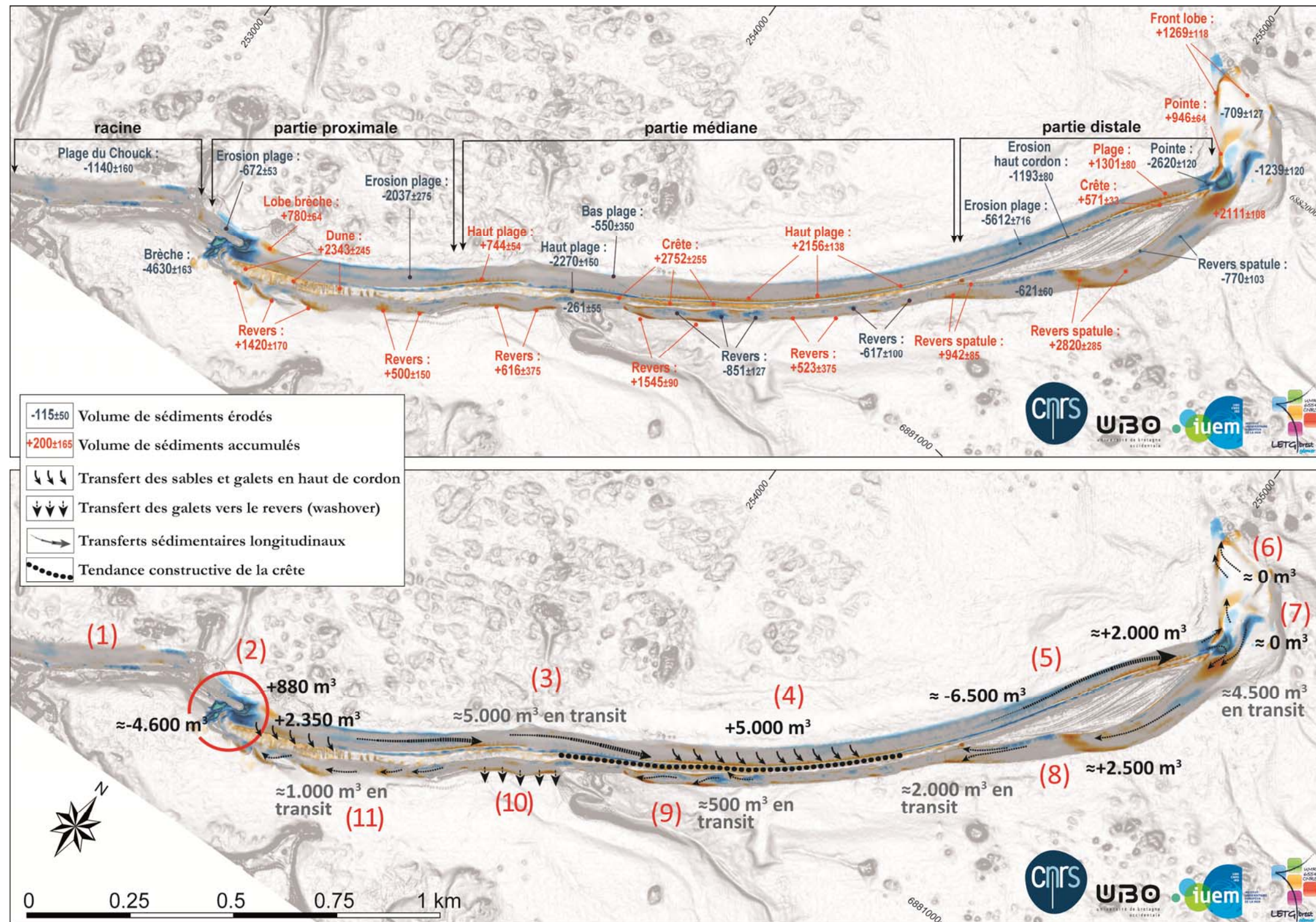


Figure 3 : Dynamiques morphosédimentaires sur le Sillon de Talbert entre septembre 2018 et octobre 2019.



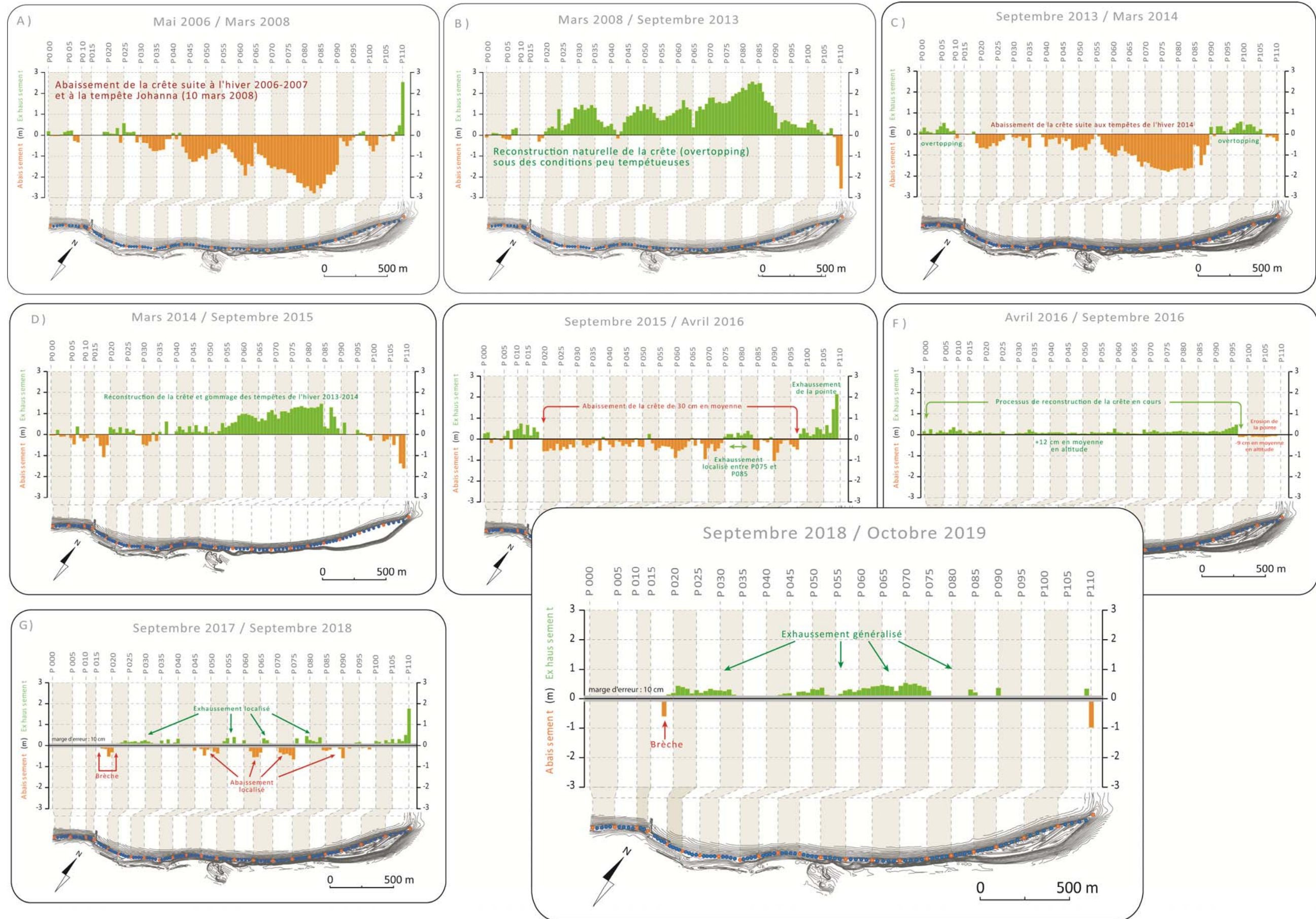


Figure 4 : Variations de l'altitude de la crête du Sillon de Talbert.



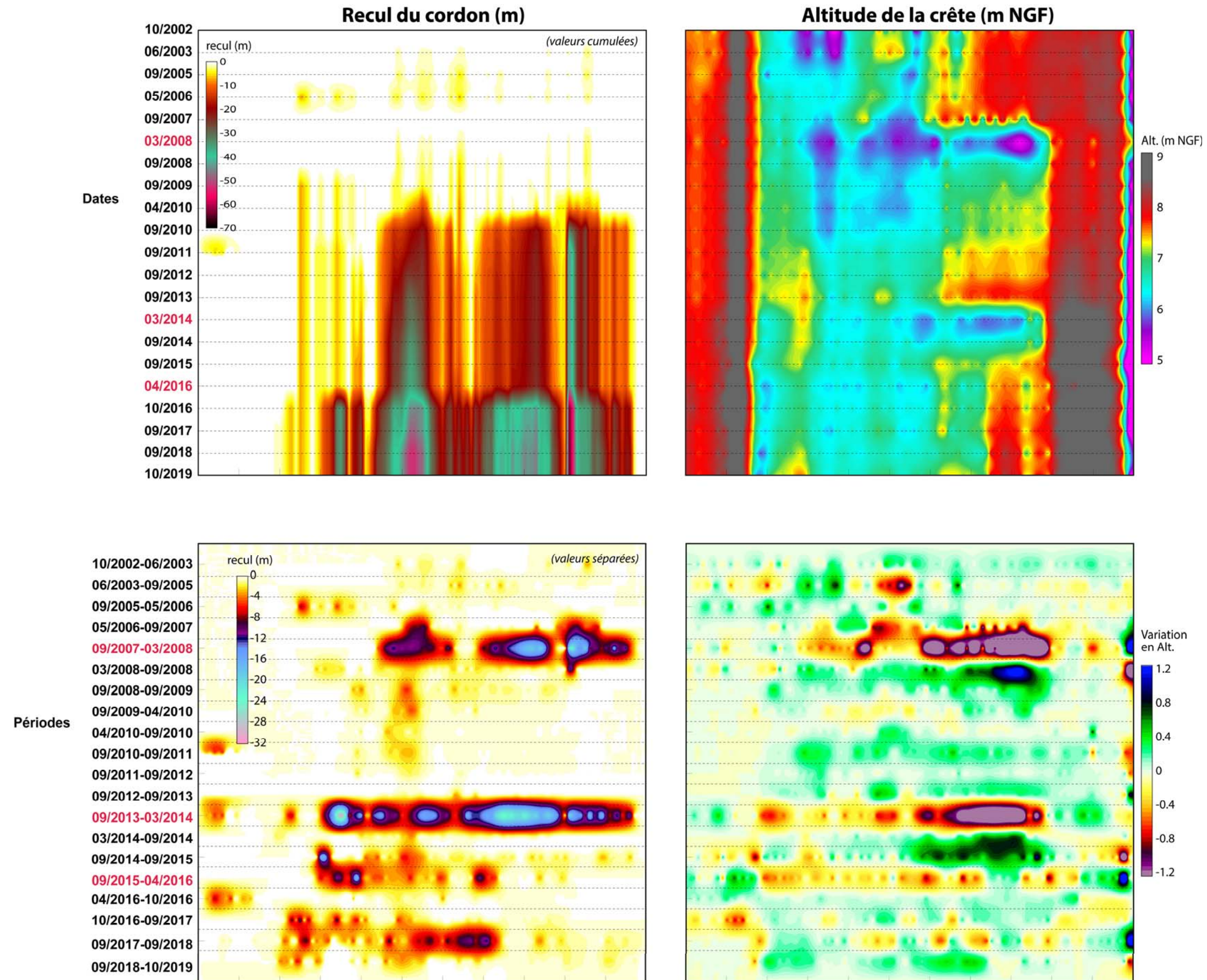


Figure 5 : valeurs du recul et de la hauteur du sillon de Talbert depuis le début des suivis en 2002.



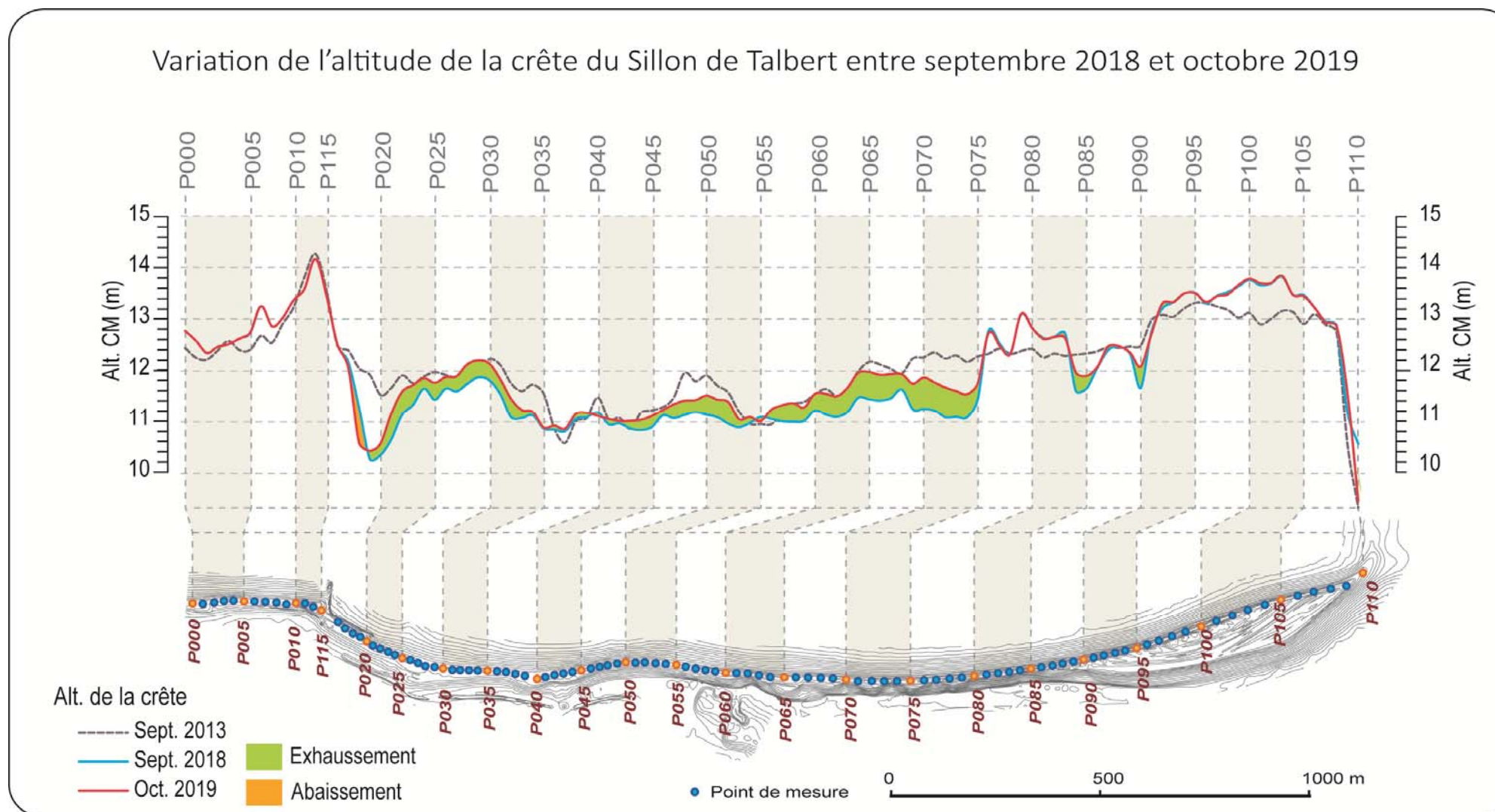


Figure 6 : Variations de l'altitude de la crête du Sillon de Talbert de septembre 2018 à octobre 2019.

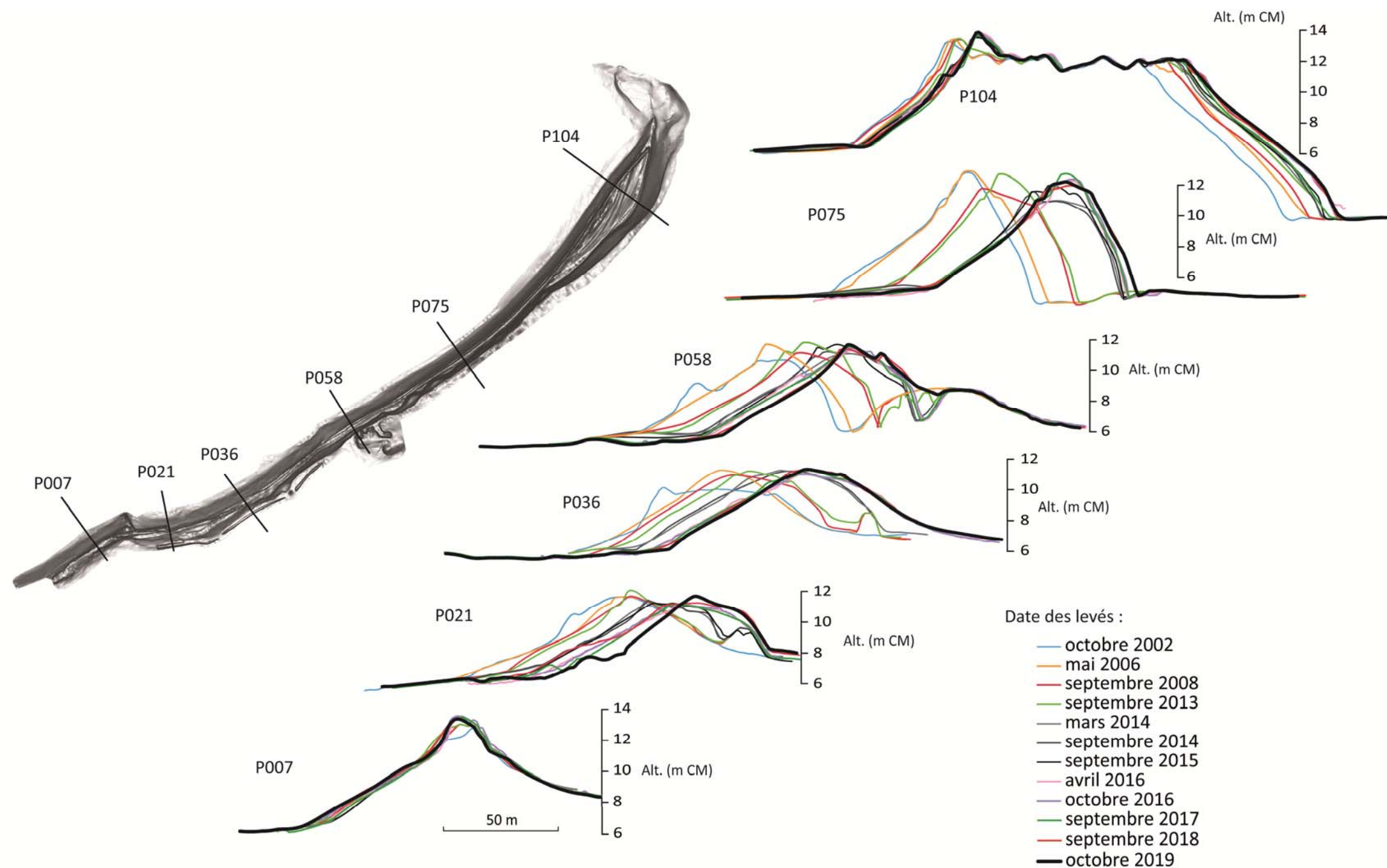


Figure 7 : Evolution des profils transversaux du sillon de Talbert.



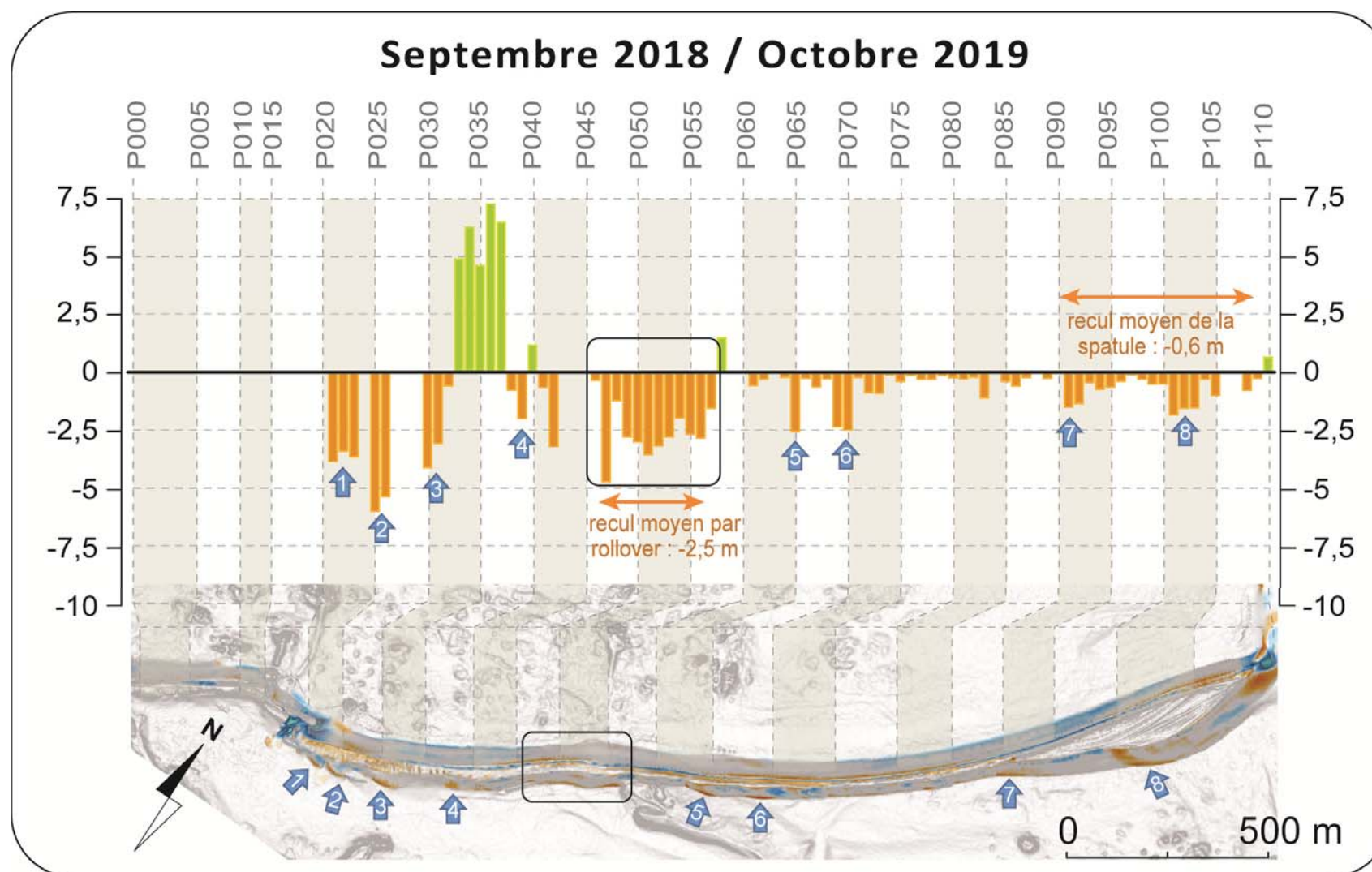


Figure 8 : Recul de la base du revers du Sillon de Talbert entre septembre 2018 et octobre 2019.



