



HAL
open science

Evolution topo-morphologique du Sillon du Loc'h et du Sillon des Anglais (Landévennec) pour les années 2022 et 2023

Pierre Stéphan, Serge Suanez, Jérôme Ammann

► **To cite this version:**

Pierre Stéphan, Serge Suanez, Jérôme Ammann. Evolution topo-morphologique du Sillon du Loc'h et du Sillon des Anglais (Landévennec) pour les années 2022 et 2023. Université de Bretagne Occidentale; CNRS. 2023, 32 p. hal-04179961

HAL Id: hal-04179961

<https://hal.science/hal-04179961>

Submitted on 10 Aug 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Pierre STÉPHAN
Serge SUANEZ
Jérôme AMMANN

Evolution topo-morphologique des sillons du Loc'h et des Anglais (Landévennec) pour les années 2022 et 2023

Août 2023



Réserve Naturelle Géologique de la presqu'île de Crozon
Communauté de communes Presqu'île de Crozon-Aulne maritime



Rapport d'étude

Evolution topo-morphologique du Sillon du Loc'h et du Sillon des Anglais (Landévennec) pour les années 2022 et 2023

Août 2023

Pierre STEPHAN, Serge SUANEZ, Jérôme AMMANN



Maître d'œuvre

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

Réalisation : Pierre STÉPHAN, Serge SUANEZ, Jérôme AMMANN
pierre.stephan@univ-brest.fr; serge.suanez@univ-brest.fr

Direction scientifique : Pierre STÉPHAN, Serge SUANEZ
pierre.stephan@univ-brest.fr ; serge.suanez@univ-brest.fr

1. Introduction

Cette étude a été réalisée à la demande de la Réserve Naturelle Géologique de la presqu'île de Crozon et de la Communauté de communes Presqu'île de Crozon-Aulne maritime. Elle s'inscrit dans la continuité des suivis réalisés depuis 2004 par les géomorphologues de l'Université de Brest et du CNRS sur l'évolution actuelle des flèches de galets de la rade de Brest qui, par leur nombre et leur diversité, constituent un remarquable patrimoine géomorphologique. D'une façon générale, ce patrimoine naturel connaît actuellement une forte dégradation du fait de l'action érosive des vagues dans un contexte de mauvaise alimentation sédimentaire de ces formes d'accumulation littorales. La plupart des cordons de la rade de Brest montrent ainsi des signes de fragilité morphologique qui laissent craindre leur démantèlement progressif par les vagues dans les années et décennies à venir.

Situé sur la commune de Landévennec, le sillon du Loc'h fait partie des sites sur lesquels portent les plus fortes inquiétudes. Ce sillon a déjà fait l'objet de mesures de restauration dans les années 1980 et 1990 : colmatage de brèches, rehaussement de la crête et reprofilage du cordon (Morel, 1997). En 2003, l'ouverture d'une nouvelle brèche, située cette fois dans le cordon interne, a déséquilibré l'ensemble du fonctionnement hydro-sédimentaire du secteur. Ce sont les conséquences de ce déséquilibre que nous observons actuellement. La cause principale de cette érosion est la faiblesse des apports sédimentaires sensés alimenter le cordon. Le site du Loc'h s'inscrit dans une cellule hydro-sédimentaire qui s'étend de la pointe de Lomergat jusqu'à l'extrémité orientale du sillon. Sa longueur totale est de 1,2 km, dont 1 km pour la partie pourvoyeuse de sédiments et 0,2 km pour la flèche. La section potentiellement pourvoyeuse de sédiments est en grande partie constituée de roches extrêmement résistantes à l'érosion marine (quartzites de Plougastel) et les falaises de matériel meuble entaillées dans du head périglaciaire sont peu étendues et ne délivrent aujourd'hui que de faibles quantités de matériel grossier à la dérive littorale.

Egalement situé sur la commune de Landévennec, le Sillon des Anglais constitue une exception à l'échelle de la rade, en ce sens qu'il bénéficie encore aujourd'hui d'une bonne alimentation en matériel frais en provenance des falaises de head s'étirant depuis le Loc'h de Landévennec sur un linéaire d'environ 3 km. L'épaisse couverture de matériel meuble qui empâte ces versants littoraux évoluent librement par glissement et éboulement, et délivrent au rivage des quantités significatives de sédiments que les vagues sont en mesure de remobiliser occasionnellement pour venir nourrir le cordon. En dépit de ce contexte, les mesures topo-morphologiques réalisées en juin 2018 soulignaient l'apparition de deux points de fragilité le long de la flèche (Stéphan *et al.*, 2019). Les observations de terrain effectuées durant les deux hivers 2018-2019 et 2019-2020 ont par la suite confirmé ces prévisions en notant plusieurs indices de franchissement localisé du cordon par les vagues de tempête et le déversement consécutif de galets sur le revers de la flèche.

Afin de quantifier l'ensemble de ces changements morphologiques, cette étude propose de réaliser un nouvel état des lieux de la topo-morphologie de ces deux sites à partir de relevés par photogrammétrie. Ces levés ont donné lieu à une modélisation de la topographie à travers la réalisation de Modèles Numériques de Terrain (MNT) qui ont été comparés aux MNT antérieurs datant de juillet 2020. Une cartographie des secteurs en érosion et en accrétion a été réalisée. Les bilans sédimentaires ont été calculés. Les changements ont été également quantifiés le long de profils de plage. Ces résultats donnent lieu à quelques préconisations en termes de suivi et de gestion.

2. Méthodes de suivi topo-morphologique

La méthode de levé topo-morphologique utilisée dans cette étude repose sur un protocole d'acquisition que nous avons standardisé, afin de respecter la comparabilité des jeux de données produits années après années, dans le cadre de ces suivis. L'approche est donc similaire celle décrite dans notre précédent rapport (Stéphan *et al.*, 2021).

2.1. Matériels de mesure

Relevés au drone

Les relevés topographiques ont été réalisés le 05 juillet 2022 sur le sillon des Anglais. Un levé du sillon du Loc'h à la même période avait été envisagé, mais le survol du site au drone n'a pas été autorisé par les autorités aéronautiques. Le site se situe dans une zone interdite à l'aviation civile (la zone P112 sur les cartes aéronautiques) et les vols de drone sont conditionnés à l'obtention d'une autorisation spécifique accordée par les autorités militaires. Les relevés ont donc été reconduits à l'année suivante et ont été menés le 30 juin 2023. Ces relevés s'appuient sur l'utilisation de photographies stéréoscopiques aériennes acquises à l'aide d'un drone de type Phantom IV Pro (Sillon des Anglais, année 2022) et d'un drone de type Mavik 3 Pro (Loc'h de Landévennec, année 2023) autopilotés (figure 1). Les survols du Sillon du Loc'h et du Sillon des Anglais ont permis l'acquisition d'images à une altitude moyenne de 60 m. A partir de ces prises de vue, la topographie a été reconstituée selon le principe de la stéréo-photogrammétrie sous le logiciel Agisoft Metashape. Le procédé employé suppose que les prises de vue se recoupent entre elles. La différence d'inclinaison des différents clichés est alors utilisée par le logiciel pour générer un nuage de points topographiques de très forte densité. En juillet 2022, un total de 562 clichés aériens ont été obtenus sur le sillon des Anglais. En juin 2023, un total de 300 images ont été acquises sur le Sillon du Loc'h.



Figure 1 : Méthode de mesure de terrain basée sur l'acquisition d'images aériennes géoréférencées avec une précision centimétrique (drone RTK) et de mesures de cibles au sol au GPS différentiel.

Les drones utilisés lors de ces deux missions utilisent un système de positionnement par satellite en temps réel (RTK) permettant de géoréférencer les prises de vue avec une précision centimétrique. Ils supposent la mise en route d'une station DGPS dédiée au drone (figure 1). Avant chaque survol, un ensemble de cibles a aussi été positionné au sol et leur position a été relevée à l'aide d'une seconde base DGPS (figure 1). Les coordonnées de ces cibles ont été utilisées pour améliorer le géoréférencement des prises de vue et le nuage de points topographiques produits. La précision des mesures DGPS a été estimée à partir d'un réseau de points de calages matérialisés par des clous topographiques implantés dans les parties fixes environnantes. Ces mesures montrent que l'erreur de la mesure est inférieure à 3 cm en positionnement (X-Y) et 1,5 cm en altitude (Z). Ces points de calage ont, eux-mêmes, été raccordés au système géodésique français à partir de bornes IGN situées à proximité. Ainsi, l'ensemble des données produites est fournie dans le système de projection Lambert 93.

Cette méthode a permis de produire deux principaux jeux de données : (i) une orthophotographie de la zone survolée (figure 2) et (ii) un nuage de points de très forte densité comptant plus de 118 millions de points topographiques sur le site du Loc'h et 150 millions sur le Sillon des Anglais. En définitive, les Modèles Numériques de Terrain réalisés à partir de ces points présentent une très haute résolution (taille du pixel entre 2 et 3 cm) (figures 3 et 4). Le détail des traitements photogrammétriques sont fournis en annexe de ce rapport.

Les incertitudes

Comme nous l'avons noté dans notre précédent rapport ([Stéphan et al., 2021](#)), les MNT reconstruits à partir des survols au drone peuvent parfois présenter des erreurs significatives en raison d'un mauvais recoupement des photographies aériennes. Le couvert végétal pose également problème. En effet, la méthode de levé au drone considère la végétation comme une surface topographique (aussi vaut-il mieux parler de MNS pour Modèle Numérique de Surface). Dans les zones végétalisées, l'épaisseur des formations végétales devrait donc, en théorie, être soustraite. Dans les faits, cela reste très difficile et nécessite le traitement d'un volume de données considérable que nous n'avons pas entrepris. Pour cette raison, nous avons préconisé que les levés soient réalisés toujours à la même période de l'année afin de s'assurer que la végétation se trouve toujours dans le même stade phénologique et n'induisse pas des différences d'élévation qui ne sont pas d'ordre topographiques, mais végétales.

Afin d'estimer l'incertitude et les erreurs de reconstruction topographique, nous avons pris soin de comparer les altitudes mesurées au DGPS (Z_{DGPS}) aux altitudes reconstruites par photogrammétrie (Z_{drone}) au niveau des cibles au sol. Sur le site du Loc'h, les écarts ($Z_{drone} - Z_{DGPS}$) atteignent $\pm 3,2$ cm en moyenne, tandis qu'ils ont été estimés à $\pm 1,7$ cm en moyenne sur le sillon des Anglais ([Stéphan et al., 2021](#)). Ainsi, toutes les variations topographiques inférieures à 3 cm ont été considérées ici comme non-significatives.