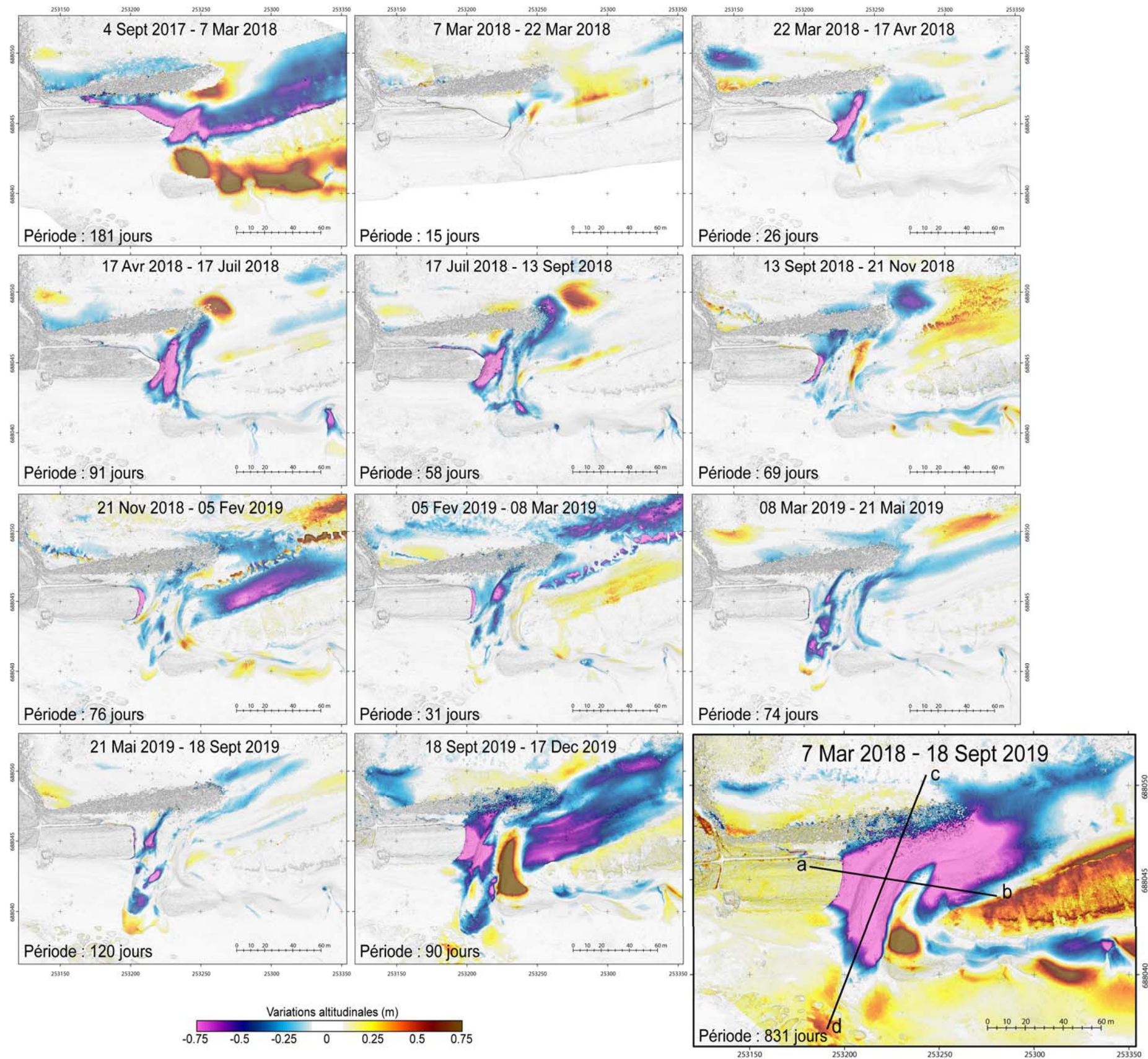


Figure 9 : Evolution topo-morphologique dans le secteur de la brèche (partie proximale du Sillon de Talbert) entre septembre 2017 et décembre 2019. Les couleurs chaudes correspondent à l'accrétion, tandis que les couleurs froides représentent l'érosion.



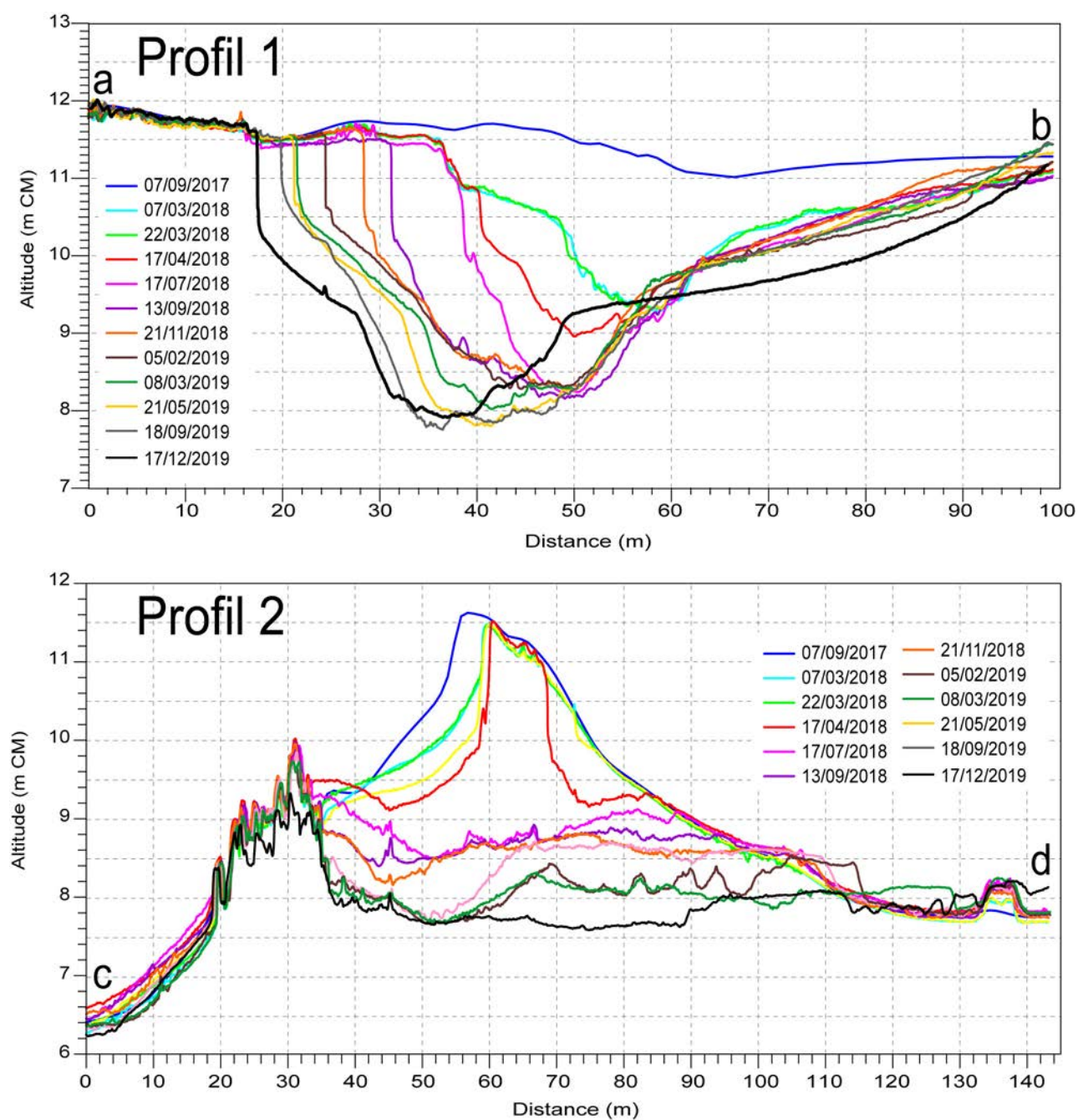


Figure 10 : Profils topographiques dressés entre les points a et b (profils 1) et les points c et d (profil 2) localisés sur la figure 9. Les évolutions du profil 1 illustrent l'élargissement de la brèche par érosion de la rive ouest où le front de dune est taillé en micro-falaise. Les évolutions du profil 2 témoignent de la disparition de la dune et de l'incision du chenal de marée qui emprunte la brèche.

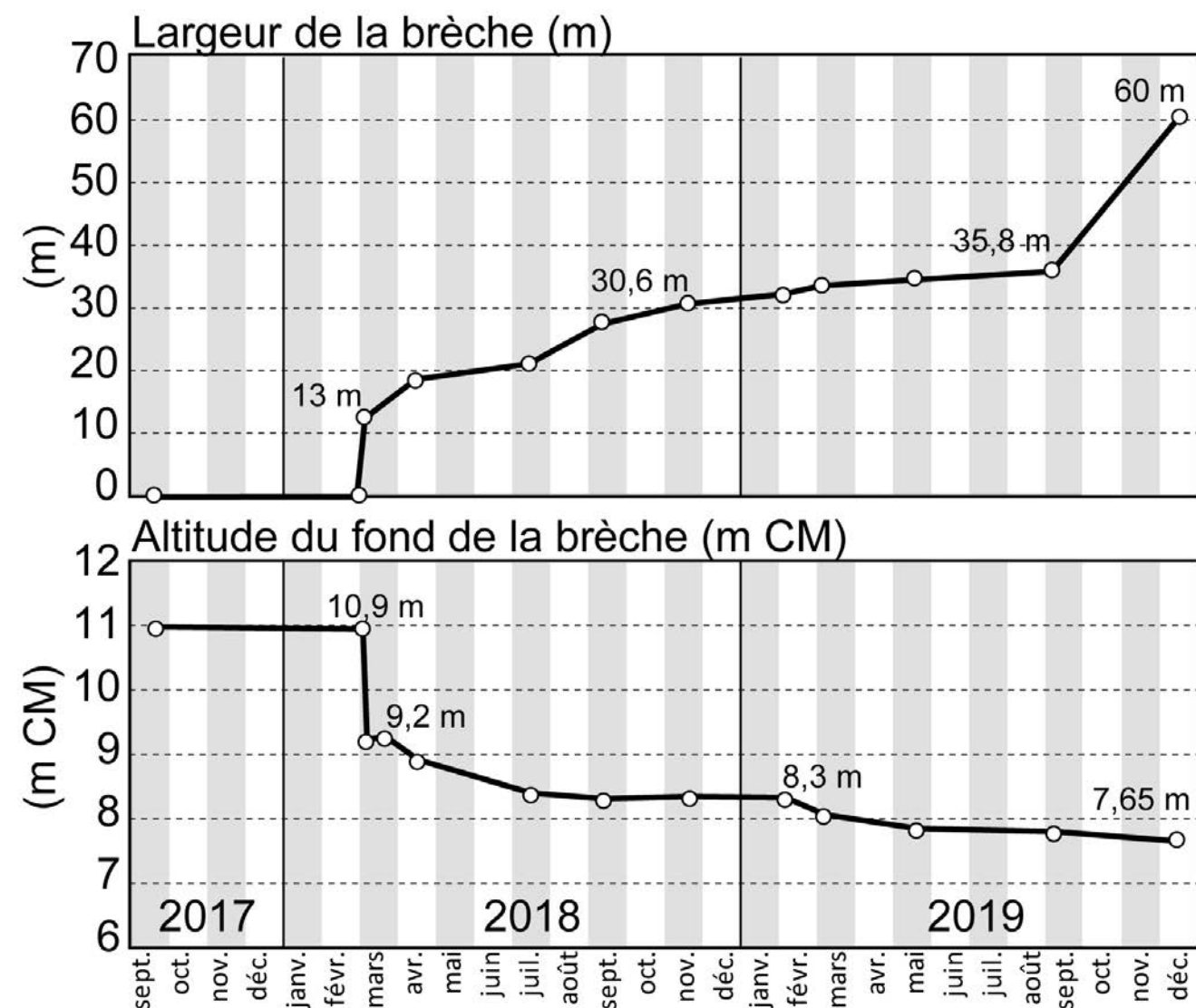


Figure 10 : Elargissement et incision de la brèche (partie proximale du Sillon de Talbert) entre septembre 2017 et décembre 2019.  
 La largeur de la brèche est mesurée entre les points a et b (profil 1) de la figure 10 (voir localisation sur la figure 9).  
 Cette largeur correspond à la distance qui sépare la ligne des pleines-mers de vive eau de part et d'autre de la brèche.  
 L'incision est mesurée en considérant la plus basse altitude le long du profil 1 de la figure 10.



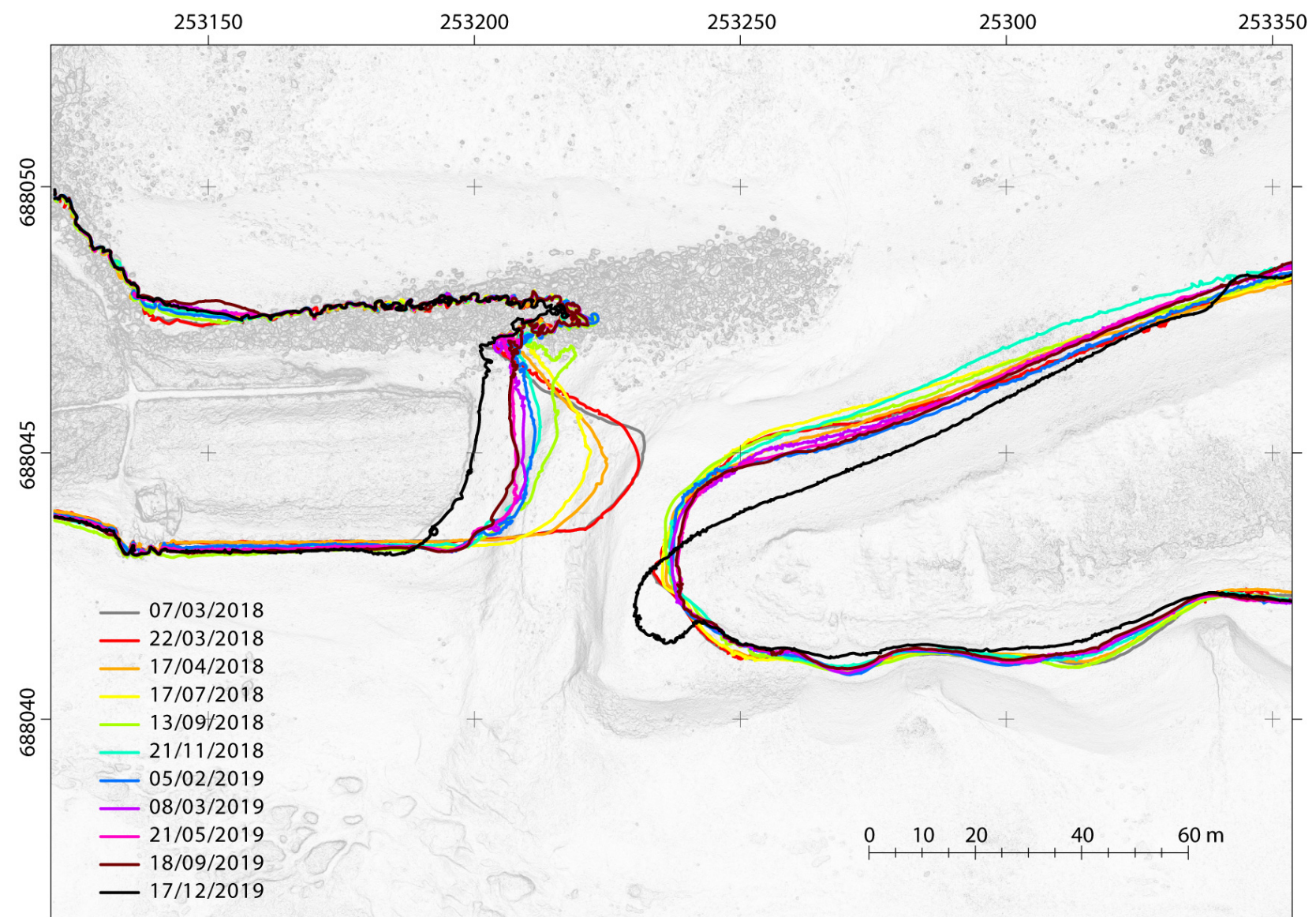


Figure 10 : Evolution du trait de côte au niveau de la brèche entre mars 2018 et décembre 2019.  
Les traits de côte correspondent à la ligne des pleines mers de vive-eau.

*Annexe 1*

Suarez S., Stéphan P., Fichaut B., Ammann J., Grandjean P., Accensi M. (2020).  
Medium-Term Longshore and Cross-shore Dynamics of a Gravel Spit Driving by Storm Events (Sillon de Talbert, Brittany, France)  
*Journal of Coastal Research SI 95, 50-54.*

# Medium-Term Longshore and Cross-shore Dynamics of a Gravel Spit Driving by Storm Events (Sillon de Talbert, Brittany, France)

Serge Suanez<sup>†\*</sup>, Pierre Stéphan<sup>†</sup>, Bernard Fichaut<sup>†</sup>, Jérôme Ammann<sup>††</sup>, and Michaël Accensi<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>LETG-Brest UMR 6554 CNRS  
Université de Bretagne Occidentale,  
IUEM, 29280 Plouzané, France

<sup>††</sup>LGO UMR 6538 CNRS  
Université de Bretagne Occidentale,  
IUEM, 29280 Plouzané, France

<sup>‡</sup>LOPS UMR 6523,  
Ifremer/CNRS/UBO/IRD,  
IUEM, 29280 Plouzané, France



www.cerf-jcr.org



www.JCRonline.org

## ABSTRACT

Suanez, S., Stéphan, P., Fichaut, B., Ammann, J., and Accensi, M. 2020. Medium-Term Morphological Changes of a Gravel Spit Driving by Storm Events (Sillon de Talbert, Brittany, France). In: Malvárez, G. and Navas, F. (eds.), *Proceedings from the International Coastal Symposium (ICS) 2020* (Seville, Spain). *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 95, pp. 50-54. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

The Sillon de Talbert (Northern coast of Brittany) is a large 3.5 km-long swash-aligned gravel spit comprising a volume of sediment of  $1.23 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Since 2002, a morphodynamic survey based on annual DEMs, and waves and water level measurements and/or modeling, has been carried out. The 17-year (2002-2019) monitoring program shows that cross-shore sediment transfers reaching  $430,000 \text{ m}^3$  are dominant, while the longshore sediment transfer -through cannibalization process- is about  $52,000 \text{ m}^3$ . The maximum landward displacement of the spit due to rollover processes reaches  $-4 \text{ m.yr}^{-1}$ . Storm events control more than 95% of this retreat due to catastrophic overwash/inundation processes that led to the opening of a breach in March 2018. The morphological evolution of the Sillon de Talbert is driven by anthropogenic forcing (*i.e.*, impact of coastal defence structures, cutting off of longshore sediment transport), and natural forcing such as the depletion of the supply of sediment from the platform.

**ADDITIONAL INDEX WORDS:** *Gravel spit, survey, storm, sediment budget, rollover, breaching.*

## INTRODUCTION

Gravel spits presenting a single crest are highly sensitive to landward migration due to cross-shore dynamics (*i.e.*, rollover processes) operating over both short and long-term time scales (Orford, Carter, and Forbes, 1991; Orford, and Carter, 1995; Orford, Carter, and Jennings, 1996). Significant rollover processes occur during extreme events when wave runups, overtop, overwash, or strongly inundate the crest of the barrier (Matias et al., 2012; Masselink, and van Heteren, 2014). The morphological responses of gravel spits (or barriers) to these hydrodynamic forcing events have been put into four main regimes, *i.e.*, overtopping, discrete overwash, sluicing overwash, and overwashing/breaching (Orford, and Carter, 1982). This storm-impact scaling model is based on the elevation difference between extreme water levels (*i.e.*, tide + surge + wave runup conditions) and the height of the barrier crest, which is known as the “freeboard”.

If the “overtopping” regime (positive freeboard) induces crest accretion due to the uprush just reaching the top of the barrier, the “overwashing/breaching” regime (negative freeboard) is defined by the erosion of the beachface, the crest in the form of a breach or throat, while washover fans and splays are deposited on the back-barrier. Therefore, overwash is the fundamental cross-shore mechanism forcing barrier retreat through the rollover process, especially during storm events (Orford, et al., 1995; Forbes et al., 1991; Tillmann, and Wunderlich, 2013).

Erosion processes may also be driven by longshore dynamics; when the sediment supply is depleted, the wave energy reworks existing beach deposits through cannibalization (Carter, and Orford, 1993). This process principally concerns drift-aligned spit barriers, where longshore process dynamics depend on the

balance between the potential longshore transport ( $Q_y$ ) rate, as an energy term dependent on the angle of breaker approach ( $\alpha$ ), and the availability of sediment to be transported along the shore by this energy (Orford, Forbes, and Jennings, 2002). Therefore, a drift-aligned barrier is associated with the sediment transport rate  $Q_y > 0$ , while the swash-aligned barriers are associated with  $Q_y \approx 0$ .

Therefore, cross-shore (*i.e.*, overwashing/rollover) and longshore (*i.e.*, drifting) processes act together to weaken the spit barriers, whose final stage can culminate in the opening of a breach during storm events (Carter, and Orford, 1993). In this paper we examine both cross-shore and longshore dynamics through the morphological and hydrodynamic survey carried out since 2002 on the gravel spit of the Sillon de Talbert. Based on the Orford, and Anthony (2011) methodological approach, several morphological components, such as sediment budget and the size/form of the barrier (*i.e.*, the width of the crest  $\Delta B_w$  measured at the reference elevation of Mean High Spring Tide, the barrier retreat  $\Delta B_r$ , and the barrier height  $\Delta B_i$ ), were monitored. The analysis of morphological changes vs hydrodynamic condition variations over the last 17-years (2002-2019), was achieved by identifying storm events related to erosion phases vs calm periods suitable for barrier resilience.

## STUDY SITE

The gravel spit of the Sillon de Talbert is located on the northern coast of Brittany (Figure 1). It is a single-ridge drift-aligned barrier that stretches over 3.5 km long, composed a mixed sand and gravel sediment with an estimated volume of  $1.23 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Stéphan, Suanez, and Fichaut, 2012). The beach face is characterised by a break slope point close to the mean sea level



which delimitates the spit accumulation from the large, flat, rocky platform (0.01%). The upper part of the beach face shows steeper slopes of between 5% and 15%. Stéphan, Suanéz, and Fichaut (2012) have subdivided the barrier into four distinct morphosedimentary units, from Unit 1, corresponding to the proximal sandy dune section, to Unit 4, which forms the gravel distal section (Figure 2a). These two sections are the more stable in terms of shoreline dynamics (Figure 2c). This is due to, (i) the coastal defence structures (*i.e.*, riprap and Chouck groin) which have been installed on Unit 1 to prevent erosion processes, and (ii) the net positive longshore sediment supply of the distal part of the spit (*i.e.*, Unit 4) inducing significant accretion and enlargement of this section. These two sections, Units 1 and 4, are characterized by a maximum crest height reaching 9.5 m a.s.l., and 9 m, respectively (Figure 2b). Conversely, both Units 2 and 3, corresponding to the proximal gravel section and the median section respectively, display the most retreat in the last 80 years (Figure 2c). The crest height is about 7 m a.s.l. for Unit 2, and 7.5 m a.s.l. for Unit 3 (Figure 2b).

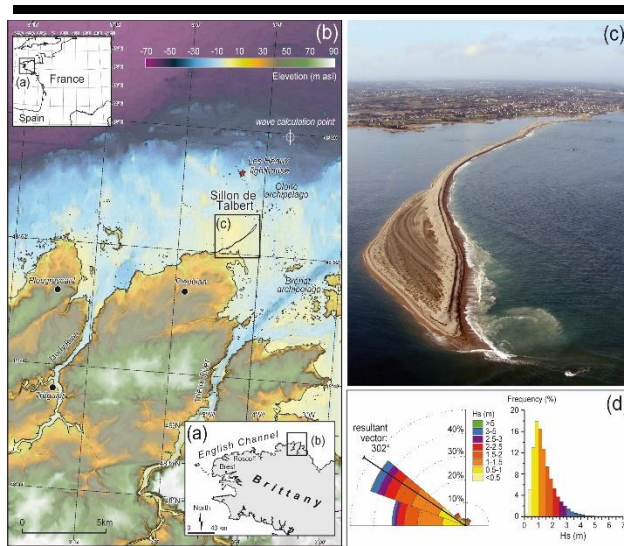


Figure 1. Location map. (a) Regional scale. (b) Local scale. (c) Oblique aerial photo of the Sillon de Talbert taken on the 23 September 2009 (source: D. Halleux) showing the coastal defense structures on the sandy proximal section. (d) Wave characteristics. Wave rose and histogram of  $H_s$  established from the data obtained by WW3 numerical model over the period 01/01/1994-31/03/2018 at the calculation point 3.047°W, 48.927°N.

Stéphan Suanéz, and Fichaut (2012) have shown that the average landward migration rate for the entire spit reached 1.1  $m \cdot yr^{-1}$  between 1930 and 2010. During the same period, longshore sediment transport through cannibalization from the proximal to the distal section was evaluated at 1.4  $m^3 \cdot m^{-1} \cdot yr^{-1}$  (Stéphan, Suanéz, and Fichaut, 2010). From the mid-1970-1980s, several coastal defence structures were installed in order to prevent the retreat of the spit barrier. A 200 m long riprap and the “Chouk” groin were installed on the proximal section (Figure 2a), and a 1,400 m long riprap was installed on the median section (Pinot, 1994; Stéphan, Suanéz, and Fichaut, 2012). Due to their

inefficiency, and the change in coastal management strategy in the beginning of the 2000s, most of these coastal structures were removed with the aim of returning the spit barrier to its natural morphological functioning.

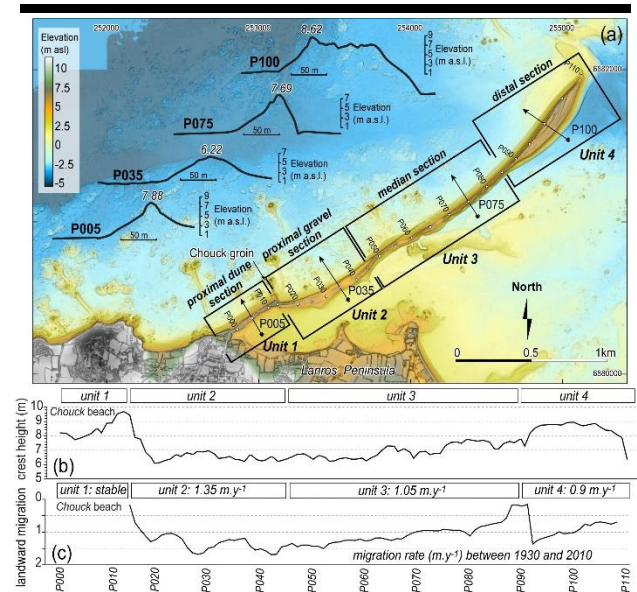


Figure 2. Morphological setting of the Sillon de Talbert. (a) Different longshore morphological units of the spit and representative beach profiles of the four units. (b) 2017 crest height. (c) Landward spit displacement in  $m \cdot y^{-1}$  between 1930 and 2010, after Stéphan, Suanéz, and Fichaut (2012), modified.

The Sillon de Talbert is a megatidal environment with a maximum tidal range of 10.95 m. The most frequent offshore waves are WNW with a resultant vector of around 303° (Figure 1d). Consequently, the waves break at the coast with a slight angle ( $\alpha > 0$ ) generating a longshore drift oriented to the NE. Modal wave heights ( $H_{sig}$ ) are between 1 and 1.5 m and modal wave periods ( $T_{pic}$ ) are between 9 and 10 seconds. During storms, wave heights can reach 9 m with periods of 20 seconds.

## METHODS

Morphological measurements started in October 2002 and are ongoing. These measurements are carried out using various techniques such as Airborne LiDAR, RTK-DGPS field measurements, UAV (Unmanned Aerial Vehicle) drones, and Kite Aerial Photography (KAP). A digital elevation model (DEM) was computed to produce a regular 1-m grid from which the spit contour lines were generated and the sediment budget was calculated for each period. Margin of error due to the measurements was  $\pm 0.10$  m for each 2002 Airborne LiDAR measurement, however error was reduced to  $\pm 0.02$  m for the RTK-DGPS and UAV surveys. The DEM was also sliced into 110 cross-shore transects along which three main morphological indicators, (i) crest lowering/accretion ( $\Delta B_h$ ), (ii) landward spit migration ( $\Delta B_r$ ), and (iii) barrier width ( $\Delta B_w$ ), were measured.

Offshore waves were hindcast between 01/01/2002 and 31/12/2018 using the WAVEWATCH III spectral model at coordinates 3.047°W, 48.927°N, and a depth of about -50 m

(Figure 1b). It was forced by the wind fields from the CFSR reanalysis with a resolution ranging from  $0.25^\circ$  to  $0.5^\circ$  and by the surface currents generated from an atlas of harmonic tidal constituents obtained from outputs of the MARS circulation model. Wave parameters such as direction ( $D$ ), wave height ( $H_{sig}$ ), and period ( $T_{m0..1}$ ) were extracted from this dataset for the analysis of offshore wave conditions. Wave height thresholds corresponding to the maximum  $H_{sig}$ , exceeding the 2% exceedance (percentile 98%) wave height of 3.47 m, were used to identify the major storm wave events.

Tidal data over the same period (2002-2018) were provided by the French hydrographic service (SHOM) using tide gauge records and modeling at the Les Héaux-de-Bréhat site (Figure 1b). Significant extreme water level was identified as an event during which the maximum observed tide level exceeds the 2% exceedance water level of 5.5 m.

## RESULTS

### Global sediment budget

The beach face erosion of  $-441,000 \text{ m}^3$  corresponds to the sum of (i) the total overwashing transfers of  $+430,000 \text{ m}^3$ , (ii) the accretion of  $+52,000 \text{ m}^3$  on the distal back-barrier after waves are diffracted on the tip of the spit, and (iii) complex sediment transfers on the ebb lobe of the tip of the spit, due to longshore drift and tide currents (Figure 3). The NE seaward longshore sediment transport is relatively constant over time, reaching about  $3,100 \text{ m}^3 \cdot \text{yr}^{-1}$  on average. This is mainly due to cannibalization processes operating from the proximal to the distal section. The SW back-barrier longshore sediment transport acting on the distal and median sections is estimated at 100 to  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{yr}^{-1}$ . The global sediment budget of about  $+29,300 \text{ m}^3$  for the entire period of 2002-2019 (which may correspond to the margin error of measurements; *i.e.*, 2% of the global sediment volume of the spit of  $1.23 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) remains relatively stable.

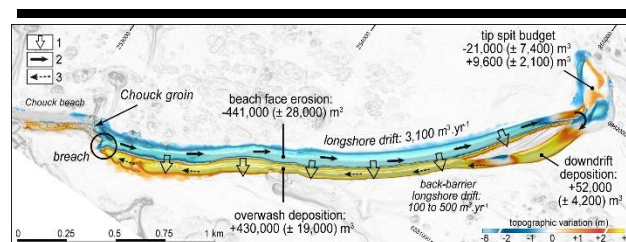


Figure 3. Longshore and cross-shore sediment budget of the Sillon de Talbert for the entire survey period of 2002-2019. 1. Overwash; 2. Main longshore drift; 3. Secondary longshore drift.

### Hydrodynamic forcing (storm waves + high water level)

Significant wave height ( $H_{sig}$ ) shows a seasonal variation with a maximum  $H_{sig}$  of up to 5 to 6 m during the stormy winter periods (Figure 4a). The spring period may also have significant wave heights, as was the case during the Johanna storm on March 10, 2008 ( $> 6 \text{ m}$ ). Significant morphogenetic events combining extreme wave height and water levels were isolated using both wave height and a water level threshold of 2% exceedance (see Methods). Following this approach, the Johanna storm on March 10, 2008 (#1), and the Imogen storm on February 8, 2016 (#3)

were recognized as major morphogenetic events although they occurred during the high spring tide period. The winter of 2013-2014 (notably in the beginning of January 4-5, February 1-2, and March 3, 2014) (#2), and the Eleanor storm on January 5, 2018 (#4), were also characterized by significant morphogenetic events (Figure 4).

The morphological response in terms of barrier retreat  $\Delta B_r$  (Figure 4c), and barrier height  $\Delta B_h$  (Figure 4d) to these forcing mechanisms shows a maximum retreat of up to  $-22 \text{ m}$  on the median and distal sections generated by the Johanna storm on March 10, 2008. During the winter of 2013-2014 the cluster of storms generated a maximum retreat reaching  $-30 \text{ m}$ , while the major part of the median section retreated from  $-20$  to  $-22 \text{ m}$ . The extreme event related to the Imogen storm on February 8, 2016 also produced a maximum landward spit migration of up to  $-20 \text{ m}$  on the proximal gravel section, and between  $-5$  to  $-10 \text{ m}$  on the median section. The Eleanor storm on January 5, 2018 generated a maximum spit retreat of  $-8 \text{ m}$  and  $-12 \text{ m}$ , on the gravel proximal and median sections, respectively. The results obtained for crest lowering/elevation,  $\Delta B_h$ , showed the most significant crest erosion of up to  $-2.5$  to  $-2 \text{ m}$  during the Johanna storm on March 10, 2008 (#1), and the cluster of storms during the winter of 2013-2014 (#2). Crest lowering reached  $-1 \text{ m}$  for both the events of Imogen on February 8, 2016 (#3), and Eleanor on January 5, 2018 (#4) (Figure 4d).

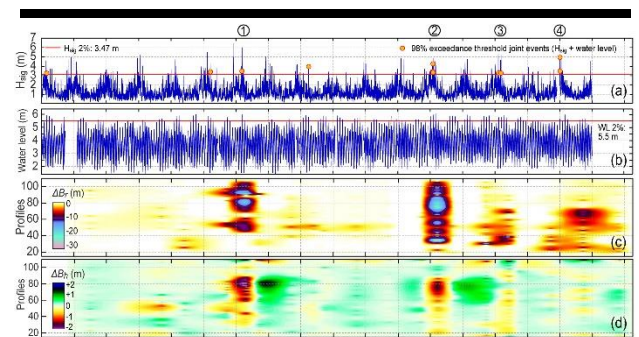


Figure 4. Hydrodynamic conditions and morphological changes of the Sillon de Talbert from 2002 to 2019. (a) Significant wave heights ( $H_{sig}$ ) where morphogenetic events (orange dot) are defined as  $H_{sig}$  exceeds the 2% exceedance wave height of 3.47 m, combined with water levels exceeding the 2% exceedance water level. (b) Observed tide where the threshold (red line) corresponds to the 2% exceedance water level of 5.5 m. (c) Barrier retreat  $\Delta B_r$ . (d) Barrier height  $\Delta B_h$  variations. #1, #2, #3, and #4 correspond to the major significant morphogenetic events.

### Spit retreat ( $\Delta B_r$ ) and crest evolution ( $\Delta B_h$ and $\Delta B_w$ )

The average rate of spit retreat ( $\Delta B_r$ ) according to the different morphological units between 2002 and 2019 reached about  $-22 \text{ m}$  (*i.e.*,  $-1.3 \text{ m} \cdot \text{y}^{-1}$ ),  $-41 \text{ m}$  (*i.e.*,  $-2.6 \text{ m} \cdot \text{y}^{-1}$ ), and  $-29 \text{ m}$  (*i.e.*,  $-1.7 \text{ m} \cdot \text{y}^{-1}$ ), on the proximal gravel, median, and distal sections, respectively (Figure 5d-f). However, a maximum retreat of up to  $-71 \text{ m}$  (*i.e.*,  $-4 \text{ m} \cdot \text{y}^{-1}$ ) was recorded on the median section along transect P052. The cumulative frequency ( $B_r$ ) and the annual frequency ( $\Delta B_r$ ) of spit retreat highlights once again the major role played by the four significant morphogenetic events of



March 10, 2008 (#1), winter 2013-2014 (#2), February 2016 (#3), and January 2018 (#4).

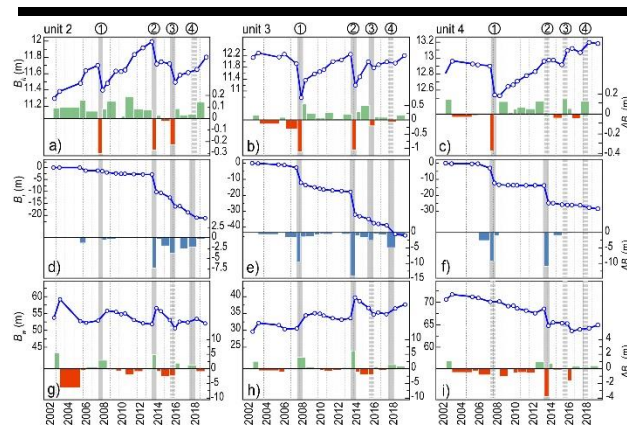


Figure 5. Annual morphological changes along the 3 morphosedimentary units #2, #3, and #4 (see Figure 2), from 2002 to 2019. (a)-(c) Barrier retreat in cumulative frequency  $B_r$  (curve), and frequency  $\Delta B_r$  (bars), for the proximal gravel section. (d)-(f) Barrier height changes  $B_h$  (cum. freq.), and  $\Delta B_h$  (freq.). (g)-(i) Barrier width changes  $B_w$  (cum. freq.), and  $\Delta B_w$  (freq.). Grey bars correspond to main morphogenetic events (#1: March 10, 2008; #2: the stormy winter of 2013-2014; #3: February 8, 2016; #4: January 5, 2018).

Once more, the evolution of crest height ( $B_h$ ) and width ( $B_w$ ) shows significant lowering phases due to catastrophic inundation, and elevation due to recovery processes (Figure 5). In the proximal gravel and median sections, the evolution of crest elevation is characterized by four major lowering events (up to  $-0.3$  to  $-1$  m) in 2008, 2014, 2016, and 2018. It reached maximum values of  $-2.44$  m and  $-1.79$  m, notably in 2008 and 2014, respectively (Figure 5a-c). However, after each of these four episodes, recovery processes due to overtopping resulted in crest elevation reaching its pre-storm height, such as on the median section, or higher than the pre-storm height, such as on the proximal gravel section. Conversely, the crest width parameter  $B_w$  increases when the crest height decreases, and *vice versa*. The results show different morphological behaviors concerning the evolution of the distal section (see Unit 4). This is mainly due to the fact that this zone is characterized by a massive accumulation of sediments inducing the highest elevation and largest width of the crest (see Figure 2). Therefore, the major part of this distal section is rarely impacted by the catastrophic overwash/inundation events that generate crest lowering and crest widening.

### Opening of a breach

The retreat of the Sillon de Talbert gravel spit between 2002 and 2017 led to the weakening of a small section located downdrift of the *Chouck* groin, at the contact between the proximal sandy and gravel sections (Stéphan et al., 2018). The most significant erosion occurred during the winter of 2013-2014 with a shoreline retreat of about  $-10$  m to  $-15$  m. During that winter the dune was totally flooded by wave runup inducing the overwashing of several hundred cubic meters from the seaward

beachface to the back-barrier. This morphological evolution was also the result of the longshore drift through cannibalization processes mainly due to the interruption of the updrift sediment inputs by the *Chouck* groin. A breach opened during the spring tide at the beginning of March 2018, certainly by the 3<sup>rd</sup> or 4<sup>th</sup> when tide levels were highest due to strong ebb tide currents, not the storm waves (Figure 6).



Figure 6. Breach on the sandy proximal section of the Sillon de Talbert (source: September 14, 2018). Transect A-B related to Figure 7.

The survey of the breach since it was opened in March 2018 indicated very significant deepening and widening of the breach, reaching 3.2 m depth and 62 m width for astronomic tide level – HAT – (Figure 7). The present situation shows that in the course of the flooding of the breach during the high tides, whether in neap-tide or spring-tide contexts, the Sillon de Talbert spit is now cut from its median and distal sections.

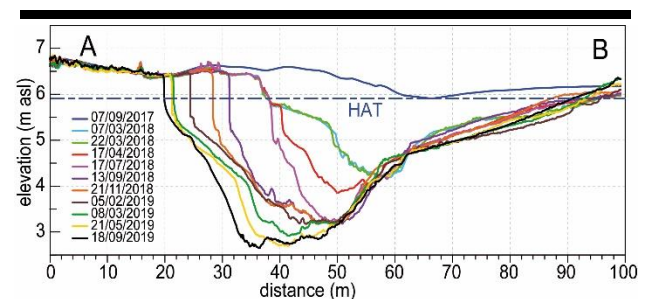


Figure 7. Deepening and widening of the breach from March 2018 to September 2019 (see transect location on Figure 6).