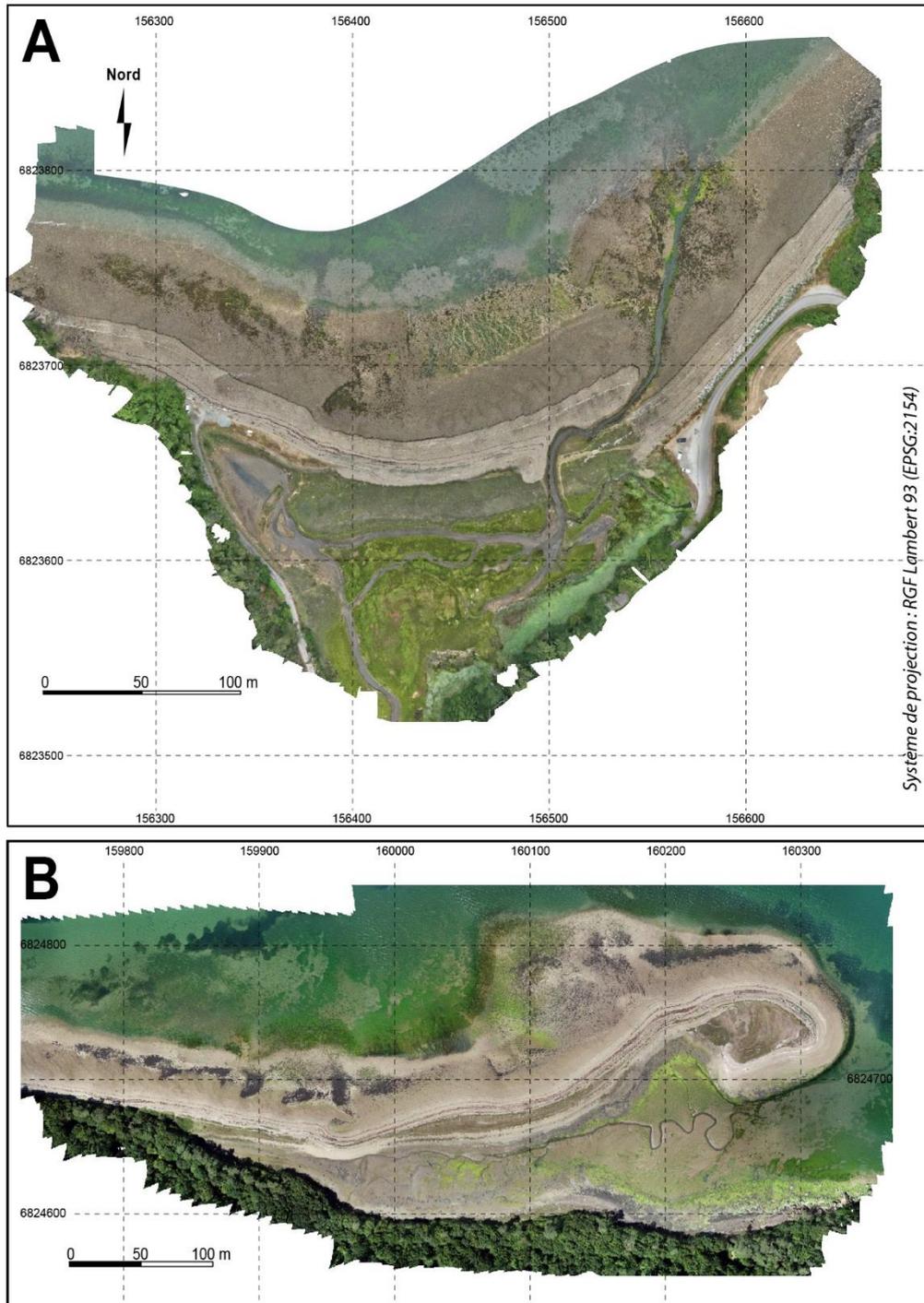


Figure 2 : Orthophotographies des sillons du Loc'h en juin 2023 (A) et du Sillon des Anglais en juillet 2022 (B) obtenues après traitement des images drone.

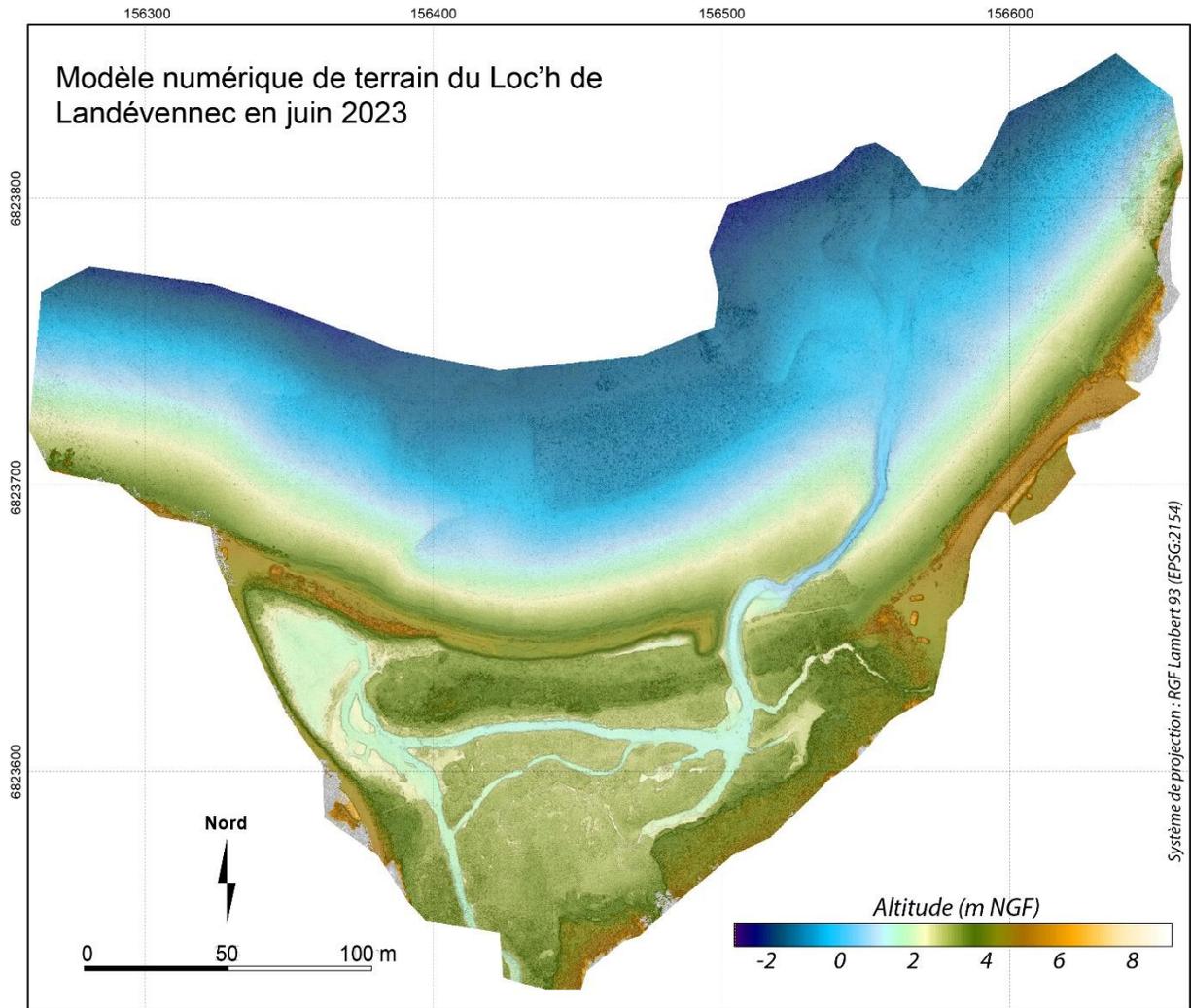


Figure 3 : Modèle numérique d'élévation du site du Loc'h de Landévennec obtenu en juin 2023.

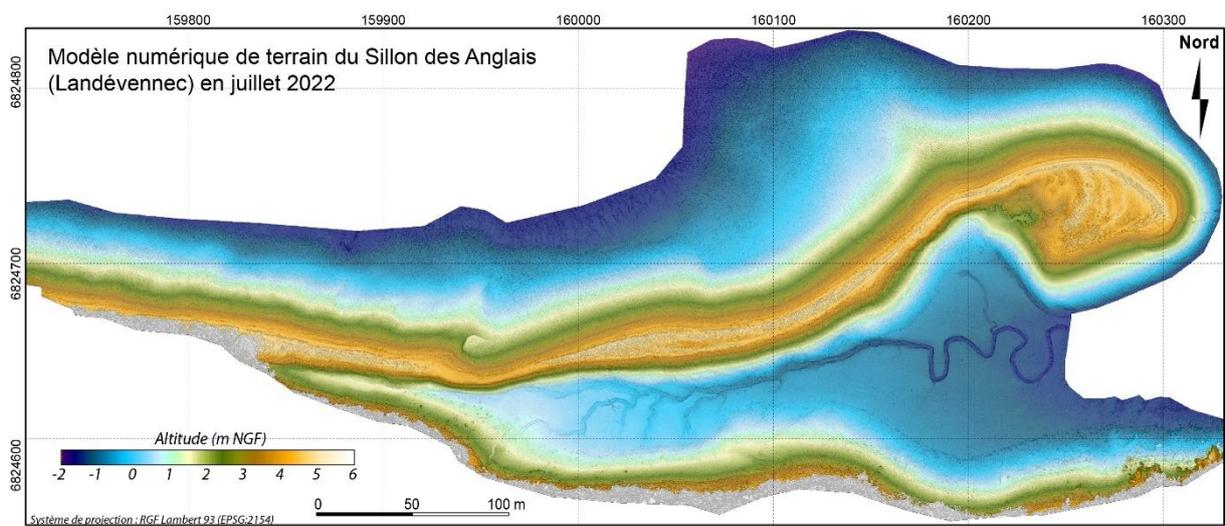


Figure 4 : Modèle numérique d'élévation du Sillon des Anglais obtenu en juillet 2023.

3. Résultats des évolutions depuis les levés de juillet 2020

3.1. Le Sillon du Loc'h : une pause dans le démantèlement du cordon

Rappel de l'évolution morphologique de 2004 à 2020

Pour rappel, depuis 2004 (date de nos premiers relevés topographiques), le sillon du Loc'h est marqué par une tendance générale à l'érosion. Une brèche s'est ouverte dans le cordon interne en décembre 2003 et a entraîné la dégradation de l'ensemble du système. A son débouché, le chenal de marée a formé un méandre dont la rive concave a entaillé le revers de la flèche. Ce chenal s'est profondément encaissé sur l'estran. Les galets de la flèche externe, mus d'ouest en est par la dérive littorale, ont été déversés dans ce chenal et entraînés par le jusant vers le bas de plage où ils ont formé un delta d'environ 2000 m³. A ce niveau, les vagues n'ont pas assez d'énergie pour les remobiliser. Bien évidemment, c'est là le processus clé dans la fragilisation du sillon, car ce stock constitue une perte nette et définitive pour le sillon. Ce départ de sédiments vers le delta n'a pas été compensé par un apport équivalent en provenance des falaises situées à l'ouest, entre le Loc'h et la pointe de Lomergat. Même si on estime à 700 m³ les apports provenant de l'ouest, ces derniers sont restés cantonnés à la racine du sillon et n'ont pas contribué pas à alimenter la partie centrale de la flèche ni sa crête. En conséquence, c'est l'érosion de la face exposée de la flèche qui a alimenté ce delta. La plage a perdu 1130 m³ entre 2004 et 2018. Le sommet du sillon a perdu son couvert végétal et la crête s'est abaissée. Une partie du matériel s'est déversé sur le revers (280 m³), une autre s'est accumulée sous la forme d'un crochet à proximité de la brèche (230 m³). Dans la vasière du Loc'h, de nombreux chenaux se sont creusés également. La vasière s'est couverte de spartine et s'est transformée en marais maritime. Entre juin 2018 et juillet 2020, cette dynamique morphologique et végétale s'est poursuivie. Sur cette période, l'érosion de la plage a été estimée à -262 m³ (Stéphan *et al.*, 2021). Les galets se sont déversés sur le revers lors d'épisodes de franchissement du cordon par les vagues qui sont devenus très fréquents en raison de la faible altitude de la crête.