### DISCUSSION

The medium-term morphological survey of the Sillon de Talbert between 2002 and 2019 has confirmed that both longshore and cross-shore sediment transfers have driven the morphological evolution of the spit. Cross-shore sediment transfer reaching  $430,000$  m<sup>3</sup> is the main process driven by overwash during storm events. Four main morphogenetic events combining storm wave and high spring tide levels are responsible

for these transfers: the Johanna storm on March 10, 2008, the cluster of storms during the 2013-2014 winter period, the Imogen storm on February 8, 2016, and the Eleanor storm on January 5, 2018, which generated 111,540 m<sup>3</sup>, 175,435 m<sup>3</sup>, 40,980 m<sup>3</sup>, and 39,500 m<sup>3</sup> of sediment transfer, respectively. The longshore sediment transfer was estimated at about 52,000 m<sup>3</sup> (i.e., 3,100 m<sup>3</sup>.yr<sup>-1</sup> between 2002 and 2019). This occurred due to cannibalization processes inducing the breach opening on the proximal sandy section.

The survey indicated that despite severe crest erosion and landward migration during significant storm events, spit recovery processes take place following these events, so much so as to rebuild the barrier near to its initial state. These processes have been described by Orford and Anthony (2011) as the result of negative feedback mechanisms, and they compare the post-storm morpho-sedimentary adjustment of the barrier to a resilience phenomenon. However, these post-storm resilience processes are much more efficient on the median section due to the longshore sediment transport, which induces significant accretion increasing towards the distal part of the spit, while the proximal section erodes. This explains the cannibalization process and the dislocation of the Sillon de Talbert through the breach opening in its proximal part.

### CONCLUSIONS

The morphological survey of the Sillon de Talbert undertaken between 2002 and 2019 highlighted particular issues and challenges associated with the morphological and sedimentary functioning of gravel spits. The main result is the rapid landward migration of the spit reaching a maximum value of -4 m.y<sup>-1</sup> on the median section. As shown by the hydrodynamic analysis, the storm events control more than 95% of this retreat due to catastrophic overwash/inundation processes. Therefore, the possible increase of storm frequency and/or intensity during the next decades would further weaken the Sillon de Talbert. Considering the total cross-shore sediment transfers (i.e., 430,000 to 440,000 m<sup>3</sup>), about 45 years would be required to remobilize the total volume of the Sillon de Talbert (i.e., 1.23x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>). Therefore, these results clearly illustrate the effectiveness of the rollover process. Finally, the longshore sediment transfer through cannibalization processes due to the cut-off of the longshore sediment transport by coastal defense structures, and the depletion of sediments accumulated on the platform, has led to the opening of a breach in March 2018. The rapid enlargement and deepening of this breach raises the question of the future morphological evolution of the spit barrier towards an "island" of gravel deposits.

### ACKNOWLEDGMENTS

This work was funded by the municipality of Pleubian and the Conservatoire du Littoral. It was also supported by the French "Institut National des Sciences de l'Univers" (INSU) under-program, SNO-DYNALIT, ISblue project ANR-17-EURE-0015, and co-funded by a grant from the French government under the program "Investissements d'Avenir".

### LITERATURE CITED

Carter, R.W.G., and Orford, J.D., 1993. The morphodynamics of coarse clastic beaches and barriers: a short and long-term

perspective. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 15, 158-179.

Forbes D.L., Taylor R.B., Orford J.D., Carter R.W.G., and Shaw J., 1991. Gravel-barrier migration and overstepping. *Marine Geology*, 97(3-4), 305-313.

Masselink, G., and van Heteren S., 2014. Response of wave-dominated and mixed-energy barriers to storms. *Marine Geology*, 352, 321-347.

Matias, A., Williams, J.J., Masselink, G., and Ferreira, Ó., 2012. Overwash threshold for gravel barriers. *Coastal Engineering*, 63, 48-61.

Orford, J.D., and Carter, R.W.G., 1982. Crestal overtop and washover sedimentation on a fringing sandy gravel barrier coast, Carnsore Point, Southeast Ireland. *Journal of Sedimentary Research*, 52(1), 265-278.

Orford, J.D., Carter, R.W.G., and Forbes, D.L. 1991. Gravel barrier migration and sea level rise: some observations from Story Head, Nova Scotia, Canada. *Journal of Coastal Research*, 7(2), 477-488.

Orford J.D., Carter R.W.G. (1995) - Examination of mesoscale forcing of a swash-aligned, gravel barrier from Nova Scotia. *Marine Geology*, 126(1-4), 201-211.

Orford, J.D., Carter, R.W.G. Jennings, S.C., and Hinton, A.C. 1995. Processes and timescales by which a coastal gravel-dominated barrier responds geomorphologically to sea-level rise: Story head barrier, Nova Scotia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20(1), 21-37.

Orford J.D., Carter R.W.G., Jennings S.C. (1996) - Control domains and morphological phases in gravel-dominated coastal barriers of Nova Scotia. *Journal of Coastal Research*, 12 (3), 51-85.

Orford, J.D., Forbes, D.L., and Jennings, S.C., 2002. Organisational controls, typologies and time scales of paraglacial gravel-dominated coastal systems. *Geomorphology*, 48(1-3), 51-85.

Orford J.D., Anthony E.J. (2011) - Extreme events and the morphodynamics of gravel-dominated coastal barriers: strengthening uncertain ground. *Marine Geology*, 290, 41-45.

Pinot, J-P., 1994. Fixer le plan ou gérer le profil : l'exemple du Sillon du Talbert. *Cahiers Nantais*, 41-42, 307-316.

Stéphan P., Suanez S., and Fichaut B., 2010. Franchissement et recul des cordons de galets par rollover. Impact de la tempête du 10 mars 2008 dans l'évolution récente du Sillon de Talbert (Côtes d'Armor, Bretagne). *Norois*, 215, 59-75.

Stéphan, P.; Suanez, S.; and Fichaut B., 2012. Long-term morphodynamic evolution of the Sillon de Talbert gravel barrier (Brittany, France). *Shore & Beach*, 80(1), 19-36.

Stéphan, P., Suanez, S., Fichaut, B., Autret, R., Blaise E., Houron, J., Ammann, J., and Grandjean P., 2018. Monitoring the medium-term retreat of a gravel spit barrier and management strategies, Sillon de Talbert (North Brittany, France). *Ocean & Coastal Management*, 158, 64-82.

Tillmann, T., and Wunderlich, J., 2013. Barrier rollover and spit accretion due to the combined action of storm surge induced washover events and progradation: insights from ground-penetrating radar surveys and sedimentological data. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, 600-605.



*Annexe 2*

Détail des traitements photogrammétriques (rapports)

# Rapport\_Breche\_2019\_02\_05

Rapport de traitement  
07 February 2019





# Données du levé

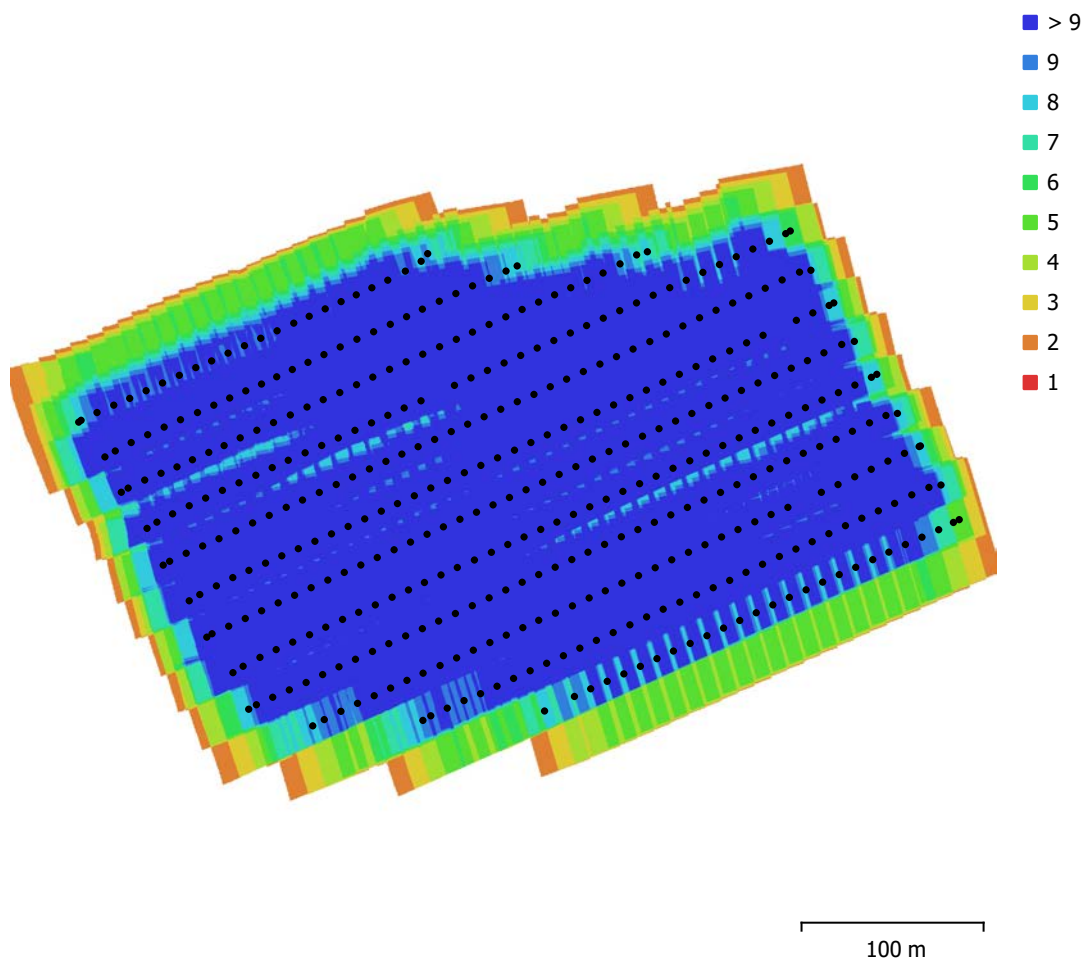


Fig. 1. Emplacements des caméras et chevauchement des images.

Nombre d'images:	427	Stations de caméras:	426
Altitude de vol:	50.4 m	Points de liaison:	251,916
Résolution au sol:	1.25 cm/px	Projections:	1,016,841
Zone de couverture:	0.128 km <sup>2</sup>	Erreur de reprojection:	2.2 px

Modèle de caméra	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel	Précalibré
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	Non

Tableau 1. Caméras.

# Calibration de la caméra

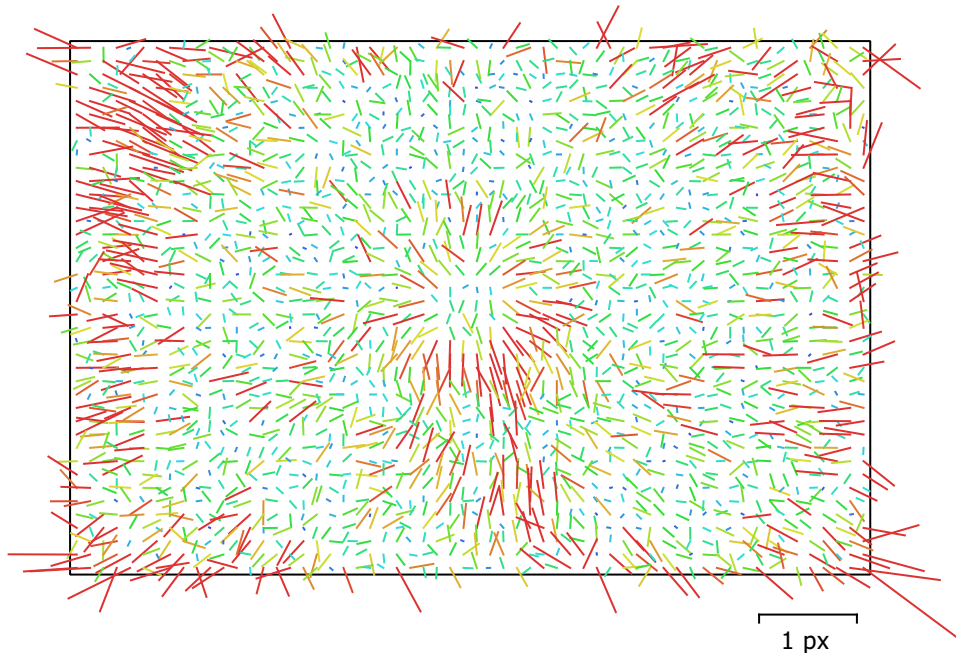


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour FC6310 (8.8mm).

## FC6310 (8.8mm)

427 images

Type  
Cadre

Résolution  
**5472 x 3648**

Longueur focale  
**8.8 mm**

Taille de pixel  
**2.41 x 2.41  $\mu\text{m}$**

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3672.16</b>	1	1.00	0.15	-0.69	0.00	-0.09	0.12	-0.08	0.09
<b>Cx</b>	<b>-5.07722</b>	0.15		1.00	-0.14	-0.02	-0.00	0.01	0.29	-0.05
<b>Cy</b>	<b>-2.99851</b>	0.2			1.00	0.00	0.04	-0.07	0.01	0.03
<b>K1</b>	<b>0.00416095</b>	7e-005				1.00	-0.97	0.91	-0.01	-0.02
<b>K2</b>	<b>-0.00953679</b>	0.00022					1.00	-0.98	0.01	-0.01
<b>K3</b>	<b>0.00984605</b>	0.0002						1.00	-0.02	0.01
<b>P1</b>	<b>-0.000911819</b>	4.3e-006							1.00	-0.11
<b>P2</b>	<b>-0.000909002</b>	3.2e-006								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.



# Points de contrôle au sol



Fig. 3. Emplacements des points de contrôle au sol et estimations d'erreur.

L'erreur Z est représentée par la couleur de l'ellipse. Les erreurs X et Y sont représentées par la forme de l'ellipse. Les emplacements estimés des points de contrôle au sol sont marqués d'un point ou d'une croix.

Nombre	Erreur X (cm)	Erreur Y (cm)	Erreur Z (cm)	Erreur XY (cm)	Total (cm)
19	2.47546	2.48313	0.178297	3.50626	3.51079

Tableau 3. Points de contrôle RMSE.

X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

<b>Etiquette</b>	<b>Erreur X (cm)</b>	<b>Erreur Y (cm)</b>	<b>Erreur Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (px)</b>
cible-02	0.0430252	-0.559071	0.143761	0.57886	0.017 (11)
cible-01	-1.61884	3.1802	-0.275605	3.57914	0.011 (15)
cible-15	2.62167	-1.48614	0.13879	3.01679	0.017 (11)
cible-16	-1.20939	-0.630129	-0.0605432	1.36505	0.020 (10)
cible-14	-2.59831	-3.61572	-0.1252	4.45424	0.021 (15)
cible-19	7.49313	0.0519697	0.0952008	7.49392	0.258 (9)
cible-18	-3.32229	8.56121	0.497098	9.19668	0.107 (14)
cible-17	-0.828834	0.184268	-0.0830585	0.853123	0.173 (12)
cible-03	0.873667	-1.28925	-0.0884487	1.5599	0.008 (15)
cible-08	-0.511534	-2.05646	-0.115694	2.12229	0.020 (13)
cible-05	0.142895	-0.451393	-0.0293445	0.474379	0.004 (10)
cible-07	-1.89002	-0.522619	0.124089	1.96487	0.012 (13)
cible-04	0.462048	-0.89233	0.0829288	1.00828	0.006 (15)
cible-06	-1.33442	1.03938	-0.0388902	1.69189	0.026 (12)
cible-10	3.35633	-0.945088	-0.289783	3.49888	0.021 (11)
cible-09	-1.37625	-1.48532	-0.170529	2.03207	0.025 (11)
cible-11	-2.44123	-0.435376	0.17917	2.48621	0.027 (12)
cible-12	2.26022	2.29805	0.114422	3.22532	0.015 (16)
cible-13	-0.101233	-0.9496	-0.0400371	0.955819	0.031 (16)
<b>Total</b>	<b>2.47546</b>	<b>2.48313</b>	<b>0.178297</b>	<b>3.51079</b>	<b>0.070</b>

Tableau 4. Points de contrôle.  
X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.



# Modèle Numérique d'élévation

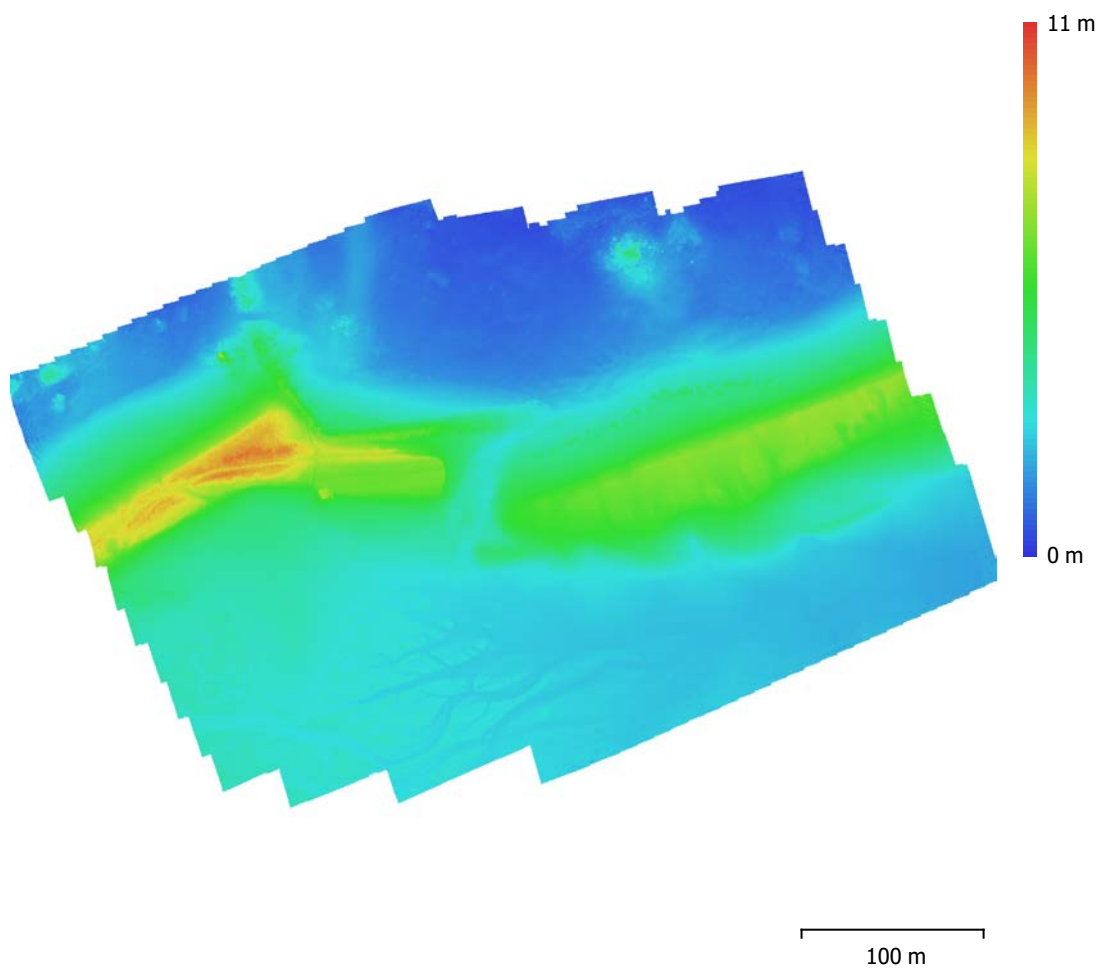


Fig. 4. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.49 cm/px  
Densité des points: 0.161 points/cm<sup>2</sup>

# Paramètres de traitement

## Général

Caméras	427
Caméras alignées	426
Repères	19
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis

## Nuage de point

Points	251,916 de 271,709
Erreur RMS de reprojection	0.136935 (2.20039 px)
Erreur Max de reprojection	0.93183 (55.6956 px)
Taille moyenne de point	15.4667 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Points-clé	Non
Multiplicité moyenne des points de liaison	4.20353

## Paramètres d'alignement

Précision	Basse
Présélection générique	Oui
Présélection par références	Oui
Limite de points	40,000
Limite de points de liaison	4,000
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Temps de concordance	3 minutes 4 secondes
Temps d'alignement	1 minute 43 secondes

## Paramètres d'optimisation

Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	26 secondes

## Cartes de profondeur

Nombre	426
--------	-----

## Paramètres de reconstruction

Qualité	Haute
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	4 heures 24 minutes

## Nuage de points dense

Points	222,888,648
Couleurs des points	3 bandes, uint8

## Paramètres de reconstruction

Qualité	Haute
Filtrage de la profondeur	Agressif
Temps de génération des cartes de profondeur	4 heures 24 minutes
Temps de génération du nuage de points dense	50 minutes 34 secondes

## MNE

Taille	26,596 x 18,777
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)

## Paramètres de reconstruction

Données source	Nuage dense
Interpolation	Activé
Temps de traitement	5 minutes 32 secondes

## Logiciel

Version	1.5.1 build 7618
---------	------------------



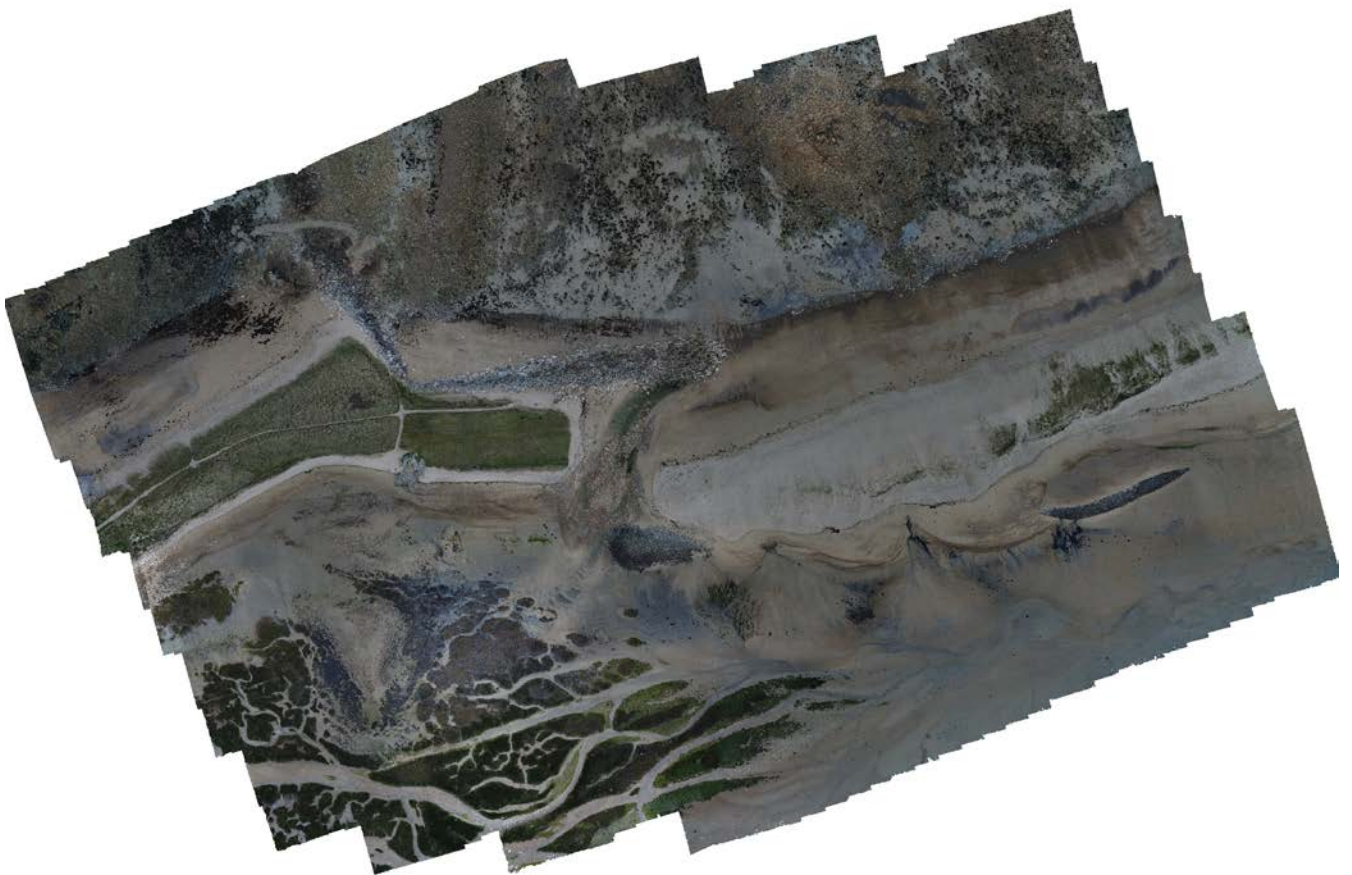
**Général**

Plateforme

Windows 64

# Rapport\_Talbert\_breche\_2019\_03\_08

Rapport de traitement  
12 March 2019



# Données du levé

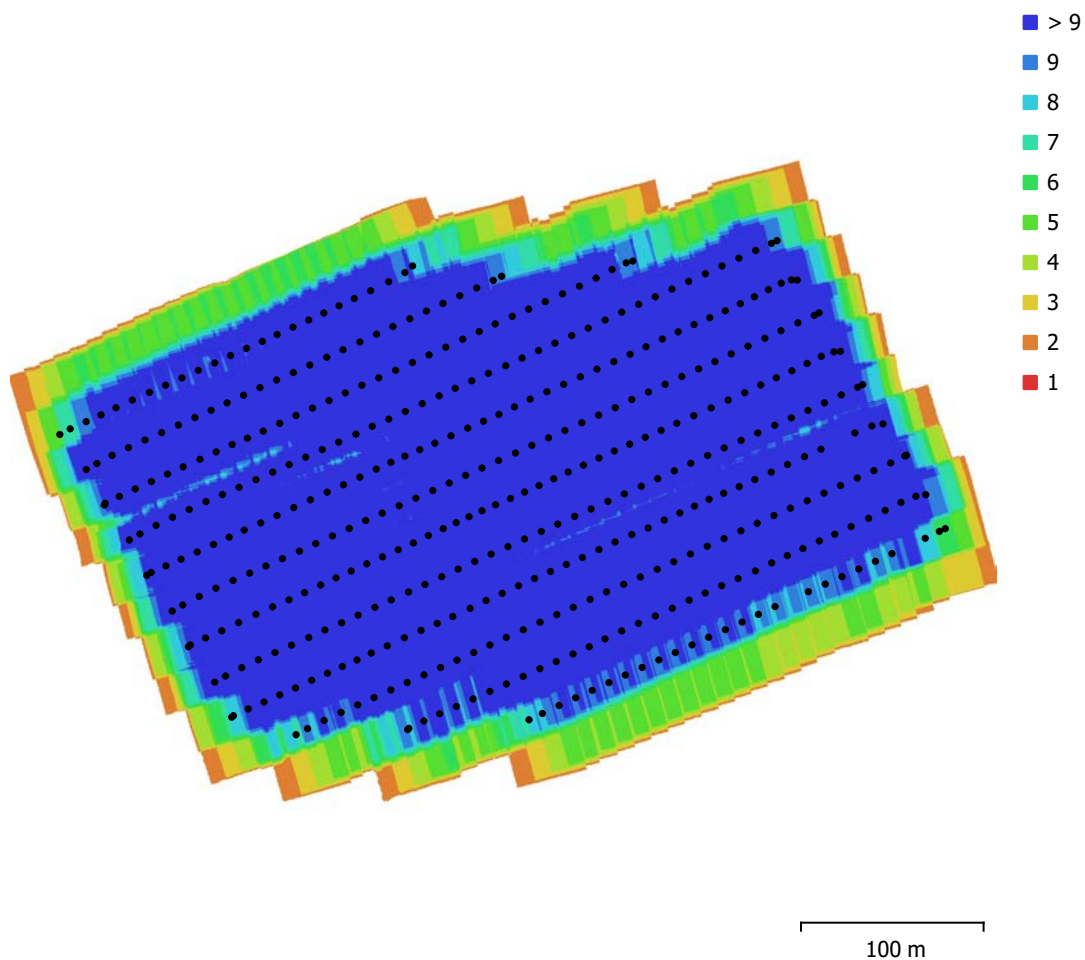


Fig. 1. Emplacements des caméras et chevauchement des images.

Nombre d'images:	438	Stations de caméras:	438
Altitude de vol:	51.4 m	Points de liaison:	281,339
Résolution au sol:	1.28 cm/px	Projections:	1,718,426
Zone de couverture:	0.128 km <sup>2</sup>	Erreur de reprojection:	1.12 px

Modèle de caméra	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel	Précalibré
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 $\mu$ m	Non

Tableau 1. Caméras.



# Calibration de la caméra

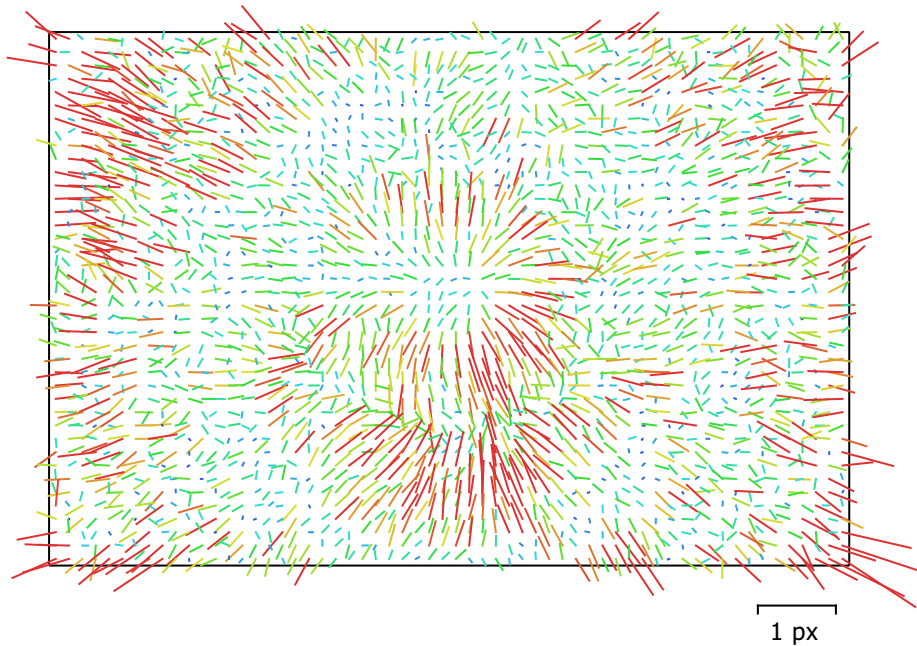


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour FC6310 (8.8mm).

## FC6310 (8.8mm)

438 images

Type  
Cadre

Résolution  
5472 x 3648

Longueur focale  
8.8 mm

Taille de pixel  
2.41 x 2.41  $\mu\text{m}$

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3670.65</b>	0.51	1.00	0.16	-0.00	0.04	-0.16	0.22	-0.08	-0.10
<b>Cx</b>	<b>-3.08269</b>	0.16		1.00	0.06	0.02	-0.04	0.05	0.14	0.06
<b>Cy</b>	<b>9.02084</b>	0.16			1.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.03	0.13
<b>K1</b>	<b>0.00457739</b>	2.2e-005				1.00	-0.96	0.90	0.01	0.00
<b>K2</b>	<b>-0.0110658</b>	6.8e-005					1.00	-0.98	0.01	0.01
<b>K3</b>	<b>0.0113984</b>	6.2e-005						1.00	-0.01	-0.02
<b>P1</b>	<b>-0.000902931</b>	1.4e-006							1.00	-0.02
<b>P2</b>	<b>-0.000889543</b>	1.1e-006								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

# Points de contrôle au sol

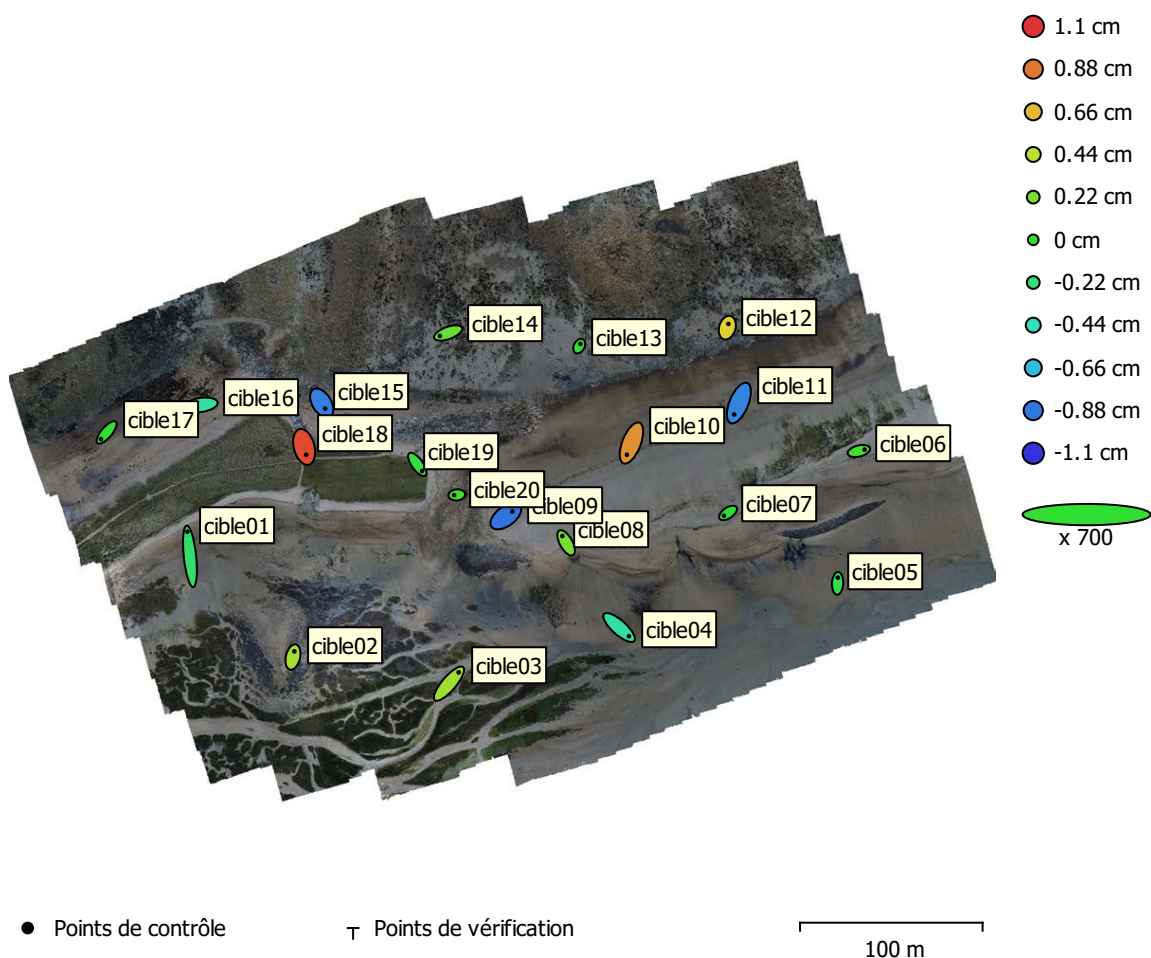


Fig. 3. Emplacements des points de contrôle au sol et estimations d'erreur.

L'erreur Z est représentée par la couleur de l'ellipse. Les erreurs X et Y sont représentées par la forme de l'ellipse. Les emplacements estimés des points de contrôle au sol sont marqués d'un point ou d'une croix.

Nombre	Erreur X (cm)	Erreur Y (cm)	Erreur Z (cm)	Erreur XY (cm)	Total (cm)
20	0.845861	1.32421	0.494223	1.57131	1.6472

Tableau 3. Points de contrôle RMSE.

X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

<b>Etiquette</b>	<b>Erreur X (cm)</b>	<b>Erreur Y (cm)</b>	<b>Erreur Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (px)</b>
cible01	-0.404728	3.85505	-0.174287	3.88016	0.037 (11)
cible02	0.209892	0.886683	0.367634	0.982556	0.094 (14)
cible04	1.53026	-1.36588	-0.368671	2.08404	0.058 (13)
cible03	1.50442	1.7597	0.343149	2.34042	0.074 (14)
cible05	0.0394307	0.891257	-0.0639485	0.894418	0.066 (9)
cible06	0.899205	0.218511	0.0516219	0.926812	0.068 (13)
cible07	-0.633088	-0.432951	0.00346139	0.76698	0.083 (13)
cible08	-0.589202	1.06435	0.202959	1.23337	0.032 (10)
cible09	1.02733	0.751295	-0.891906	1.55414	0.059 (15)
cible20	-0.431529	-0.0471485	0.050666	0.437043	0.160 (13)
cible19	0.746826	-1.04048	-0.054498	1.28192	0.115 (13)
cible18	0.322125	-1.22506	1.02482	1.62936	0.023 (13)
cible15	0.534891	-0.867925	-0.852666	1.32908	0.038 (15)
cible16	-1.47201	-0.211843	-0.356567	1.52933	0.113 (14)
cible17	-0.889388	-1.04288	0.000188769	1.37062	0.044 (15)
cible14	-1.28924	-0.467863	0.161226	1.38095	0.072 (18)
cible12	0.173729	0.586292	0.593166	0.851919	0.074 (17)
cible13	0.17909	0.33844	-0.00789519	0.382984	0.147 (16)
cible11	-0.738199	-1.78785	-0.836941	2.10756	0.059 (15)
cible10	-0.72271	-1.84086	0.796316	2.13195	0.059 (15)
<b>Total</b>	<b>0.845861</b>	<b>1.32421</b>	<b>0.494223</b>	<b>1.6472</b>	<b>0.083</b>

Tableau 4. Points de contrôle.  
X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.



# Modèle Numérique d'élévation

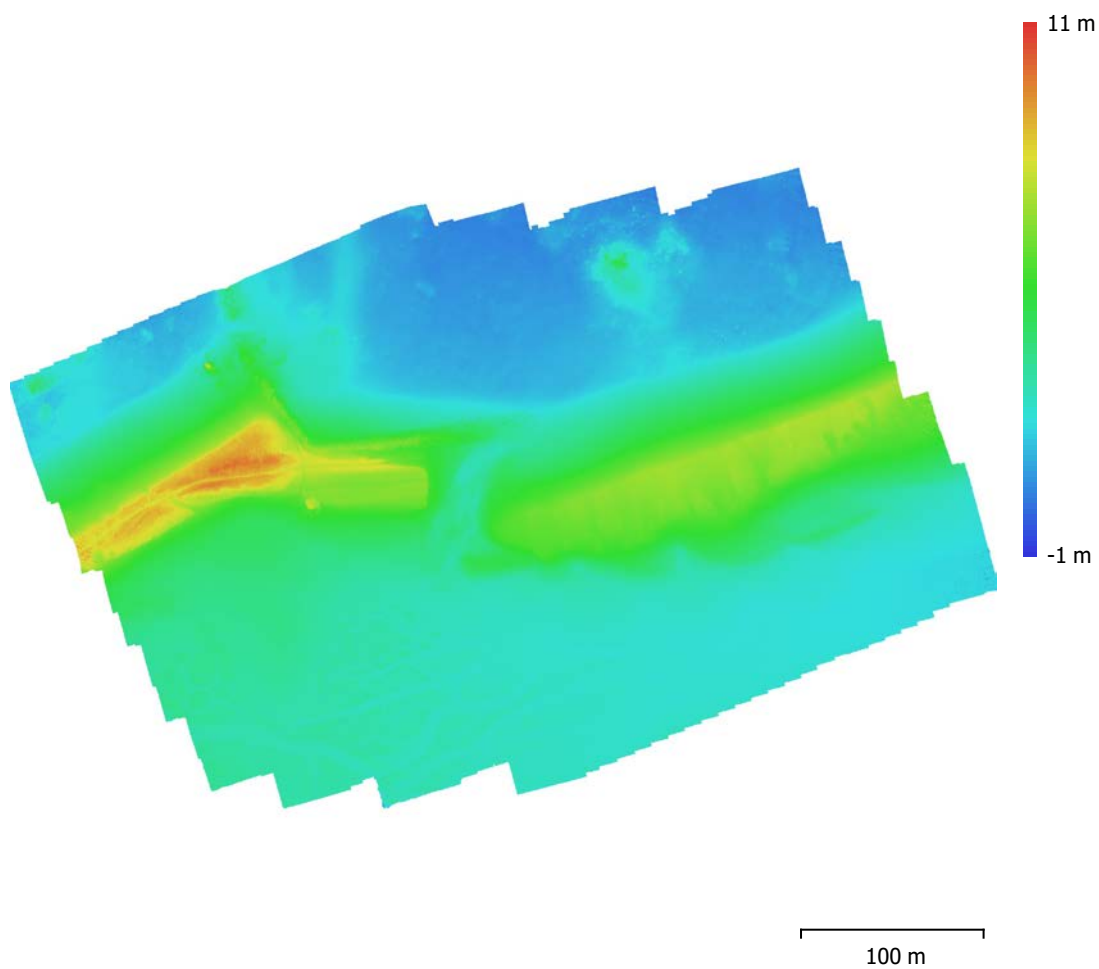


Fig. 4. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.55 cm/px  
Densité des points: 0.154 points/cm<sup>2</sup>

# Paramètres de traitement

## Général

Caméras	438
Caméras alignées	438
Repères	20
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis

## Nuage de point

Points	281,339 de 303,791
Erreur RMS de reprojection	0.153081 (1.12135 px)
Erreur Max de reprojection	0.740644 (37.307 px)
Taille moyenne de point	6.75622 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Points-clé	Non
Multiplicité moyenne des points de liaison	6.24288

## Paramètres d'alignement

Précision	Moyenne
Présélection générique	Oui
Présélection par références	Oui
Limite de points	40,000
Limite de points de liaison	4,000
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Temps de concordance	7 minutes 24 secondes
Temps d'alignement	8 minutes 30 secondes

## Paramètres d'optimisation

Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	37 secondes

## Cartes de profondeur

Nombre	438
--------	-----

## Paramètres de reconstruction

Qualité	Haute
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	4 heures 5 minutes