Evolution entre juillet 2020 et juin 2023

Au cours des trois dernières années, les dynamiques érosives semblent avoir marqué une pause, comme en atteste la comparaison des situations topo-morphologiques des mois de juillet 2020 et de juin 2023 (figure 5). D'une façon générale, la partie haute de la plage s'est engraisée de façon modérée. Les apports sédimentaires sont estimés à +195 m³ sur la période. Cette remontée du matériel sédimentaire vers le haut de l'estran est également observée sur la partie orientale du secteur où la plage a également gagné +140 m³. Ces apports se sont opérés au dépend des parties basses de l'estran, situées au niveau de mi-marée, sans que l'on puisse les localiser clairement faute de mesures plus précises. Les rides de galets situées à l'ouest du secteur ont également progressé de plusieurs mètres vers l'ouest, poussées par les vagues incidentes. Ces rides ont chacune gagné +40 à +45 m³ de galets (figure 5). Une troisième ride, faite essentiellement de sable, s'est formée sur le delta de jusant et son orientation suggère une remobilisation par les vagues d'une partie des sédiments accumulés sur le delta. A basse mer, les vagues ont généralement peu d'énergie au déferlement. Leur compétence est limitée et permet uniquement la reprise des sédiments les plus fins correspondant à la fraction sableuse. Le volume de cette ride est de seulement 50 m³, mais cette observation montre que le matériel stocké dans le delta de jusant n'est pas complètement perdu pour le système. Enfin, le seul secteur en érosion sur la période 2020-2023 est situé dans la partie haute du sillon, à son enracinement. Les pertes sédimentaires restent cependant limitées à 35 m³ (figure 5).

En définitive, on note sur la période que les volumes correspondant à l'érosion (-55 m^3) sont très inférieurs aux volumes correspondant à l'accrétion ($+695 \text{ m}^3$). En première analyse, on pourrait donc en conclure que le secteur a bénéficié d'un apport en matériel frais de l'ordre de $+640 \text{ m}^3$. Toutefois, la figure 5 ne permet pas d'identifier clairement l'origine des apports. Ces derniers pourraient provenir des parties les plus basses de l'estran, non couvertes par nos mesures. A cela, il faut ajouter l'incertitude des données altimétriques produites. Les erreurs sont de l'ordre de quelques centimètres seulement. Cela suffit à rendre difficilement repérable et quantifiable des changements de faible ampleur, surtout lorsqu'ils couvrent de vastes superficies.

Evolution topo-morphologique entre juillet 2020 et juin 2023

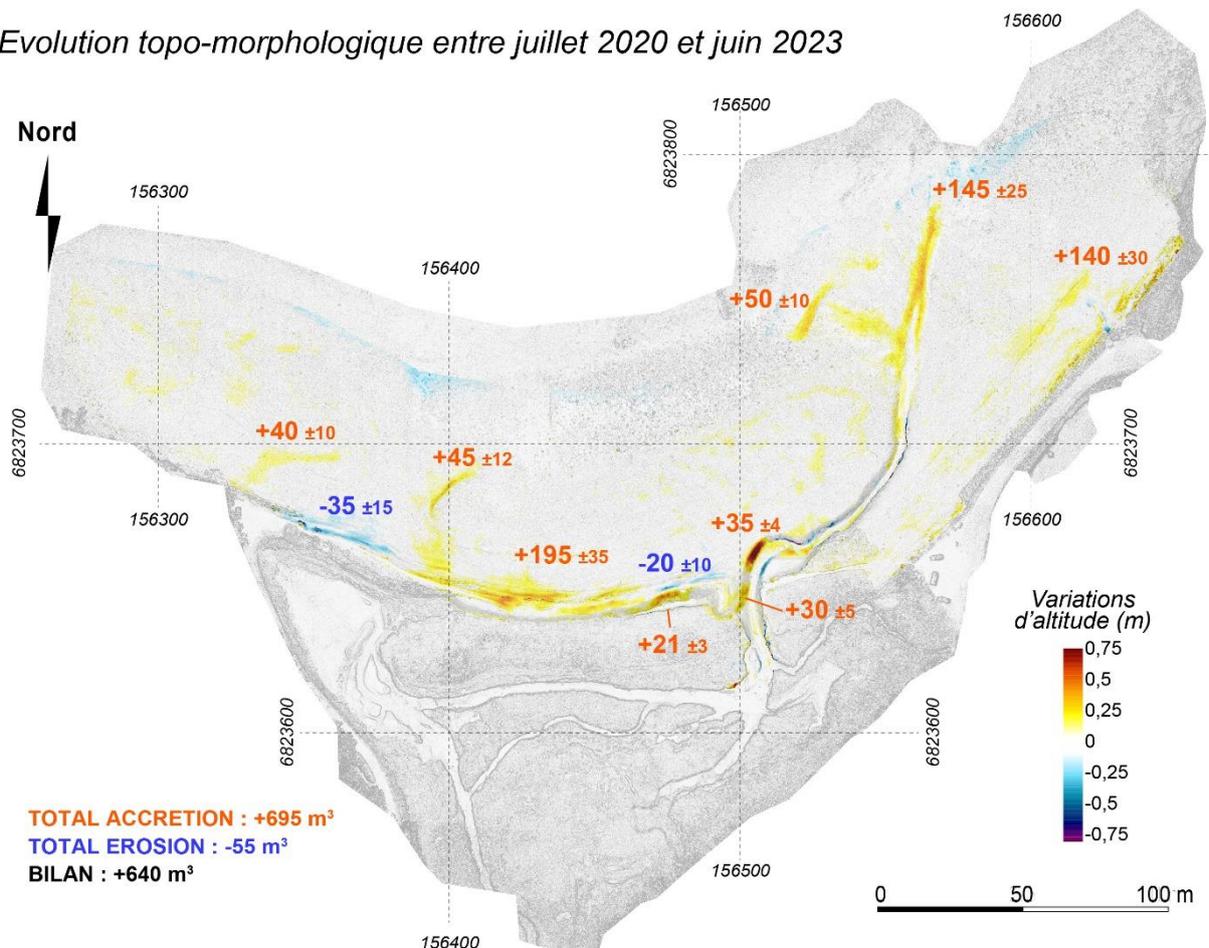


Figure 5 : Evolutions morphologiques du site du Loc'h de Landévennec entre juillet 2020 et juin 2023.

Perspectives d'évolution inchangées

En dépit des faibles changements morphologiques sur la période et du bilan sédimentaire qui semble globalement positif, les perspectives d'évolution avancées dans les précédents rapports (Stéphan *et al.*, 2019 ; 2021) restent inchangées pour le Sillon du Loc'h. Dans années à venir, les processus en cours devraient continuer de se produire. La dérive littorale n'apporte pas assez de matériel frais. La remontée de sédiments vers le haut du cordon n'est pas suffisante pour permettre à la crête de se reconstituer. Si les processus d'érosion semblent avoir marqué une pause entre 2020 et 2023, il est très probable que le sillon continue de s'abaisser par à-coups lors des tempêtes et s'étale complètement sur les sillons arrière pour former un glacis caillouteux. L'absence d'épisode météorologique de forte intensité ces dernières années n'a offert qu'un répit de courte durée face à un état de mort programmée.

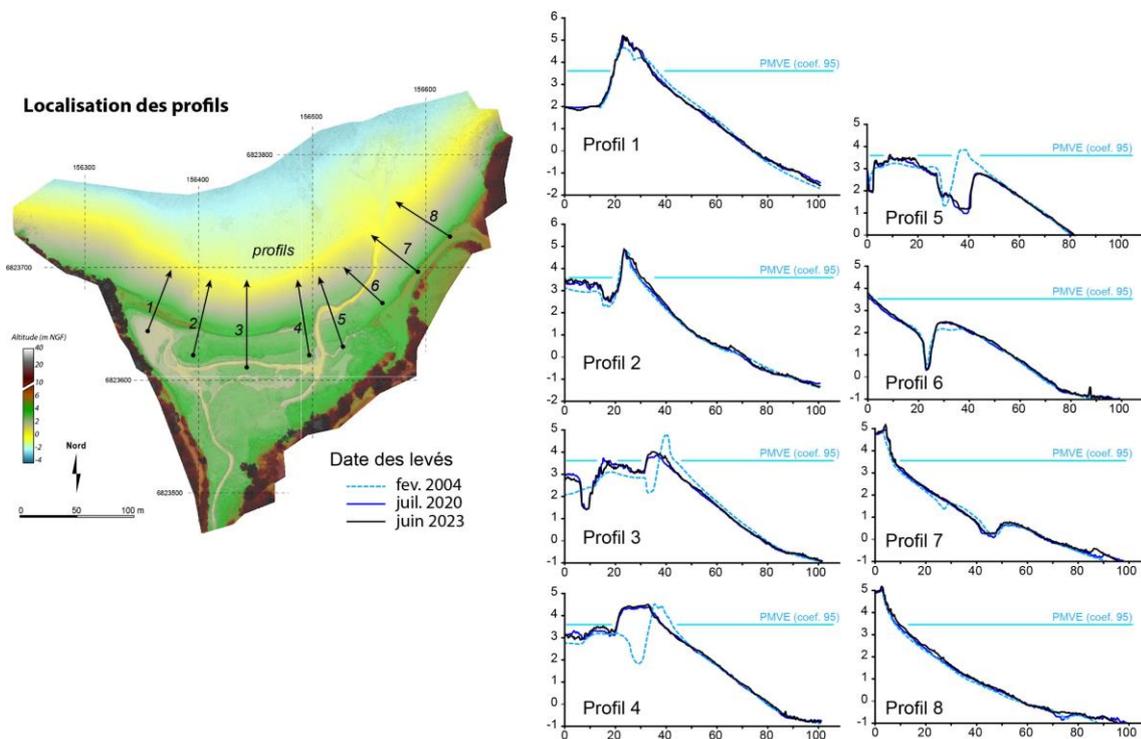


Figure 6 : Evolution du sillon du Loc'h le long de quelques profils entre février 2004 et juin 2023.

3.2. Le Sillon des Anglais

Rappel des évolutions de 2005 à 2020

Le sillon des Anglais est une flèche dont le volume s'accroît. Entre 2005 et 2020, la flèche a gagné + 2580 m³, soit 151 m³/an en moyenne. Cette accrétion est le fruit des apports de la dérive littorale qui injecte sans cesse du matériel frais sur le sillon depuis les plages situées plus à l'ouest, plages extrêmement larges et volumineuses dans le dernier kilomètre précédent le sillon. Ces apports nouveaux migrent lentement vers l'est sous forme d'énormes rides de galets d'orientation SW-NE. Le volume de galets apporté par la dérive est variable selon les années et dépend surtout de la force et de la direction des vagues capables de mettre en mouvement les sédiments. Ainsi, la période 2018-2020 a été caractérisée par des apports importants (cinq fois supérieurs à la période 2005-2018) en raison de conditions favorables au déplacement des galets le long de la côte (Stéphan *et al.*, 2021).