## Nuage de points dense

Points	215,972,161
Couleurs des points	3 bandes, uint8

## Paramètres de reconstruction

Qualité	Haute
Filtrage de la profondeur	Agressif
Temps de génération des cartes de profondeur	4 heures 5 minutes
Temps de génération du nuage de points dense	1 heure 37 minutes

## MNE

Taille	26,473 x 16,982
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)

## Paramètres de reconstruction

Données source	Nuage dense
Interpolation	Activé
Temps de traitement	12 minutes 46 secondes

## Logiciel

Version	1.5.1 build 7618
---------	------------------

**Général**

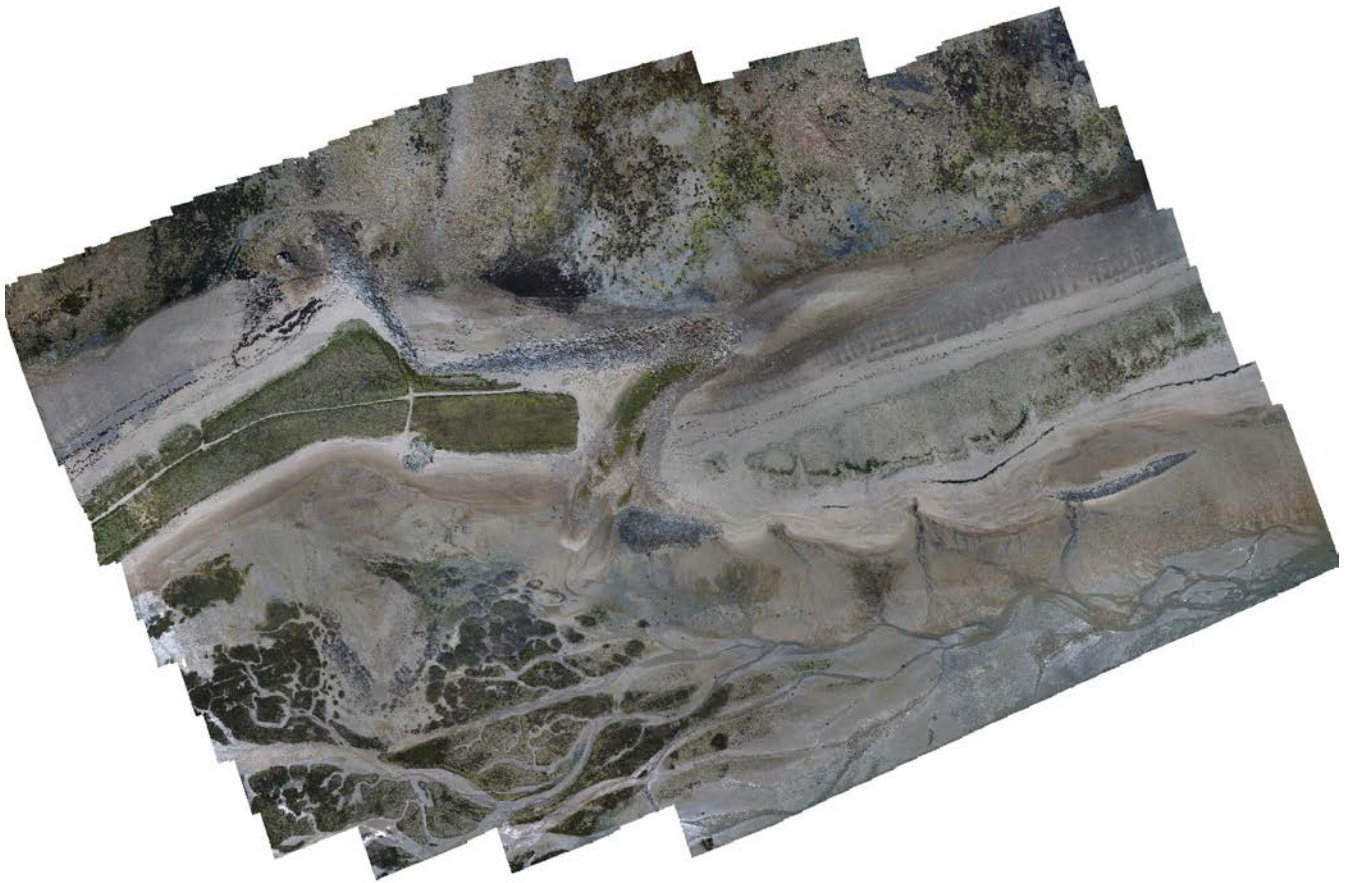
Plateforme

Windows 64



# Talbert\_2019 05 21

Processing Report  
24 May 2019



# Données du levé

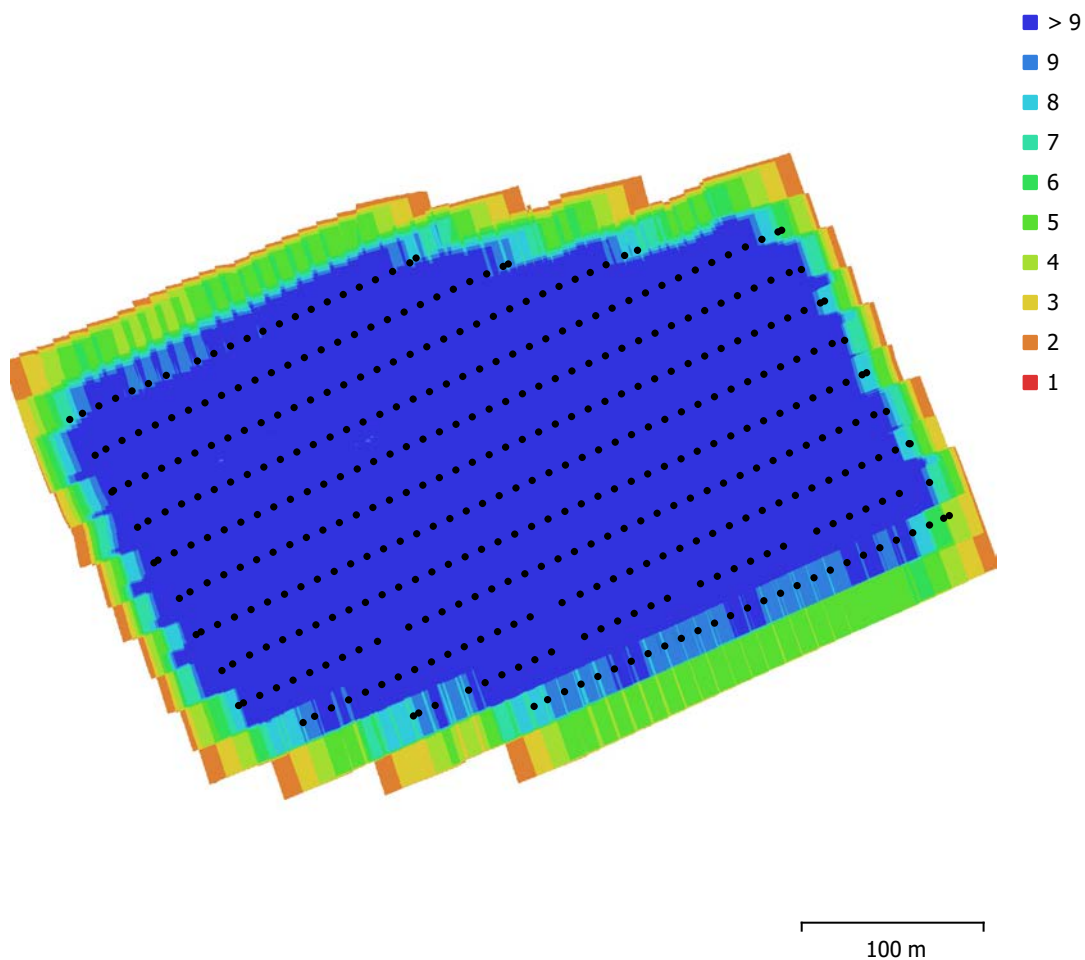


Fig. 1. Emplacements des caméras et chevauchement des images.

Nombre d'images:	421	Stations de caméras:	421
Altitude de vol:	54 m	Points de liaison:	330,818
Résolution au sol:	1.47 cm/px	Projections:	1,686,844
Zone de couverture:	0.13 km <sup>2</sup>	Erreur de reprojection:	0.582 px

Modèle de caméra	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel	Précalibré
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 $\mu$ m	Non

Tableau 1. Caméras.

# Calibration de la caméra

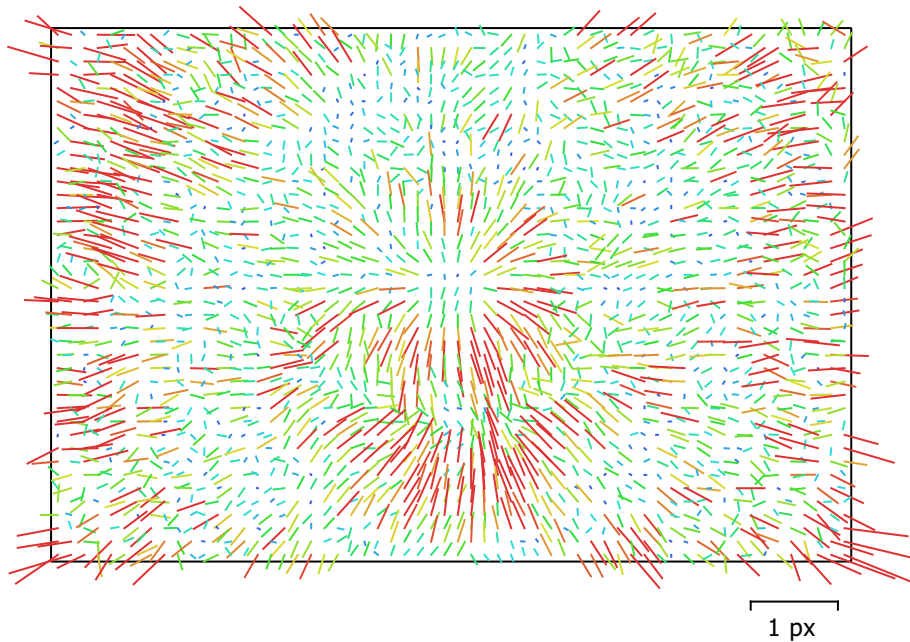


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour FC6310 (8.8mm).

## FC6310 (8.8mm)

421 images

Type  
Cadre

Résolution  
**5472 x 3648**

Longueur focale  
**8.8 mm**

Taille de pixel  
**2.41 x 2.41  $\mu\text{m}$**

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3682.67</b>	0.56	1.00	0.09	-0.62	0.06	-0.20	0.30	-0.11	-0.04
<b>Cx</b>	<b>-4.85485</b>	0.1		1.00	-0.05	0.00	-0.01	0.03	0.16	-0.07
<b>Cy</b>	<b>9.23821</b>	0.13			1.00	-0.04	0.12	-0.19	-0.02	0.22
<b>K1</b>	<b>0.00532444</b>	1.5e-005				1.00	-0.95	0.88	0.00	-0.01
<b>K2</b>	<b>-0.0112979</b>	4.5e-005					1.00	-0.98	0.02	-0.02
<b>K3</b>	<b>0.0115134</b>	4.1e-005						1.00	-0.03	0.02
<b>P1</b>	<b>-0.000775519</b>	1.1e-006							1.00	-0.06
<b>P2</b>	<b>-0.000854025</b>	9.6e-007								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.



# Points de contrôle au sol

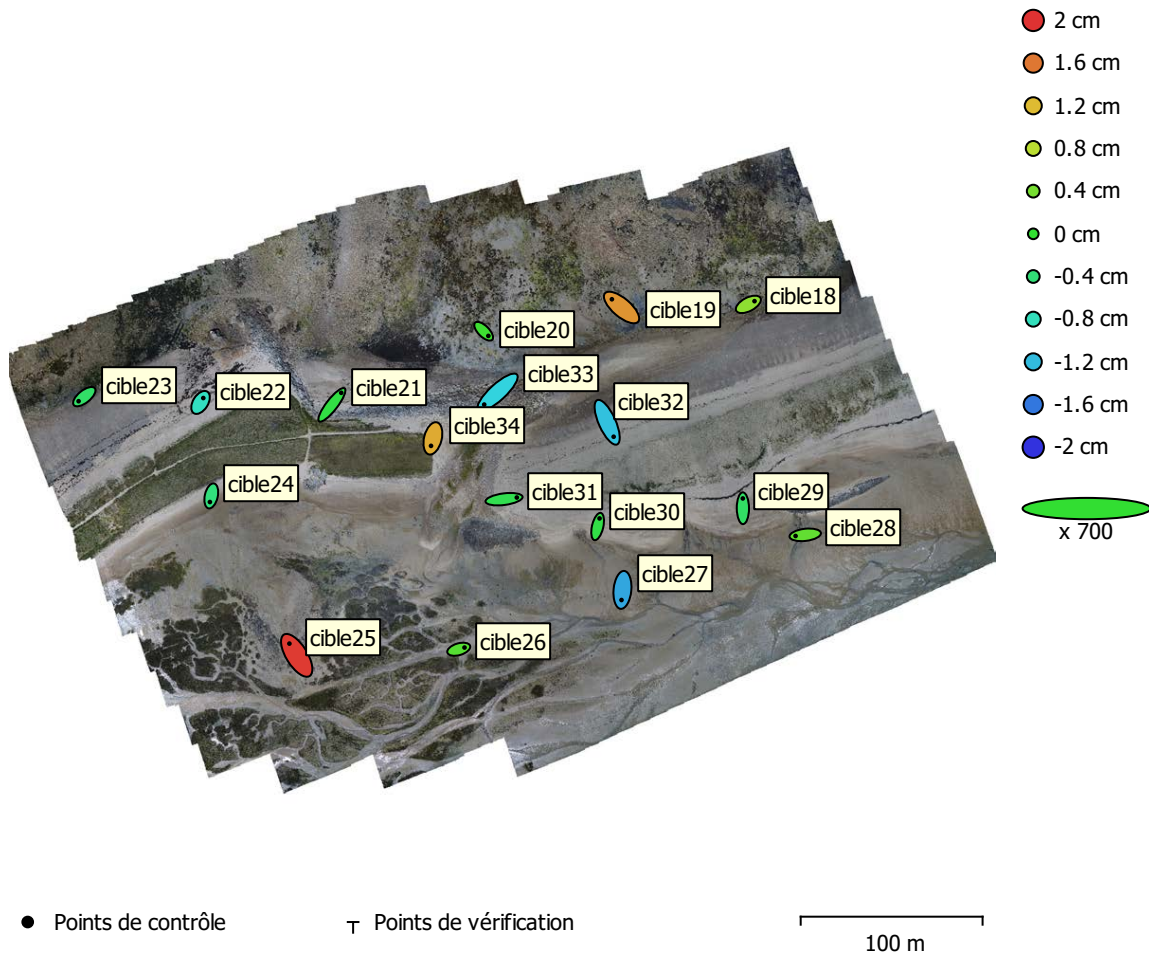


Fig. 3. Emplacements des points de contrôle au sol et estimations d'erreur.

L'erreur Z est représentée par la couleur de l'ellipse. Les erreurs X et Y sont représentées par la forme de l'ellipse. Les emplacements estimés des points de contrôle au sol sont marqués d'un point ou d'une croix.

Nombre	Erreur X (cm)	Erreur Y (cm)	Erreur Z (cm)	Erreur XY (cm)	Total (cm)
17	1.11337	1.28915	0.884204	1.70338	1.9192

Tableau 3. Points de contrôle RMSE.

X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

<b>Etiquette</b>	<b>Erreur X (cm)</b>	<b>Erreur Y (cm)</b>	<b>Erreur Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (px)</b>
cible23	-0.896128	-0.714294	-0.306576	1.18628	0.076 (9)
cible22	0.431689	0.688346	-0.829673	1.16126	0.207 (14)
cible21	1.46612	1.89117	-0.101734	2.39508	0.076 (18)
cible24	-0.217206	-0.959706	-0.42893	1.0734	0.182 (16)
cible25	-1.14703	1.84503	1.9491	2.9187	0.044 (16)
cible34	-0.294394	-1.17717	1.29888	1.77749	0.200 (15)
cible33	-2.09897	-1.9228	-1.06	3.0375	0.150 (15)
cible26	0.902126	0.265064	0.202104	0.961736	0.097 (14)
cible31	2.00889	0.259744	-0.173234	2.033	0.140 (16)
cible30	0.300812	1.27285	-0.122121	1.3136	0.173 (14)
cible29	-0.0115689	1.53544	-0.292483	1.56309	0.045 (14)
cible28	-1.51773	-0.178669	0.279454	1.55355	0.122 (14)
cible27	-0.150227	-1.58993	-1.32459	2.07484	0.126 (14)
cible32	1.01761	-2.26834	-1.16704	2.74643	0.115 (14)
cible18	0.966058	0.504675	0.535157	1.21423	0.138 (22)
cible19	-1.51753	1.29466	1.43089	2.45489	0.111 (15)
cible20	0.735586	-0.729778	0.0691517	1.03848	0.205 (22)
<b>Total</b>	<b>1.11337</b>	<b>1.28915</b>	<b>0.884204</b>	<b>1.9192</b>	<b>0.142</b>

Tableau 4. Points de contrôle.  
X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

# Modèle Numérique d'élévation

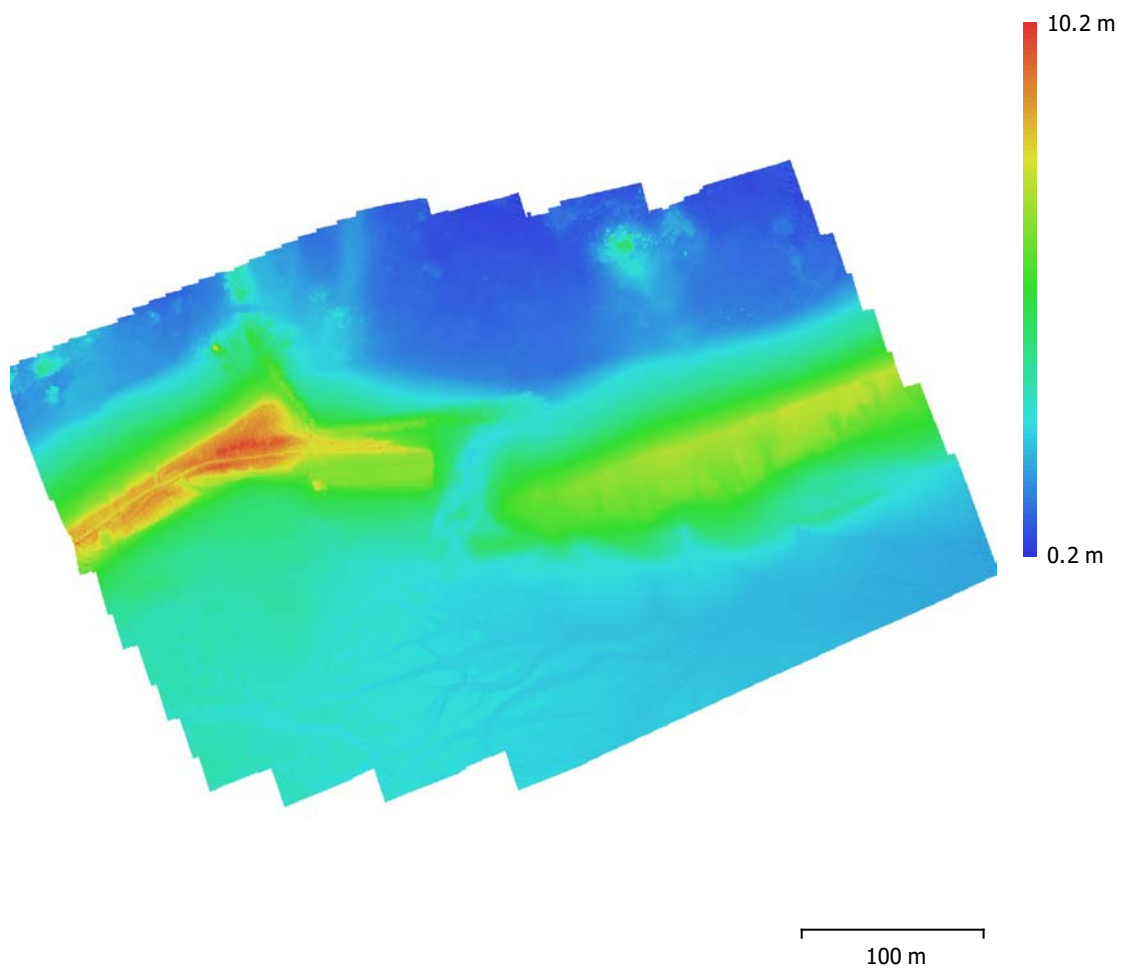


Fig. 4. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.67 cm/px  
Densité des points: 0.14 points/cm<sup>2</sup>



# Paramètres de traitement

## Général

Caméras	421
Caméras alignées	421
Repères	17
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis

## Nuage de point

Points	330,818 de 345,137
Erreur RMS de reprojection	0.190709 (0.582261 px)
Erreur Max de reprojection	0.813167 (23.2247 px)
Taille moyenne de point	3.08099 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Points-clé	Non
Multiplicité moyenne des points de liaison	5.21504