Toutefois, ces apports ne renforcent pas obligatoirement la résistance du sillon à l'assaut des vagues de tempête. En effet, ils sont cantonnés au tiers occidental de la flèche. Dans la partie centrale du sillon, l'érosion prédomine et a transporté un peu plus de 2550 m³ de sédiments vers le crochet terminal en 15 ans (période 2005-2020). Ainsi, le crochet concentre l'essentiel des apports et s'est engraisé très fortement. Dans la partie médiane, en revanche, le sommet émergé du sillon est extrêmement étroit, large de quelques mètres seulement. Ces secteurs méritent une surveillance car ils constituent des points de faiblesses morphologiques pouvant évoluer en brèche.

Evolution entre juillet 2020 et juillet 2022

Les évolutions morphologiques observées entre juillet 2020 et juillet 2022 confirment les tendances décrites ci-dessus (figure 7). Toutefois, en l'absence de forts coups de vents d'ouest

capables de générer des vagues énergétiques dans cette portion littorale de la rade, le Sillon des Anglais n'a pas bénéficié d'apports en galets venant de l'ouest. Le bilan sédimentaire est donc globalement à l'équilibre (voir faiblement déficitaire) sur la période. Les volumes correspondant à l'accrétion totalisent $+1285 \text{ m}^3$ et compensent les volumes en érosion qui avoisinent -1415 m^3 (figure 7).

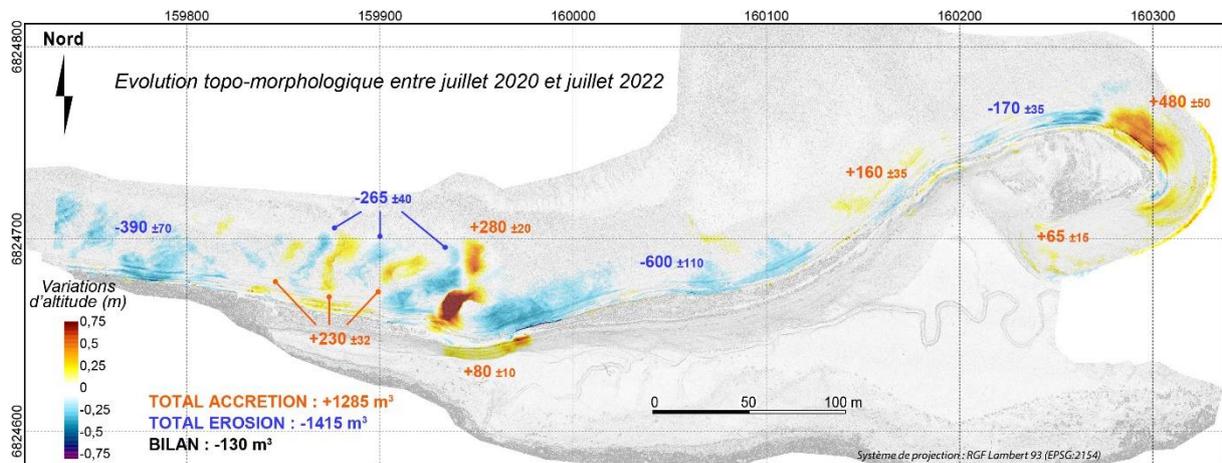


Figure 7 : Evolutions morphologiques et bilan volumique du site du Sillon des Anglais entre juin 2018 et juillet 2020.

A la racine du sillon, les rides traduisant la migration des galets le long du rivage ont poursuivi leur déplacement vers l'est (figure 8A et B). Le volume sédimentaire mis en mouvement est de l'ordre de 600 m^3 environ. Près de 280 m^3 de ce matériel s'est accumulé dans la dernière ride de la série.

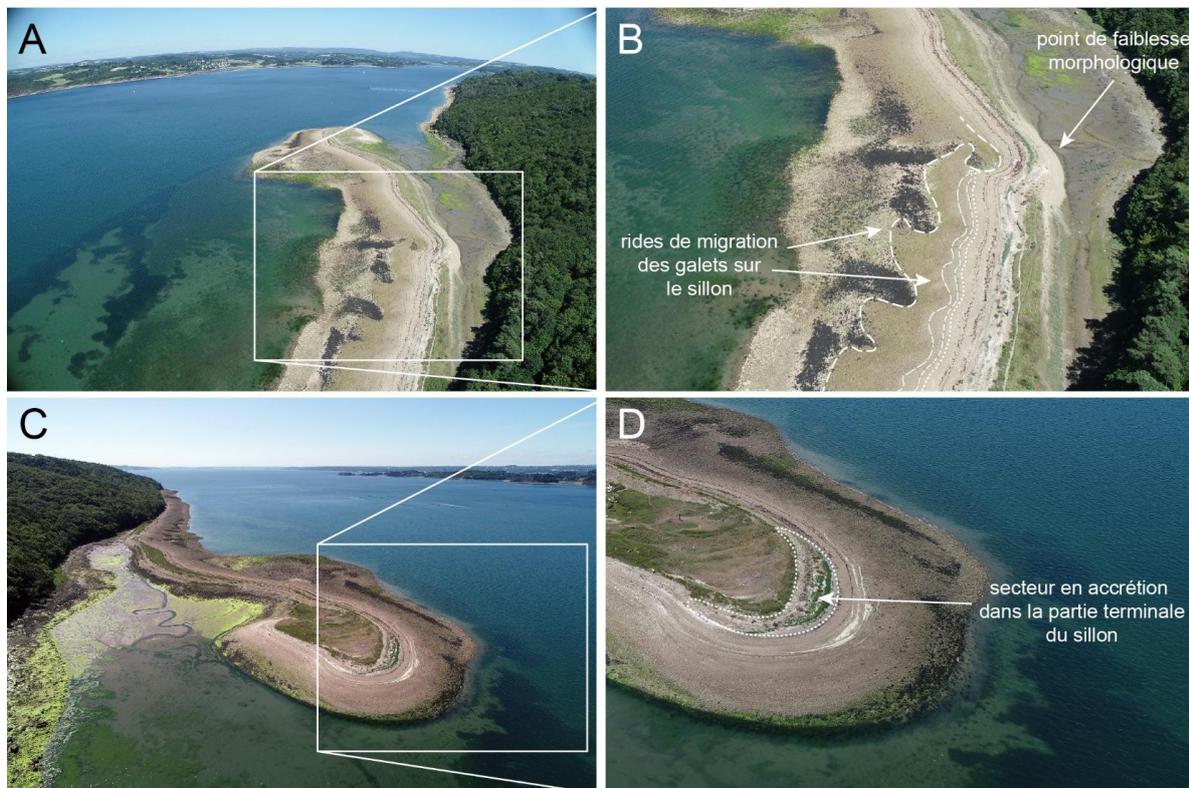


Figure 8 : Photographies aériennes du Sillon des Anglais prises au drone en juillet 2022 (prises de vue : J. Ammann). A. Vue du Sillon depuis l'ouest en direction de l'est. B. Zoom permettant d'observer les rides migration des galets dans la partie proximale de la flèche, ainsi que le point de faiblesse morphologique (amorçe de brèche) se traduisant par un déversement des galets sur le revers. C. Vue du Sillon depuis l'est en direction de l'ouest. D. Zoom sur le crochet terminal permettant d'observer le secteur en accrétion à la pointe de la flèche.

Immédiatement en aval, l'érosion de la plage s'est poursuivie (-600 m^3). Le trait de côte (défini ici par le niveau des pleines mers de vive-eau) a reculé de 2 m environ le long des transects 4 à 8 entre 2020 et 2022 (figure 9).

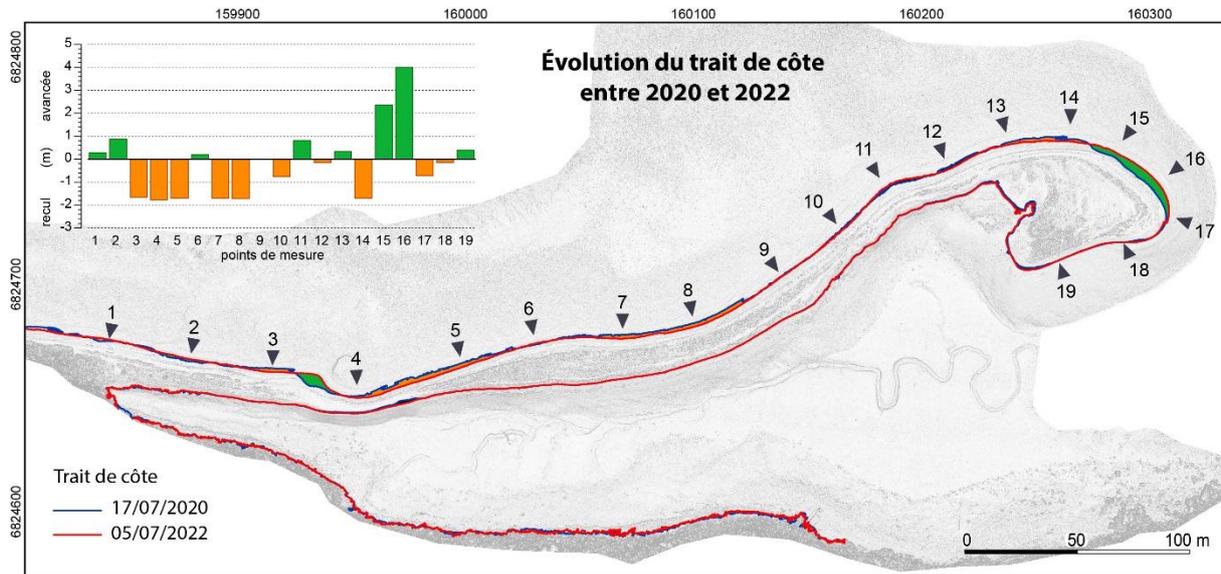


Figure 9 : Evolution du trait de côte le long du Sillon des Anglais entre 2020 et 2022. Le trait de côte est ici défini comme le niveau des pleines mers de vive-eau moyennes (coefficient de marée de 95).

Surbaissée et très étroite, la crête a de nouveau été franchie par les vagues et un volume de 80 m^3 de galets situés au sommet du cordon s'est déversé sur le revers entre 2020 et 2022 (figure 7). Néanmoins, il faut noter que la crête ne s'est érodée davantage, comme le montre le profil 01 de la figure 10. Un colmatage naturel de cette zone surcreusée est très probable dans les mois ou années à venir et devrait se solder par une reconstruction de la crête. Une surveillance de ce point de faiblesse morphologique reste néanmoins préconisée.

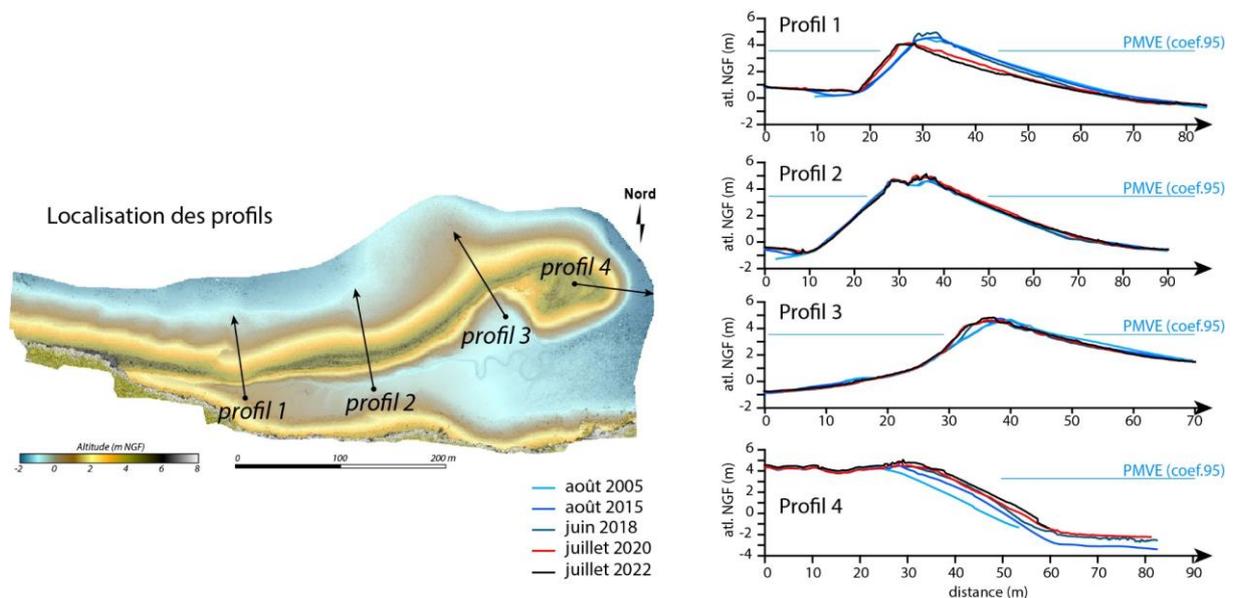


Figure 10 : Evolution du sillon des Anglais le long de quelques profils entre août 2005 et juillet 2022.

Enfin, le crochet distal a bénéficié d'apports sédimentaires significatifs (+545 m³) entre juillet 2020 et juillet 2022 (figure 7) et poursuit ainsi son allongement vers l'est (figures 8C et D). Le trait de côte a connu une avancée de 4 m le long du transect 16 (figure 9). Le profil 4 de la figure 10 illustre l'engraissement important de la plage dans ce secteur depuis plus de 15 ans.

Perspectives d'évolution : la micro-cannibalisation

Sur le Sillon des Anglais, les perspectives d'évolution restent inchangées. La menace d'une rupture du cordon dans sa partie proximale s'estompe. Les prochaines années devraient voir le colmatage naturel de cette amorce de brèche. Comme nous l'avons rappelé dans notre précédent rapport (Stéphan *et al.*, 2021), les dynamiques morphologiques à long-terme (échelle pluri-décennale) de cette flèche sont en partie contrôlées par un processus de micro-cannibalisation qui n'a jamais conduit à sa rupture. Tant que le Sillon bénéficiera d'une bonne alimentation sédimentaire, il est peu probable qu'un tel événement se produise. La bonne santé morphologique de cette flèche de galets tranche avec la situation assez inquiétante dans laquelle se trouvent la plupart des sillons de la rade de Brest, en proie à des problèmes d'érosion. Cela tient beaucoup à l'absence d'aménagement et/ou d'ouvrage anthropique le long des falaises meubles qui le prolongent vers l'ouest. Le cas du Sillon des Anglais illustre très bien l'importance de laisser les falaises meubles s'éroder pour garantir l'équilibre du bilan sédimentaire côtier.

4. Références

Stéphan P., Fichaut B., Suanez S. (2019) – *Diagnostic topo-morpho-sédimentaire des sillons du Loc'h et des Anglais (Landévennec) pour l'année 2018*. [Rapport de recherche] Université de Bretagne occidentale - Brest; LETG-Brest UMR 6554 CNRS.

Stéphan P., Suanez S., Ammann J. (2021) – *Diagnostic topo-morpho-sédimentaire des sillons du Loc'h et des Anglais (Landévennec) pour l'année 2020*. [Rapport de recherche] Université de Bretagne occidentale - Brest; LETG-Brest UMR 6554 CNRS.

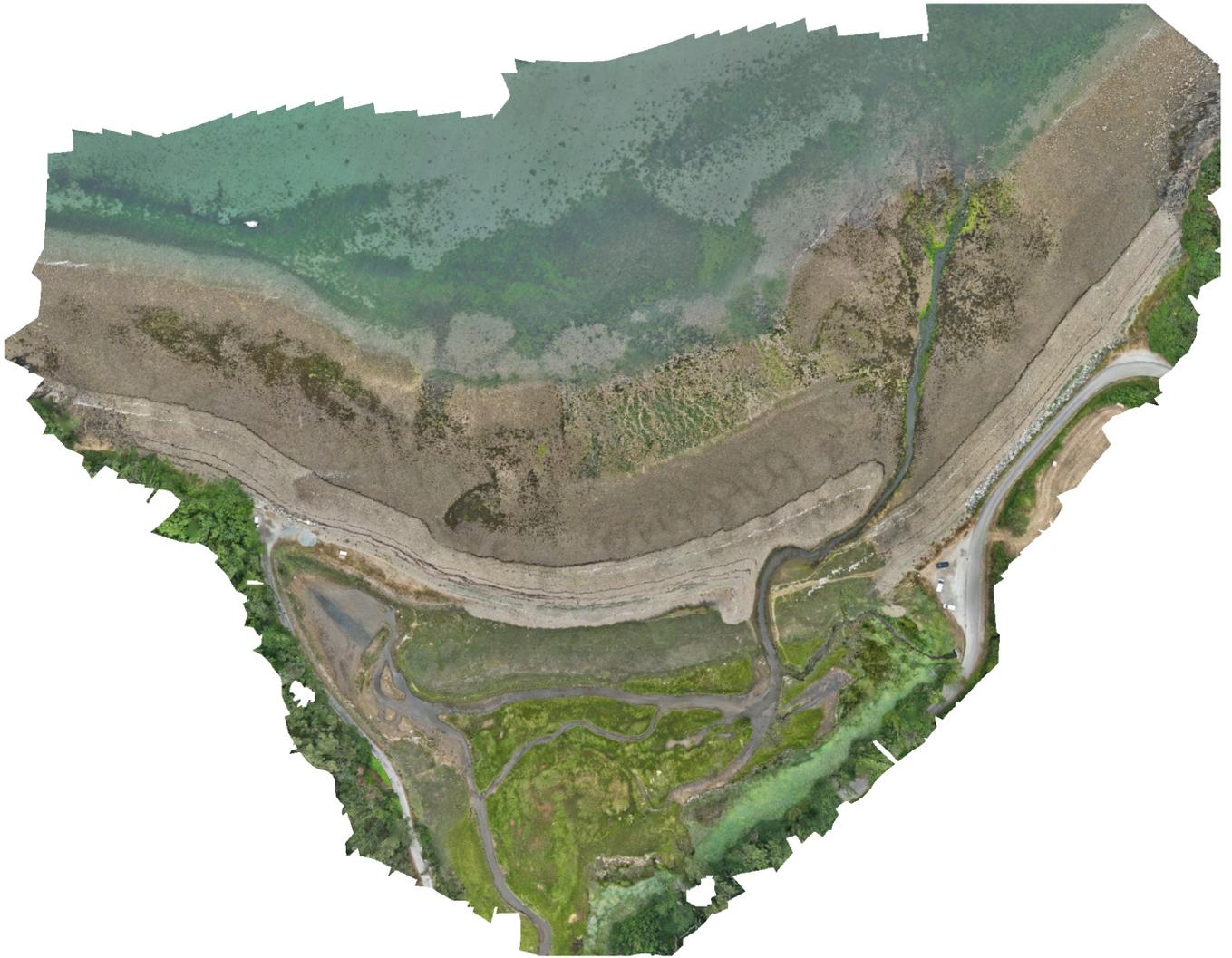
5. Annexe (rapport des traitements photogrammétriques)

Sillon du Loch de Landévennec (relevé photogrammétrique du 30 juin 2023)

Rapport de traitement photogrammetrique

**Levé réalisé le 30 juin 2023 sur le Sillon du Loch de Landévennec (29) - Mavik 3 +
GCPs levés en mode RTK**

01 July 2023



Données du levé

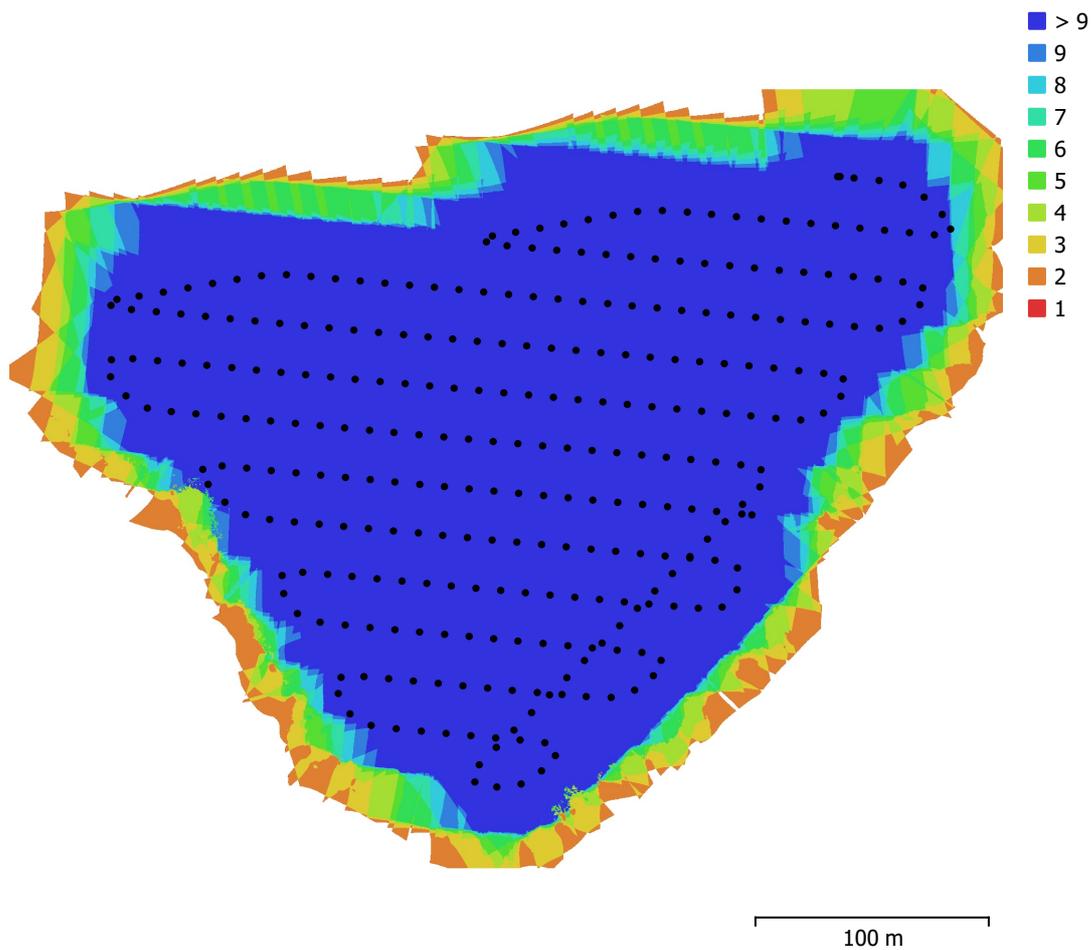


Fig. 1. Emplacements des caméras et chevauchement des images.