## Paramètres d'optimisation

Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	36 secondes

## Cartes de profondeur

Nombre	421
--------	-----

## Nuage de points dense

Points	195,391,154
Couleurs des points	3 bandes, uint8

## MNE

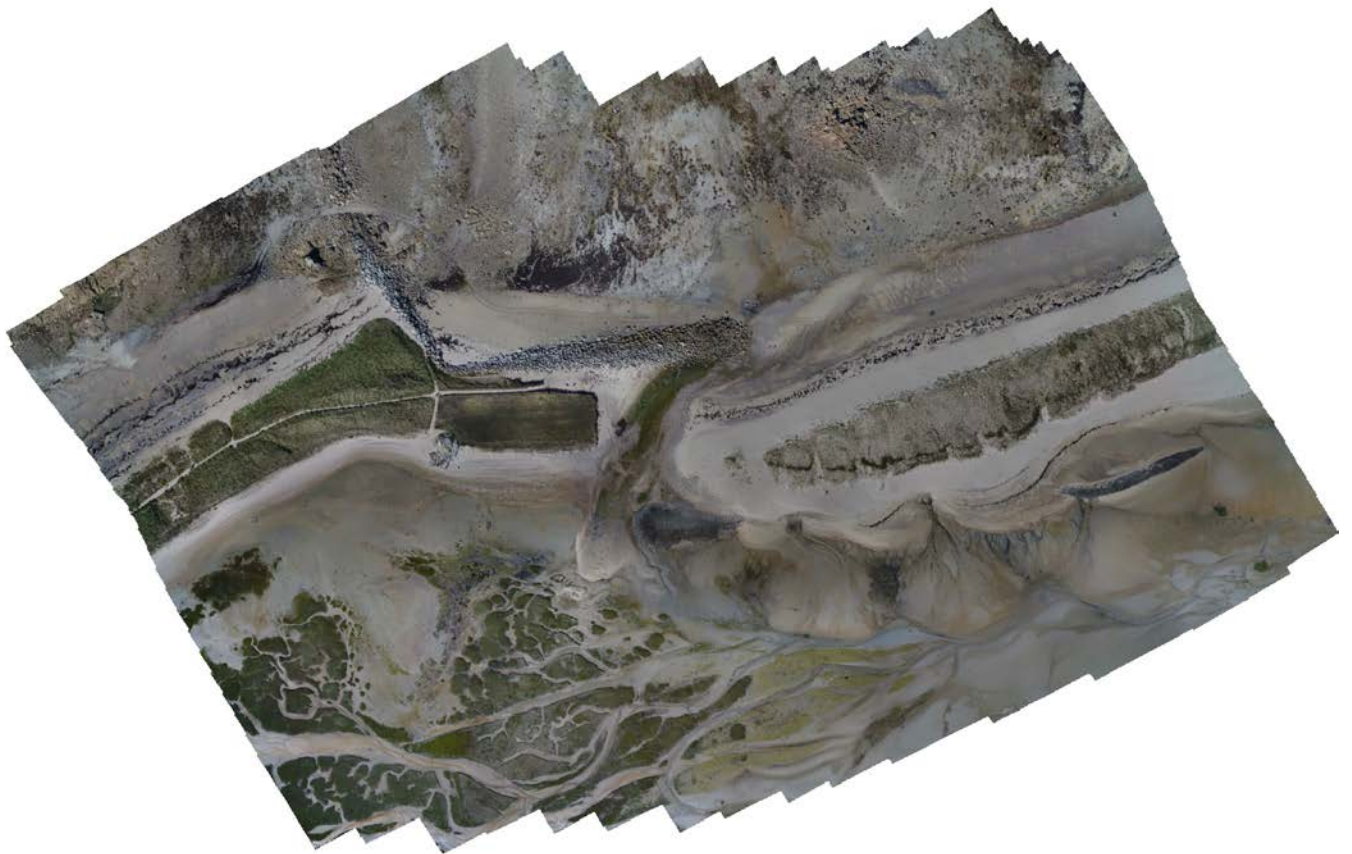
Taille	24,746 x 15,604
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)

## Logiciel

Version	1.5.1 build 7618
Plateforme	Windows 64

# Rapport\_Talbert\_2019\_09\_18

Processing Report  
19 September 2019



# Données du levé

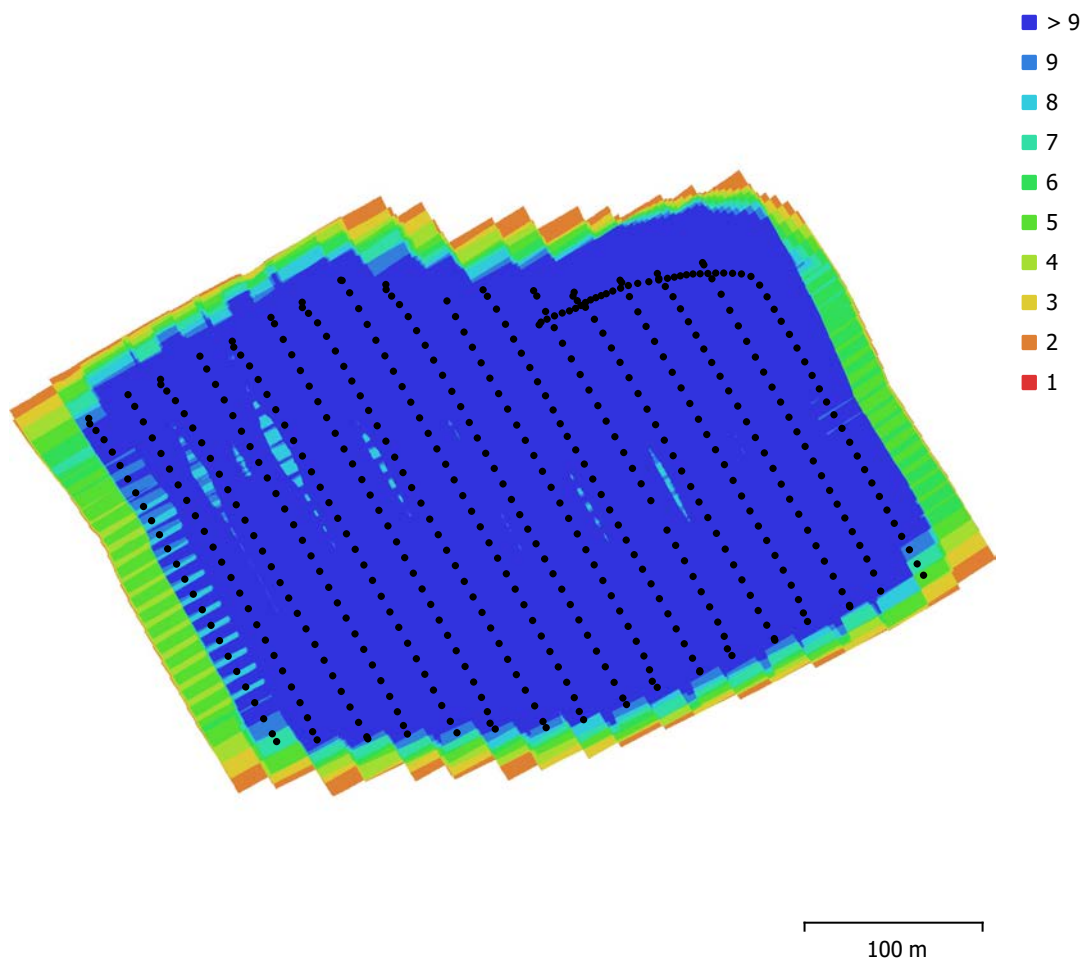


Fig. 1. Emplacements des caméras et chevauchement des images.

Nombre d'images:	489	Stations de caméras:	489
Altitude de vol:	53.1 m	Points de liaison:	291,396
Résolution au sol:	1.45 cm/px	Projections:	1,940,859
Zone de couverture:	0.128 km <sup>2</sup>	Erreur de reprojection:	0.563 px

Modèle de caméra	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel	Précalibré
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 $\mu\text{m}$	Non

Tableau 1. Caméras.

# Calibration de la caméra

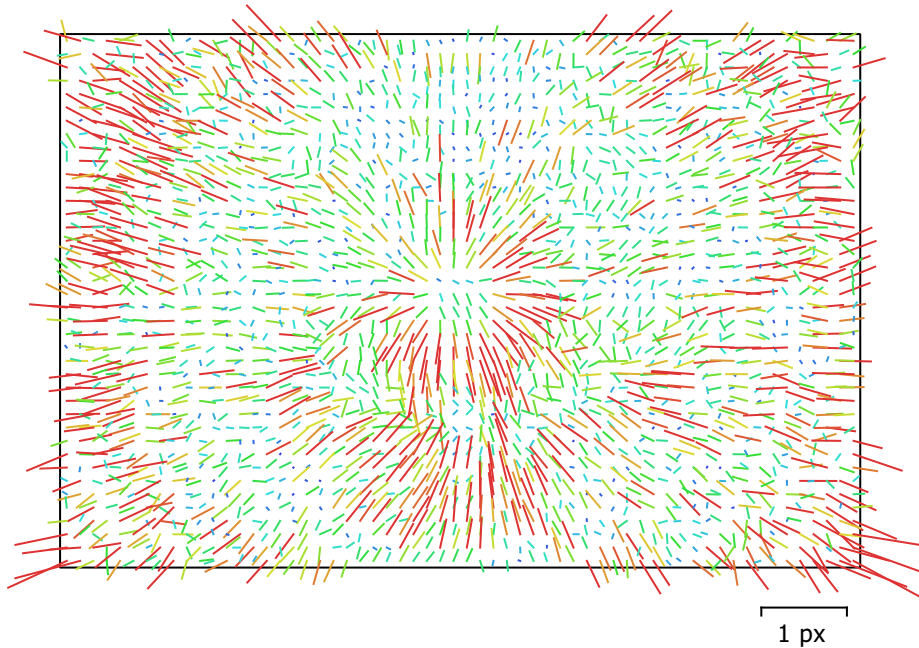


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour FC6310 (8.8mm).

## FC6310 (8.8mm)

489 images

Type  
Cadre

Résolution  
5472 x 3648

Longueur focale  
8.8 mm

Taille de pixel  
2.41 x 2.41  $\mu\text{m}$

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3658.21</b>	0.39	1.00	0.29	-0.69	0.01	-0.05	0.12	-0.07	-0.11
<b>Cx</b>	<b>-5.23152</b>	0.068		1.00	-0.18	0.01	-0.02	0.04	0.23	-0.02
<b>Cy</b>	<b>11.7685</b>	0.086			1.00	-0.01	0.04	-0.08	0.04	0.19
<b>K1</b>	<b>0.00453244</b>	1.2e-005				1.00	-0.97	0.91	-0.00	-0.01
<b>K2</b>	<b>-0.00768704</b>	3.4e-005					1.00	-0.98	0.00	0.01
<b>K3</b>	<b>0.00780053</b>	3e-005						1.00	-0.01	-0.02
<b>P1</b>	<b>-0.000688493</b>	9.6e-007							1.00	0.07
<b>P2</b>	<b>-0.000879785</b>	7.8e-007								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.



# Points de contrôle au sol

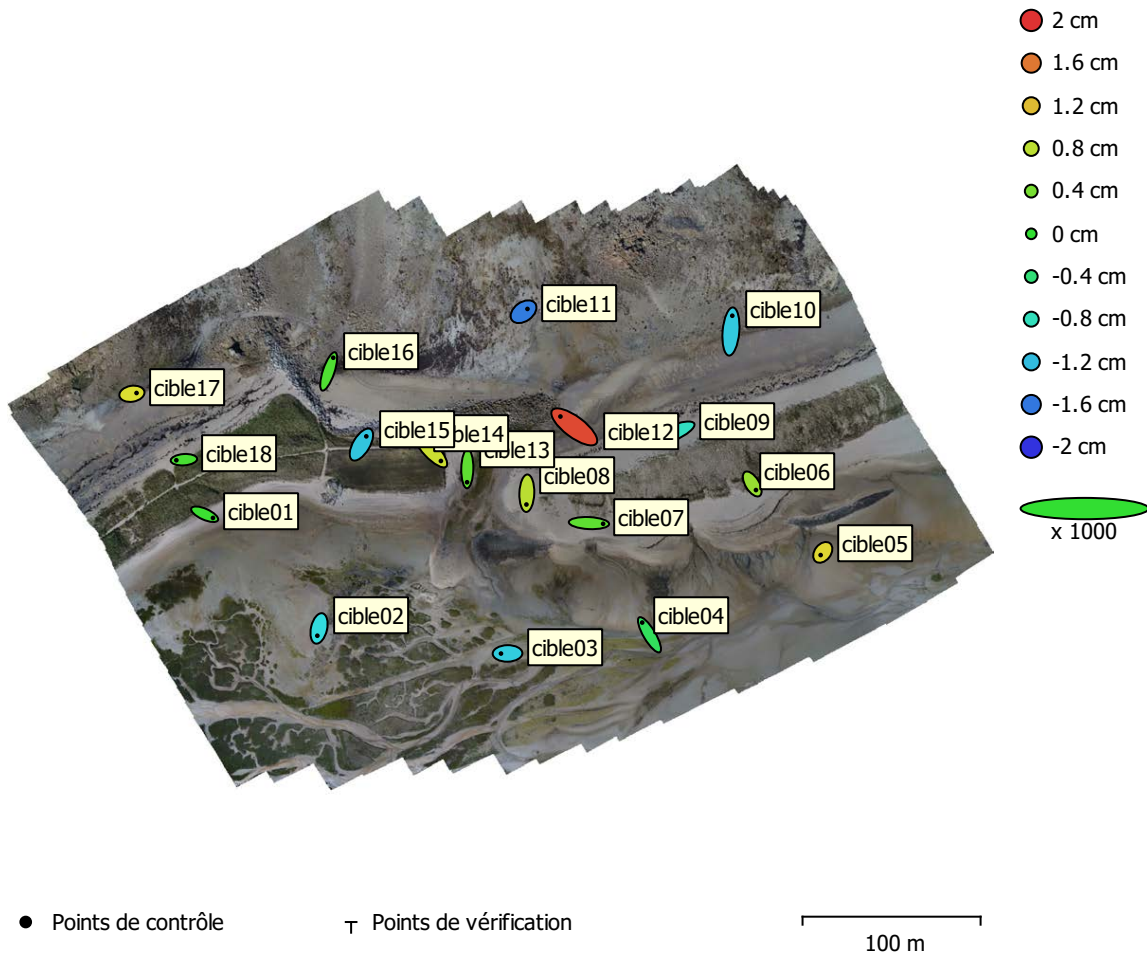


Fig. 3. Emplacements des points de contrôle au sol et estimations d'erreur.

L'erreur Z est représentée par la couleur de l'ellipse. Les erreurs X et Y sont représentées par la forme de l'ellipse. Les emplacements estimés des points de contrôle au sol sont marqués d'un point ou d'une croix.

Nombre	Erreur X (cm)	Erreur Y (cm)	Erreur Z (cm)	Erreur XY (cm)	Total (cm)
18	0.872298	0.976078	0.930562	1.30906	1.60611

Tableau 3. Points de contrôle RMSE.

X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

<b>Etiquette</b>	<b>Erreur X (cm)</b>	<b>Erreur Y (cm)</b>	<b>Erreur Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (px)</b>
cible11	0.440228	0.314177	-1.57062	1.66113	0.069 (30)
cible01	0.933305	-0.415788	0.0572425	1.02334	0.097 (12)
cible02	-0.188864	-0.819721	-1.01523	1.31845	0.027 (14)
cible04	-0.816689	1.3748	-0.243653	1.61754	0.091 (16)
cible05	-0.239248	-0.304804	1.04722	1.11661	0.100 (16)
cible06	0.4178	-0.682885	0.588912	0.993835	0.082 (15)
cible07	1.59051	-0.0783819	0.254673	1.61268	0.121 (13)
cible08	-0.0448799	-1.26933	0.791428	1.49652	0.054 (14)
cible13	-0.0264243	-1.51269	0.260975	1.53527	0.024 (15)
cible14	1.1544	-1.23325	0.895271	1.91182	0.039 (14)
cible12	-1.55594	1.1655	1.87077	2.69798	0.182 (15)
cible15	0.550265	0.924863	-1.1524	1.57676	0.091 (10)
cible16	0.51617	1.53557	0.168094	1.6287	0.219 (15)
cible09	-1.81228	-0.780086	-0.833041	2.14169	0.040 (14)
cible10	0.150552	1.77144	-1.12348	2.10306	0.060 (18)
cible17	0.51963	0.0863002	0.988442	1.12004	0.040 (15)
cible18	-0.850113	-0.0620461	0.126693	0.861738	0.143 (14)
cible03	-0.736169	-0.0154997	-1.10329	1.32644	0.208 (16)
<b>Total</b>	<b>0.872298</b>	<b>0.976078</b>	<b>0.930562</b>	<b>1.60611</b>	<b>0.110</b>

Tableau 4. Points de contrôle.  
X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

# Modèle Numérique d'élévation

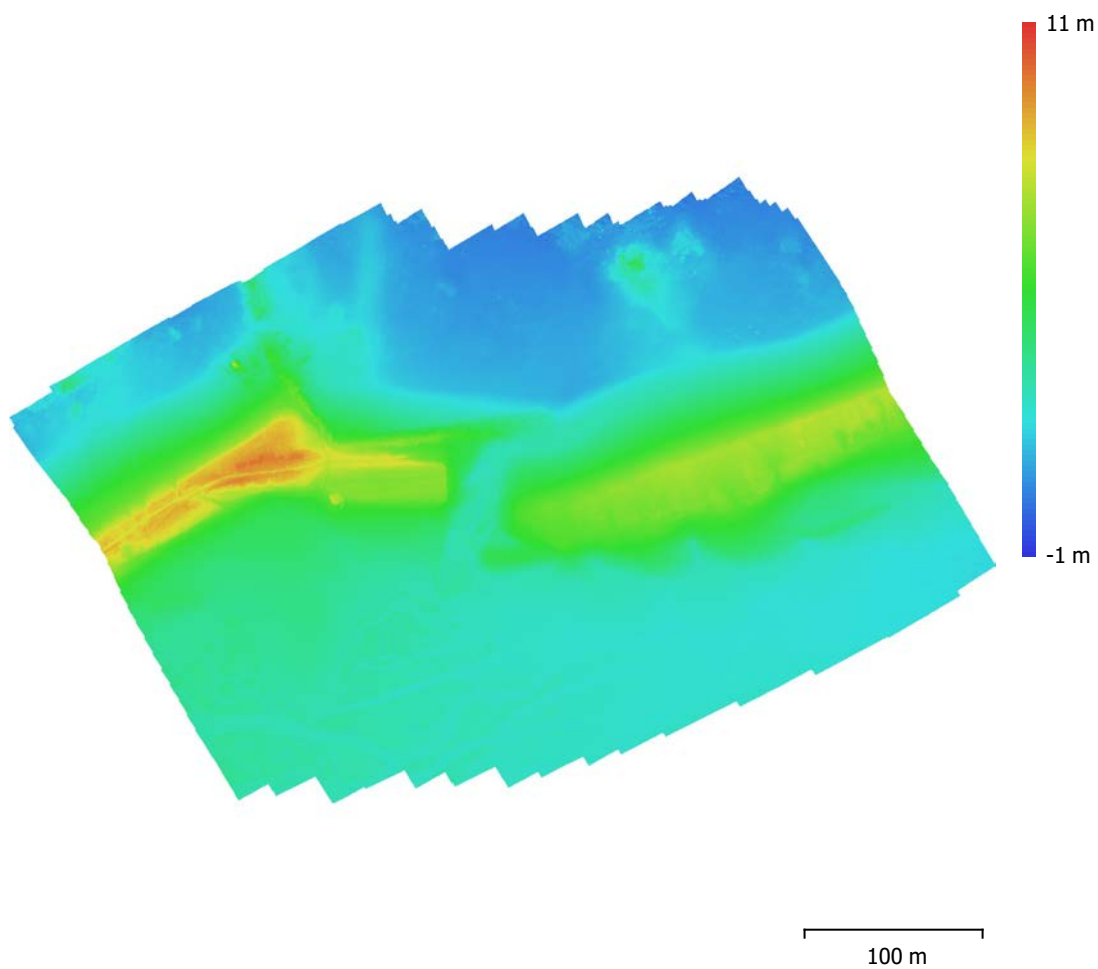


Fig. 4. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.63 cm/px  
Densité des points: 0.144 points/cm<sup>2</sup>

# Paramètres de traitement

## Général

Caméras	489
Caméras alignées	489
Repères	18
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis

## Nuage de point

Points	291,396 de 307,352
Erreur RMS de reprojection	0.193934 (0.562598 px)
Erreur Max de reprojection	0.8278 (30.9453 px)
Taille moyenne de point	2.80933 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Points-clé	Non
Multiplicité moyenne des points de liaison	6.88965

## Paramètres d'optimisation

Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	32 secondes

## Cartes de profondeur

Nombre	489
--------	-----

## Nuage de points dense

Points	195,553,075
Couleurs des points	3 bandes, uint8

## MNE

Taille	24,177 x 15,869
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)

## Orthomosaïque

Taille	42,083 x 26,723
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Couleurs	3 bandes, uint8