Nombre d'images:	300	Stations de caméras:	300
Altitude de vol:	56.5 m	Points de liaison:	174,027
Résolution au sol:	1.44 cm/px	Projections:	1,692,709
Zone de couverture:	0.0939 km ²	Erreur de reprojection:	0.59 px

Modèle de caméra	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel	Précalibré
M3E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 μm	Non

Tableau 1. Caméras.

Calibration de la caméra

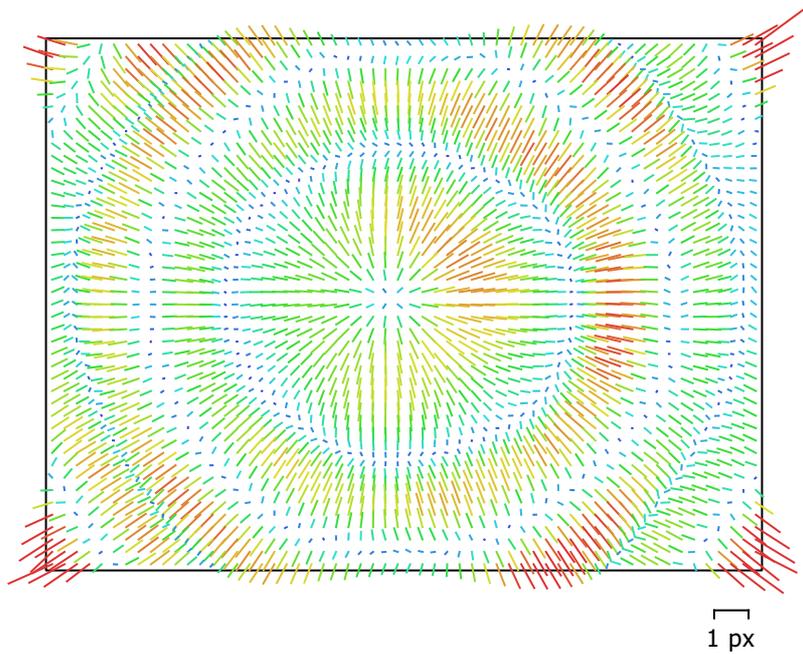


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour M3E (12.29mm).

M3E (12.29mm)

300 images

Type	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel
Cadre	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 μm

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3754.79	0.9	1.00	0.58	0.12	-0.98	0.28	-0.82	-0.59	-0.13
Cx	-1.37388	0.038		1.00	0.09	-0.57	0.19	-0.49	-0.87	-0.08
Cy	-20.1262	0.029			1.00	-0.11	0.02	-0.09	-0.08	-0.78
K1	-0.113177	5.5e-05				1.00	-0.46	0.91	0.59	0.12
K2	0.00936555	3.1e-05					1.00	-0.76	-0.19	-0.03
K3	-0.023556	4.1e-05						1.00	0.50	0.10
P1	-0.000189678	1.4e-06							1.00	0.08
P2	-2.88063e-05	1e-06								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

Positions de caméra

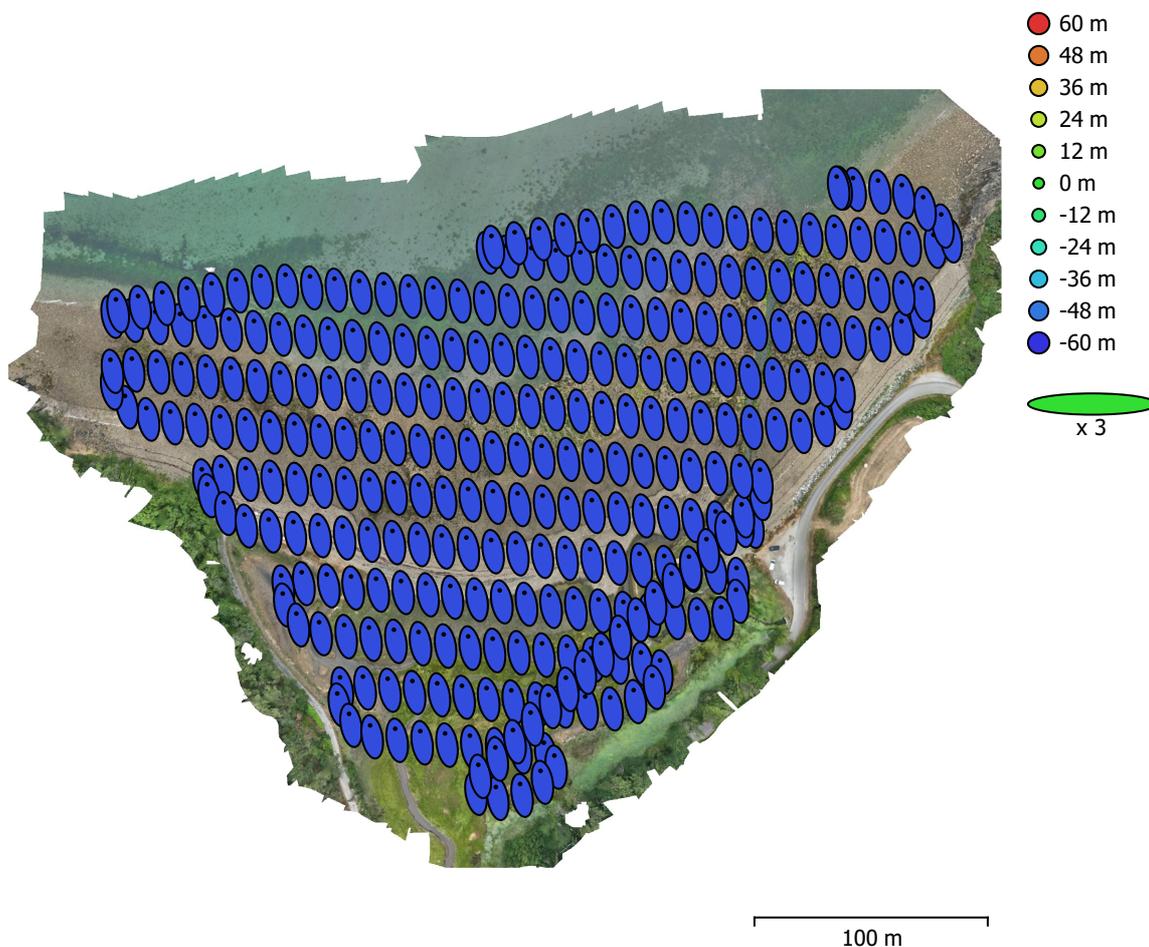


Fig. 3. Emplacements de la caméra et estimations d'erreur.

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 caméras sont identifiés par un point noir.

Erreur X (m)	Erreur Y (m)	Erreur Z (m)	Erreur XY (m)	Erreur totale (m)
0.568596	3.3057	55.279	3.35424	55.3806

Tableau 3. Erreur moyenne d'emplacement de la caméra.

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

Points de contrôle au sol

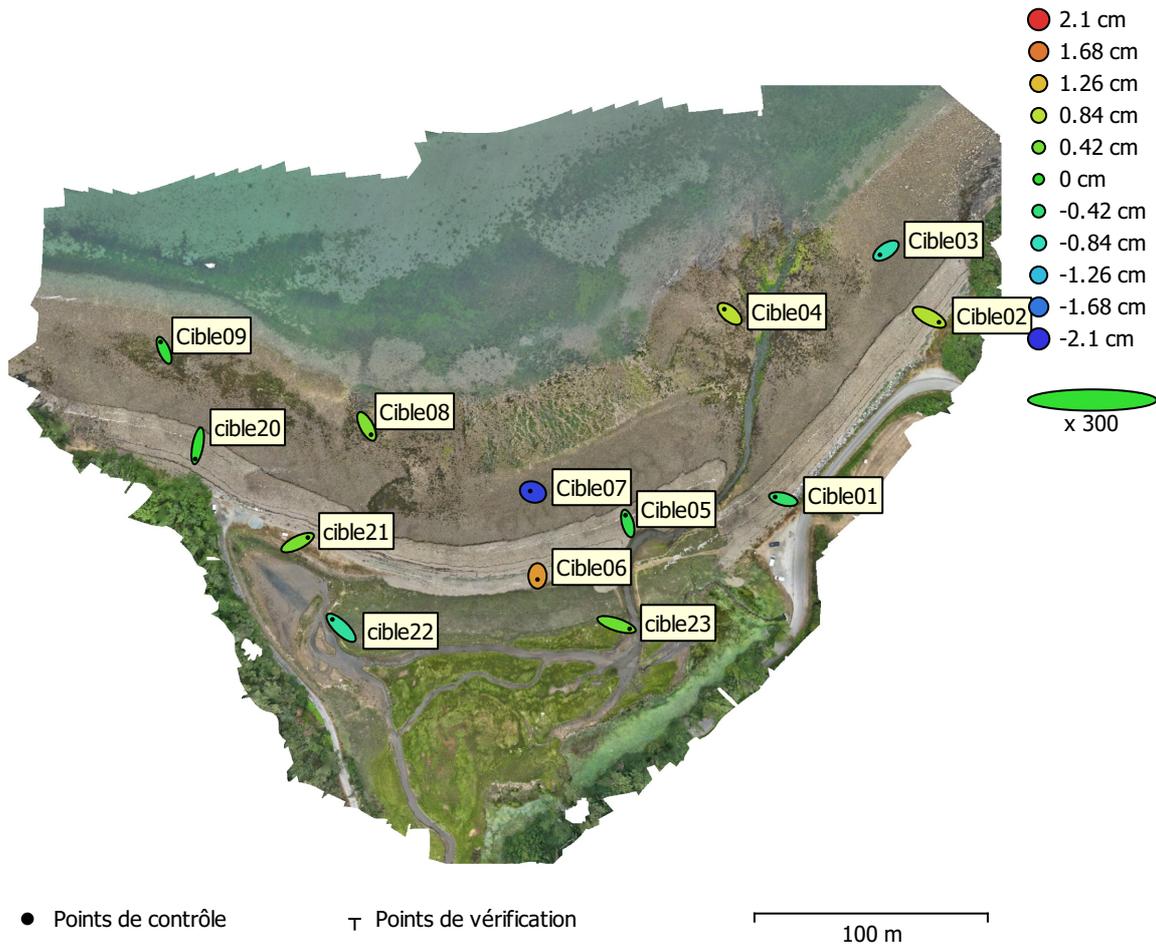


Fig. 4. Emplacements des points de contrôle au sol et estimations d'erreur.

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)
13	1.98875	1.91145	0.840321	2.7584	2.88356

Tableau 4. Points de contrôle RMSE.

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

Etiquette	Erreur X (cm)	Erreur Y (cm)	Erreur Z (cm)	Total (cm)	Image (px)
Cible01	-2.32109	0.604817	-0.333081	2.42161	0.376 (14)
Cible02	2.76227	-1.43761	0.787534	3.21202	0.654 (9)
Cible03	-1.72938	-1.19143	-0.750193	2.23003	0.409 (24)
Cible04	-1.52461	1.31358	0.83205	2.17767	0.328 (22)
Cible05	-0.650894	2.36981	-0.156013	2.46252	0.344 (29)
Cible07	-0.782229	0.269034	-2.00165	2.16584	0.406 (27)
Cible08	1.25901	-2.3803	0.481645	2.73549	0.263 (19)
Cible09	-1.0045	2.39349	-0.0500594	2.59622	0.380 (22)
cible20	-0.69846	-3.78172	-0.0048189	3.84568	0.986 (12)
cible21	2.93528	1.45768	0.435814	3.30615	0.478 (18)
cible22	-2.49871	2.41359	-0.64393	3.53322	0.601 (19)
cible23	3.75593	-1.2263	0.354483	3.96692	0.561 (26)
Cible06	0.00164093	-1.03999	1.48252	1.81093	0.388 (19)
Total	1.98875	1.91145	0.840321	2.88356	0.473

Tableau 5. Points de contrôle.
X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

Modèle Numérique d'élévation

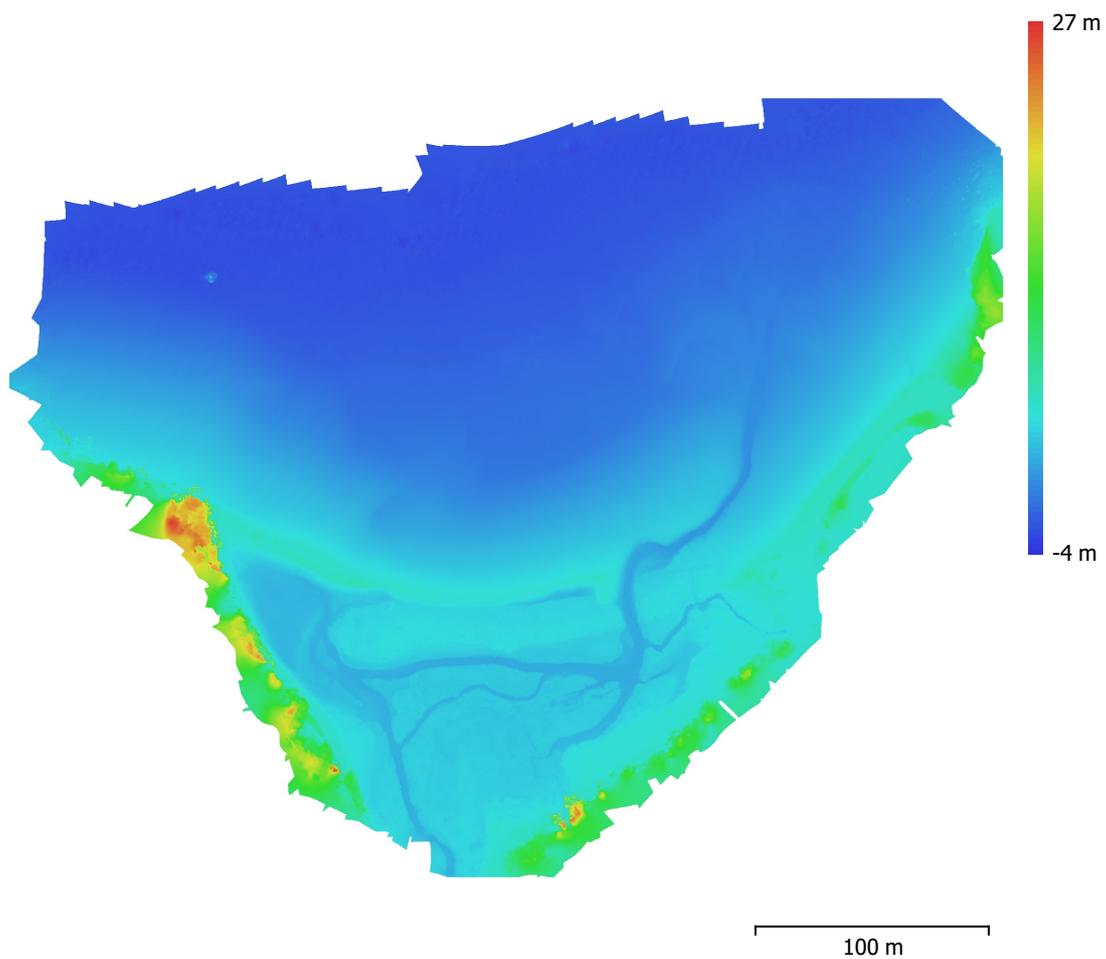


Fig. 5. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.88 cm/px
Densité des points: 0.121 points/cm²

Paramètres de traitement

Général

Caméras	300
Caméras alignées	300
Repères	13
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis

Nuage de point

Points	174,027 de 486,529
Erreur RMS de reprojection	0.226347 (0.589958 px)
Erreur Max de reprojection	1.07348 (4.18768 px)
Taille moyenne de point	2.66927 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Points-clé	Non
Multiplicité moyenne des points de liaison	6.20014

Paramètres d'alignement

Précision	Haute
Présélection générique	Oui
Présélection par références	Source
Limite de points	40,000
Limite de points-clé par Mpx	60,000
Limite de points de liaison	10,000
Exclure les points de liaison fixes	Oui
Correspondance d'images guidée	Non
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Temps de concordance	5 minutes 32 secondes
Utilisation de la mémoire de correspondance	952.94 MB
Temps d'alignement	10 minutes 13 secondes
Utilisation de la mémoire d'alignement	1.76 GB

Paramètres d'optimisation

Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	18 secondes
Date de création	2023:06:30 14:40:04
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	51.44 MB

Cartes de profondeur

Nombre	300
--------	-----

Paramètres de génération des cartes de profondeur

Qualité	Haute
Mode de filtrage	Modéré
Max voisins	16
Temps de traitement	14 minutes 46 secondes
Utilisation de la mémoire	11.69 GB
Date de création	2023:06:30 15:42:23
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	2.10 GB

Nuage de points dense

Points	117,946,506
Couleurs des points	3 bandes, uint8

Paramètres de génération des cartes de profondeur

Qualité	Haute
Mode de filtrage	Modéré
Max voisins	16
Temps de traitement	14 minutes 46 secondes
Utilisation de la mémoire	11.69 GB
Paramètres de génération du nuage de points dense	
Temps de traitement	19 minutes 55 secondes
Utilisation de la mémoire	12.56 GB
Date de création	2023:06:30 16:02:27
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	1.52 GB
MNE	
Taille	14,785 x 11,682
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Paramètres de reconstruction	
Données source	Nuage dense
Interpolation	Activé
Temps de traitement	1 minute 38 secondes
Utilisation de la mémoire	334.33 MB
Date de création	2023:06:30 16:04:20
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	540.96 MB
Orthomosaïque	
Taille	8,504 x 6,719
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Couleurs	3 bandes, uint8
Paramètres de reconstruction	
Mode de fusion	Mosaïque
Surface	MNE
Activer le remplissage des trous	Oui
Activer le filtre fantôme	Non
Temps de traitement	2 minutes 50 secondes
Utilisation de la mémoire	811.11 MB
Date de création	2023:07:01 06:57:36
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	1.11 GB
Système	
Nom du programme	Agisoft Metashape Professional
Version du programme	1.8.5 build 15709
Système d'exploitation	Windows 64 bit
RAM	15.82 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-8665U CPU @ 1.90GHz
GPU(s)	Aucun

Sillon des Anglais (relevé photogrammétrique du 05 juillet 2023)

**Rapport de traitement photogrammetrique
Levé réalisé le 05 juillet 2023 sur le site de Sillon des Anglais (29) - Phantom IV
Pro + GCPs levés en mode RTK**

26 June 2023



Données du levé

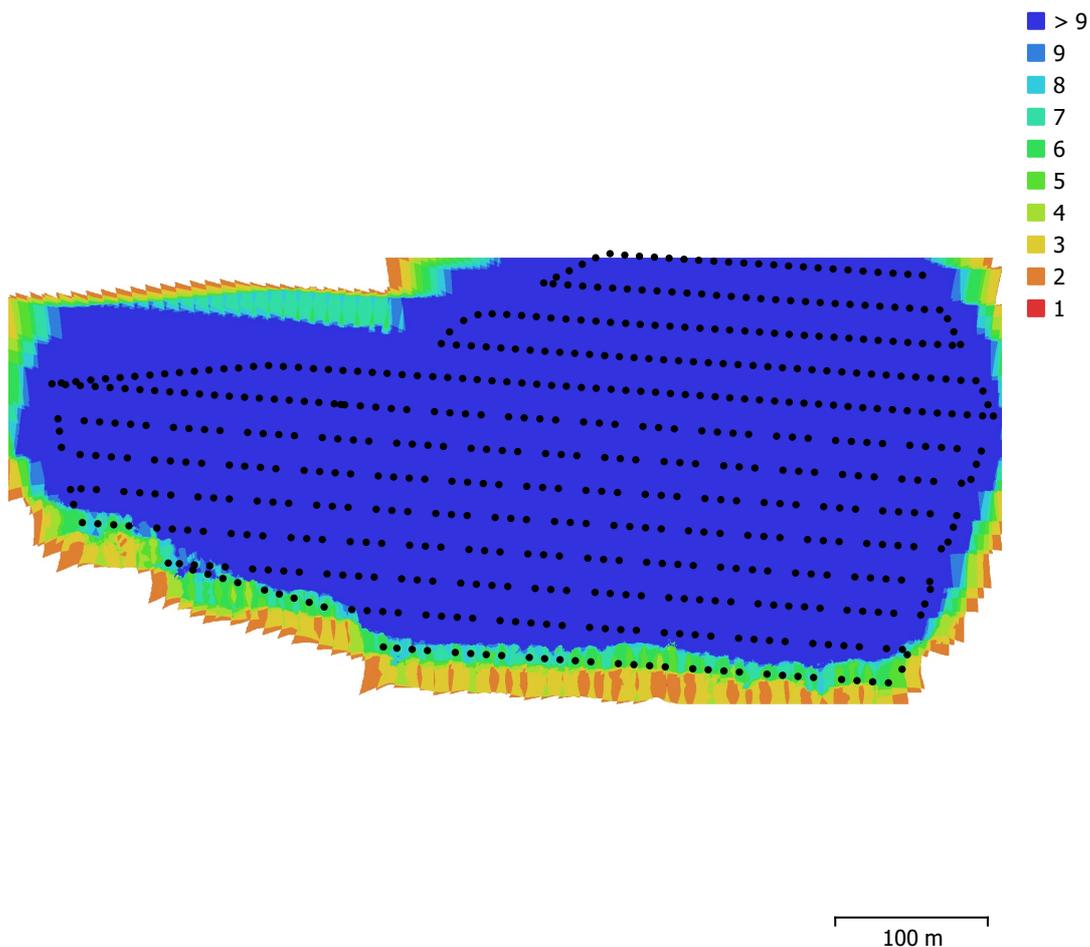


Fig. 1. Emplacements des caméras et chevauchement des images.

Nombre d'images:	562	Stations de caméras:	559
Altitude de vol:	55.8 m	Points de liaison:	440,812
Résolution au sol:	1.43 cm/px	Projections:	2,700,844
Zone de couverture:	0.166 km ²	Erreur de reprojection:	0.425 px

Modèle de caméra	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel	Précalibré
FC6310R (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 µm	Non

Tableau 1. Caméras.