## Paramètres de reconstruction

Mode de fusion	Mosaïque
Activer le remplissage des trous	Oui

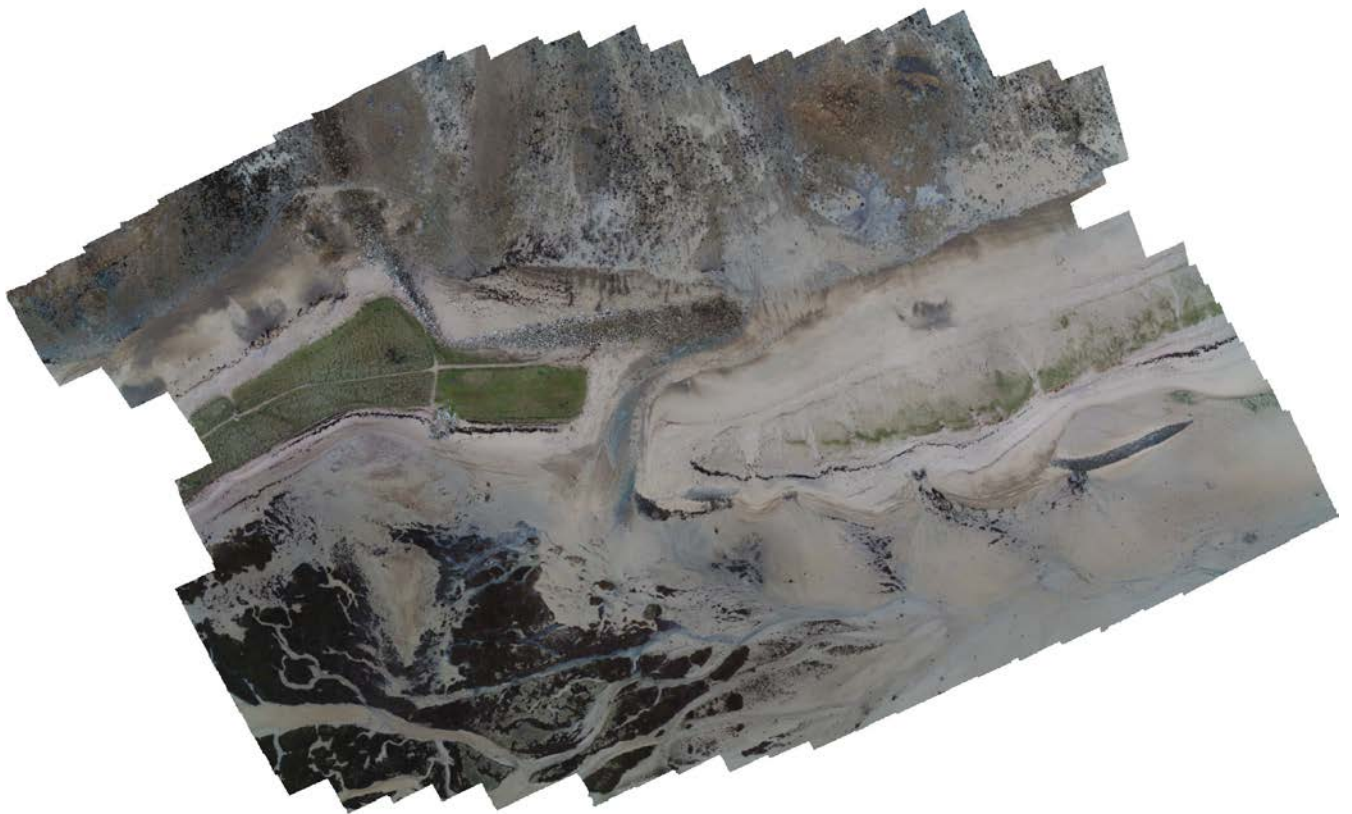
## Logiciel

Version	1.5.1 build 7618
Plateforme	Windows 64



# Rapport\_Talbert\_2019\_12\_17

Processing Report  
18 December 2019



# Données du levé

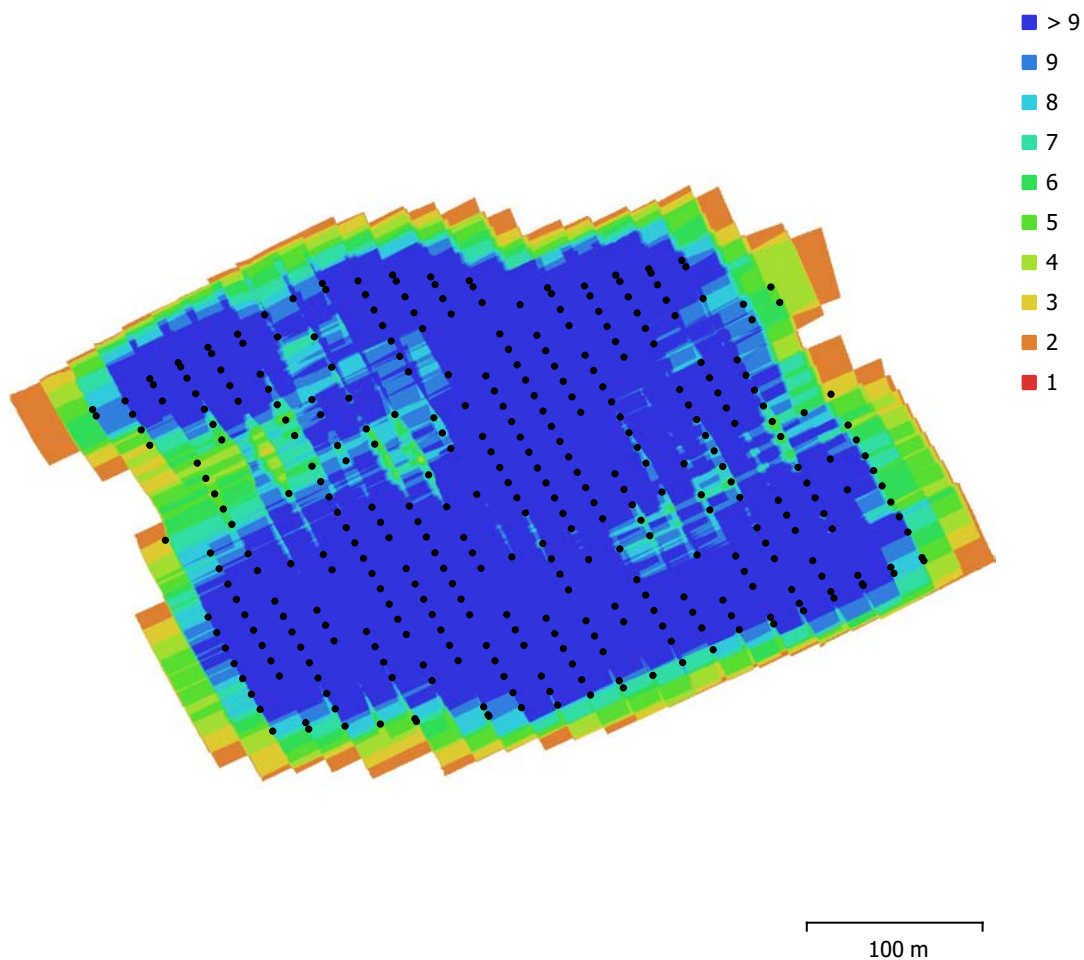


Fig. 1. Emplacements des caméras et chevauchement des images.

Nombre d'images:	536	Stations de caméras:	347
Altitude de vol:	54.4 m	Points de liaison:	245,981
Résolution au sol:	1.49 cm/px	Projections:	1,387,664
Zone de couverture:	0.124 km <sup>2</sup>	Erreur de reprojection:	0.555 px

Modèle de caméra	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel	Précalibré
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 $\mu$ m	Non

Tableau 1. Caméras.

# Calibration de la caméra

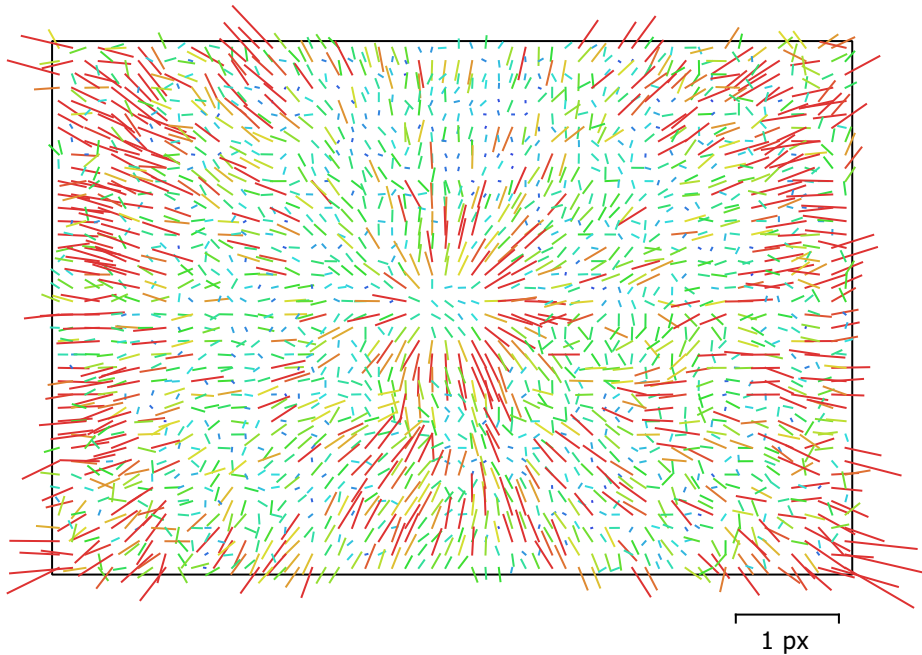


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour FC6310 (8.8mm).

## FC6310 (8.8mm)

536 images

Type  
Cadre

Résolution  
5472 x 3648

Longueur focale  
8.8 mm

Taille de pixel  
2.41 x 2.41  $\mu\text{m}$

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3658.56</b>	0.32	1.00	0.07	-0.55	-0.01	-0.01	0.05	-0.05	-0.12
<b>Cx</b>	<b>-7.35856</b>	0.08		1.00	-0.06	-0.00	-0.00	0.01	0.15	-0.04
<b>Cy</b>	<b>8.66075</b>	0.097			1.00	0.00	0.00	-0.03	0.01	0.26
<b>K1</b>	<b>0.00434393</b>	1.4e-005				1.00	-0.97	0.92	-0.00	-0.01
<b>K2</b>	<b>-0.00752215</b>	4.3e-005					1.00	-0.98	-0.00	0.00
<b>K3</b>	<b>0.00752654</b>	3.8e-005						1.00	-0.00	-0.01
<b>P1</b>	<b>-0.000793345</b>	1.2e-006							1.00	0.01
<b>P2</b>	<b>-0.00103878</b>	9.8e-007								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

# Points de contrôle au sol

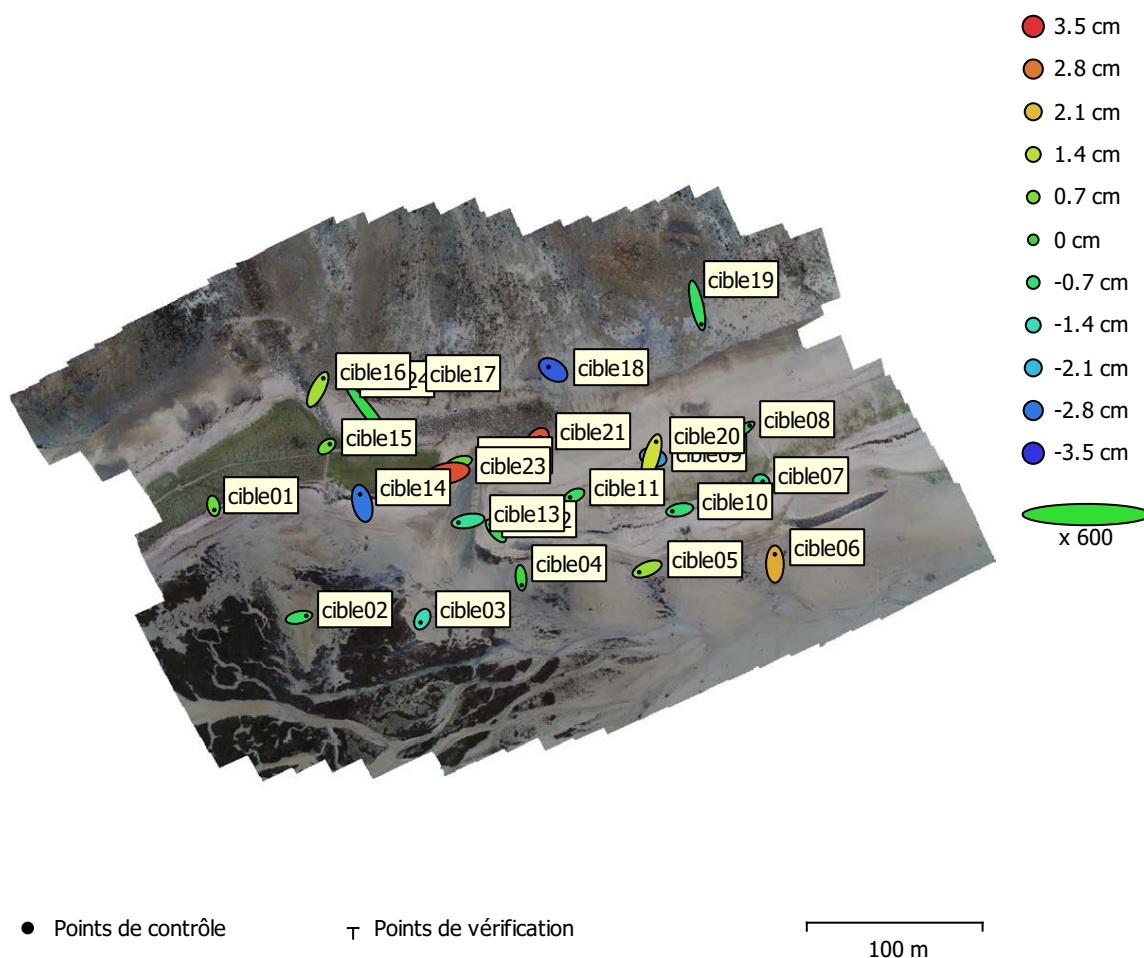


Fig. 3. Emplacements des points de contrôle au sol et estimations d'erreur.

L'erreur Z est représentée par la couleur de l'ellipse. Les erreurs X et Y sont représentées par la forme de l'ellipse. Les emplacements estimés des points de contrôle au sol sont marqués d'un point ou d'une croix.

Nombre	Erreur X (cm)	Erreur Y (cm)	Erreur Z (cm)	Erreur XY (cm)	Total (cm)
24	1.39379	1.66479	1.57613	2.17121	2.68298

Tableau 3. Points de contrôle RMSE.

X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.



<b>Etiquette</b>	<b>Erreur X (cm)</b>	<b>Erreur Y (cm)</b>	<b>Erreur Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Image (px)</b>
cible01	0.152931	-0.782358	0.547536	0.967092	0.166 (6)
cible02	1.38257	0.296481	-0.472071	1.49072	0.066 (15)
cible03	-0.330499	-0.620059	-1.29969	1.47746	0.161 (12)
cible04	0.129663	-1.39719	-0.0456481	1.40394	0.042 (12)
cible12	-0.982956	1.16374	-0.447197	1.5876	0.084 (12)
cible13	-1.81776	-0.31343	-1.06154	2.12823	0.068 (9)
cible05	-1.50153	-0.61013	1.0542	1.93344	0.139 (10)
cible06	-0.00979028	1.85867	2.27851	2.94047	0.027 (15)
cible07	0.280141	-0.0769542	-0.924694	0.969258	0.187 (11)
cible08	2.47689	1.53568	-0.13841	2.91761	0.081 (12)
cible09	0.843778	-0.21924	-2.42253	2.57462	0.039 (12)
cible20	0.858123	2.8552	1.58786	3.37785	0.026 (12)
cible11	-0.811159	-0.36381	-0.444068	0.993747	0.045 (15)
cible10	-1.37867	-0.27095	-0.664866	1.55441	0.075 (6)
cible22	-1.32827	-0.399814	0.457547	1.46065	0.144 (11)
cible23	-2.30048	-0.44356	3.2174	3.98002	0.180 (10)
cible24	3.92697	-5.01362	-0.214391	6.37208	0.058 (9)
cible15	0.57032	0.452304	0.56534	0.921658	0.146 (10)
cible14	-0.414308	1.71597	-2.79834	3.30861	0.025 (10)
cible16	1.04872	2.08889	1.12724	2.59498	0.024 (8)
cible17	-1.37319	0.643608	0.393613	1.56678	0.072 (9)
cible18	-0.89198	0.564065	-3.06175	3.23854	0.141 (19)
cible21	0.635468	0.922095	3.17411	3.36587	0.120 (17)
cible19	0.810867	-3.58359	-0.491259	3.70688	0.099 (10)
<b>Total</b>	<b>1.39379</b>	<b>1.66479</b>	<b>1.57613</b>	<b>2.68298</b>	<b>0.105</b>

Tableau 4. Points de contrôle.  
X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

# Modèle Numérique d'élévation

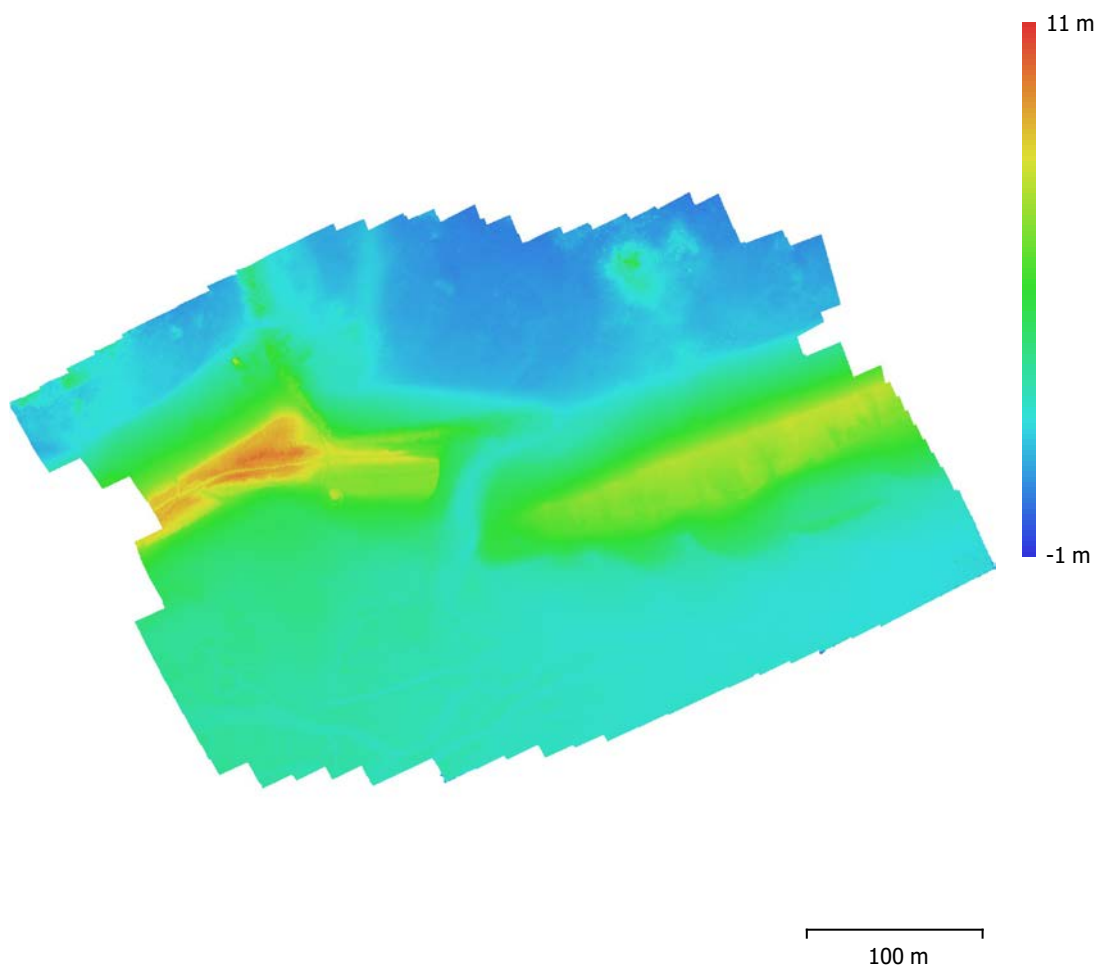


Fig. 4. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.7 cm/px  
Densité des points: 0.137 points/cm<sup>2</sup>

# Paramètres de traitement

## Général

Caméras	536
Caméras alignées	347
Repères	24
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis

## Nuage de point

Points	245,981 de 522,211
Erreur RMS de reprojection	0.169345 (0.555296 px)
Erreur Max de reprojection	0.617983 (22.1577 px)
Taille moyenne de point	3.40111 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Points-clé	Non
Multiplicité moyenne des points de liaison	4.34121

## Paramètres d'optimisation

Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	21 secondes

## Cartes de profondeur

Nombre	347
--------	-----

## Nuage de points dense

Points	184,230,447
Couleurs des points	3 bandes, uint8

## MNE

Taille	23,130 x 15,227
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)

## Orthomosaïque

Taille	41,573 x 25,125
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Couleurs	3 bandes, uint8

## Paramètres de reconstruction

Mode de fusion	Mosaïque
Activer le remplissage des trous	Oui

## Logiciel

Version	1.5.1 build 7618
Plateforme	Windows 64