Calibration de la caméra

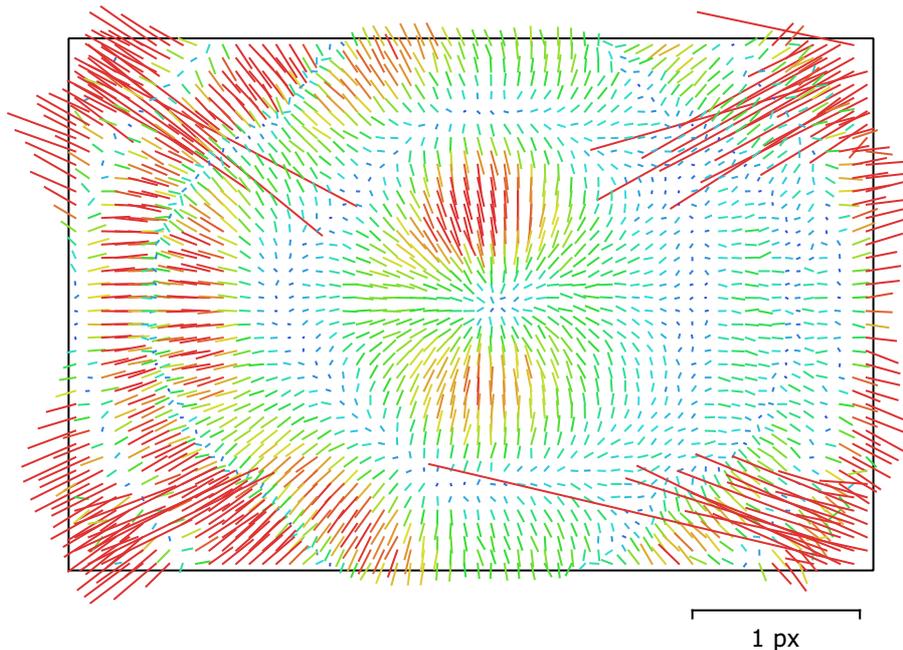


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour FC6310R (8.8mm).

FC6310R (8.8mm)

562 images

Type	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel
Cadre	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μm

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3663.83	0.46	1.00	-0.03	-0.02	-1.00	0.98	-0.95	-0.04	0.05
Cx	-13.9353	0.027		1.00	-0.00	0.03	-0.04	0.04	-0.85	-0.03
Cy	19.6122	0.027			1.00	0.02	-0.02	0.02	-0.04	-0.88
K1	-0.263697	6.6e-05				1.00	-0.99	0.97	0.04	-0.05
K2	0.105711	5.4e-05					1.00	-0.99	-0.03	0.05
K3	-0.0289303	2.3e-05						1.00	0.03	-0.05
P1	-0.000459387	1e-06							1.00	0.06
P2	0.000112503	1.2e-06								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

Points de contrôle au sol



● Points de contrôle

⊥ Points de vérification

100 m

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	2.1426	2.29322	1.99603	3.13841	3.71938

Tableau 3. Points de contrôle RMSE.

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

Etiquette	Erreur X (cm)	Erreur Y (cm)	Erreur Z (cm)	Total (cm)	Image (px)
cible01	-1.90638	0.784392	0.663417	2.16557	3.148 (20)
cible02	2.43663	-3.30494	3.37012	5.31202	2.520 (20)
cible03	-1.25445	-3.24219	3.63497	5.02976	5.967 (26)
cible04	-5.11111	5.31922	4.08991	8.43475	2.613 (23)
cible05	-1.64684	1.75409	-1.74126	2.97	1.005 (25)
cible06	-0.438427	-2.05985	-2.77926	3.48704	7.745 (19)
cible07	1.72608	0.645808	1.50715	2.38074	0.686 (19)
cible08	1.97806	-1.14284	-0.864456	2.44256	0.541 (17)
cible09	-1.47954	0.916394	-0.00557658	1.74036	1.239 (19)
cible10	0.542426	-2.76729	-1.37581	3.13767	0.566 (19)
cible11	1.34832	-0.0989901	0.239895	1.37306	0.274 (19)
cible12	-0.42612	1.27573	-2.09126	2.48645	0.423 (18)
cible13	-0.605429	-1.40793	1.77645	2.34619	2.545 (21)
cible14	-3.86039	2.0695	1.29427	4.56734	0.430 (20)
cible15	1.63378	1.7623	-1.67179	2.92742	1.001 (21)
cible16	-0.436503	-2.69093	0.494092	2.77052	0.984 (17)
cible17	3.5893	1.61325	0.418441	3.95737	0.535 (14)
cible18	0.271365	2.43376	1.35372	2.7981	0.342 (20)
Total	2.1426	2.29322	1.99603	3.71938	2.806

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

Modèle Numérique d'élévation

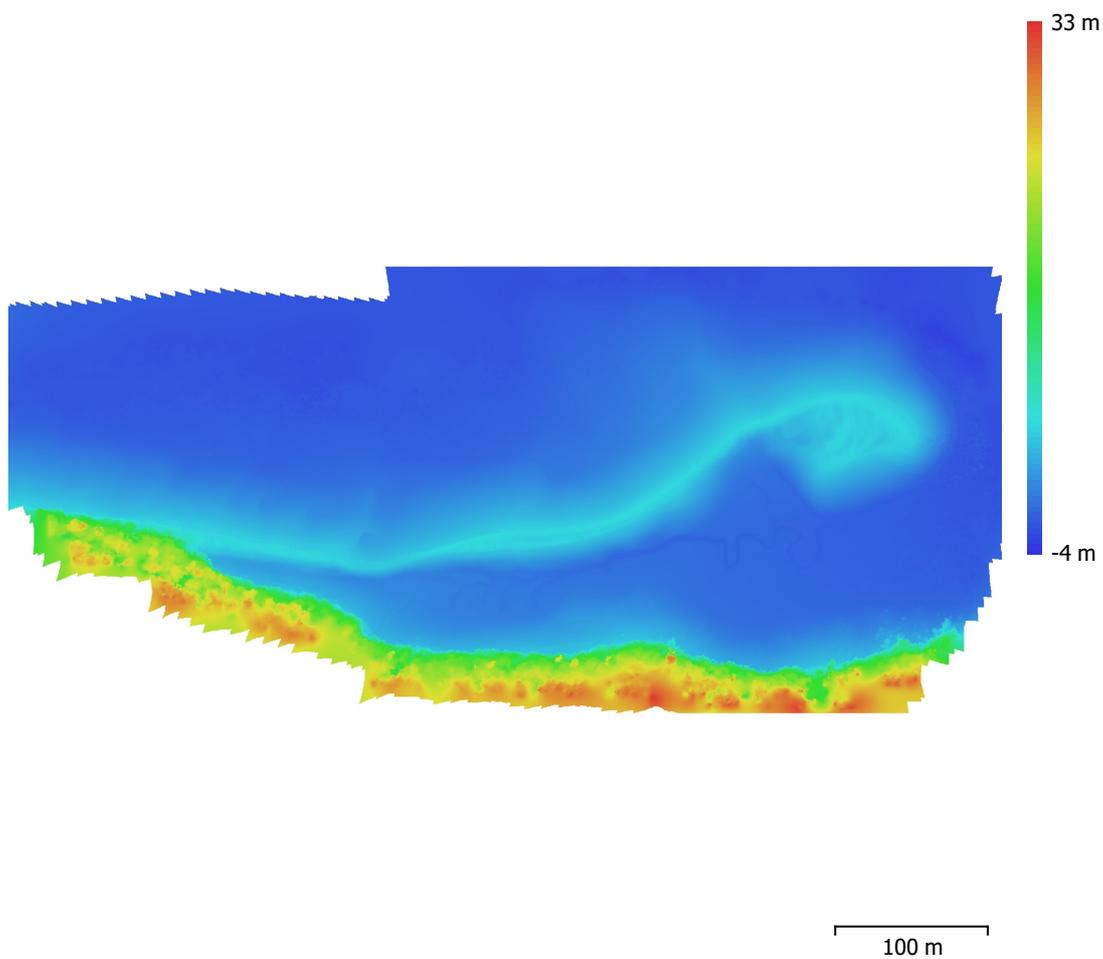


Fig. 4. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.85 cm/px
Densité des points: 0.123 points/cm²

Paramètres de traitement

Général

Caméras	562
Caméras alignées	559
Repères	18
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis

Nuage de point

Points	440,812 de 998,796
Erreur RMS de reprojection	0.148304 (0.424954 px)
Erreur Max de reprojection	2.39391 (6.34785 px)
Taille moyenne de point	2.69386 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Points-clé	Non
Multiplicité moyenne des points de liaison	4.525

Paramètres d'alignement

Précision	Haute
Présélection générique	Oui
Présélection par références	Source
Limite de points	40,000
Limite de points-clé par Mpx	60,000
Limite de points de liaison	10,000
Exclure les points de liaison fixes	Oui
Correspondance d'images guidée	Non
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Temps de concordance	10 minutes 11 secondes
Utilisation de la mémoire de correspondance	1018.03 MB
Temps d'alignement	29 minutes 39 secondes
Utilisation de la mémoire d'alignement	1.66 GB

Paramètres d'optimisation

Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	24 secondes
Date de création	2023:06:23 14:02:23
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	81.98 MB

Cartes de profondeur

Nombre	550
--------	-----

Paramètres de génération des cartes de profondeur

Qualité	Haute
Mode de filtrage	Modéré
Max voisins	16
Temps de traitement	26 minutes 30 secondes
Utilisation de la mémoire	10.08 GB
Date de création	2023:06:23 15:53:45
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	2.59 GB

Nuage de points dense

Points	150,166,326
Couleurs des points	3 bandes, uint8

Paramètres de génération des cartes de profondeur

Qualité	Haute
Mode de filtrage	Modéré
Max voisins	16
Temps de traitement	26 minutes 30 secondes
Utilisation de la mémoire	10.08 GB

Paramètres de génération du nuage de points dense

Temps de traitement	25 minutes 50 secondes
Utilisation de la mémoire	11.68 GB
Date de création	2023:06:23 16:19:44
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	1.95 GB

MNE

Taille	22,822 x 10,339
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)

Paramètres de reconstruction

Données source	Nuage dense
Interpolation	Activé
Temps de traitement	2 minutes 25 secondes
Utilisation de la mémoire	331.27 MB
Date de création	2023:06:23 16:22:19
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	974.22 MB

Orthomosaïque

Taille	45,643 x 20,677
Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Couleurs	3 bandes, uint8

Paramètres de reconstruction

Mode de fusion	Mosaïque
Surface	MNE
Activer le remplissage des trous	Oui
Activer le filtre fantôme	Non
Temps de traitement	14 minutes 33 secondes
Utilisation de la mémoire	2.63 GB
Date de création	2023:06:23 16:29:26
Version du programme	1.8.5.15709
Taille du fichier	17.70 GB

Système

Nom du programme	Agisoft Metashape Professional
Version du programme	1.8.5 build 15709
Système d'exploitation	Windows 64 bit
RAM	15.82 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-8665U CPU @ 1.90GHz
GPU(s)	Aucun