



HAL
open science

Diagnostic topo-morpho-sédimentaire des sillons du Loc'h et des Anglais (Landévennec) pour l'année 2018

Pierre Stéphan, Bernard Fichaut, Serge S. Suanez

► **To cite this version:**

Pierre Stéphan, Bernard Fichaut, Serge S. Suanez. 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. 2019. hal-02129541

HAL Id: hal-02129541

<https://hal.science/hal-02129541v1>

Submitted on 15 May 2019

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.



université
de bretagne
occidentale

Pierre STÉPHAN
Bernard FICHAUT
Serge SUANEZ

Diagnostic topo-morpho-sédimentaire des sillons du Loc'h et des Anglais (Landévennec) pour l'année 2018

Mai 2019



INSTITUT
UNIVERSITAIRE
EUROPÉEN
DE LA MER



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



Rapport d'étude

Diagnostic topo-morpho-sédimentaire du Sillon du Loc'h et du Sillon des Anglais (Landévennec) (année 2018)

Mai 2019

Pierre STEPHAN, Bernard FICHAUT, Serge SUANEZ



Maître d'œuvre

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

Réalisation : Pierre STÉPHAN, Bernard FICHAUT, Serge SUANEZ
pierre.stephan@univ-brest.fr; bernard.fichaut @univ-brest.fr ; serge.suanez@univ-brest.fr

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

1. Introduction

Par leur nombre et leur diversité, les flèches de galets de la rade de Brest constituent un remarquable patrimoine géomorphologique. La rade de Brest compte aujourd'hui 37 cordons littoraux (Stéphan, 2008, 2011a, 2011b ; Stéphan et al., 2012a, 2012b, 2015), formes d'accumulation sédimentaires qui ont la particularité de ne pas être adossées à la côte. Comme l'ont fait remarquer Guilcher *et al.* (1957, p.21), cet ensemble peut être considéré comme «*le plus intéressant de toute la côte française de la Manche et de l'Atlantique, après celui de la côte picarde*» en raison du nombre et de l'étonnante diversité de ces édifices dans une petite mer intérieure.

Parmi ces cordons, on dénombre une vingtaine de flèches littorales qui sont toutes constituées de sédiments grossiers : galets, graviers et sables grossiers, en proportion variable selon les endroits. Généralement, ce type d'accumulation sédimentaire s'observe sur des littoraux très exposés aux grandes houles du large, où l'énergie des vagues permet le transport et l'organisation des sédiments de grande taille en cordons. En rade, la hauteur des vagues ne dépasse jamais le mètre. Aussi, la présence de flèches de galets dans un environnement aussi peu énergétique constitue une originalité qui s'explique en grande partie par la nature des sédiments livrés par les falaises. Ces dernières sont les seules pourvoyeuses en matériel sédimentaire sur le littoral de la rade. Elles sont tantôt taillées dans des affleurements de roches très tendres, comme les schistes qui se délitent en lamelles de taille centimétriques, tantôt dans du head périglaciaire, accumulé à la base des versants lors de la dernière glaciation. Cette formation meuble, extrêmement hétérométrique est constituée d'une matrice argileuse emballant en proportions variables des graviers, cailloux et blocs. Lavés et triés par les vagues, ces sédiments grossiers alimentent les estrans où ils sont mis en mouvement, sous l'action des courants de dérive et déposés en masse dans un secteur abrité. L'extrême découpage du trait de côte en rade offre ainsi une multitude de sites d'abri où peut s'effectuer le dépôt de ce matériel et le développement d'un cordon littoral. Un léger rentrant dans le tracé du rivage est alors suffisant pour permettre au cordon de s'en détacher et former une flèche littorale.

Les travaux récents des géomorphologues de l'Université de Brest et du CNRS ont permis de dresser l'état de santé de ces flèches littorales, en retraçant leur évolution au cours des soixante dernières années (Stéphan et al., 2012a ; 2012b). Les résultats obtenus indiquent que la plupart des cordons de la rade de Brest sont en érosion et montrent des signes de fragilité qui laissent craindre leur démantèlement progressif par les vagues dans les années et décennies à venir. 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 par le passé (1986, 1990, 1993) visant à colmater les amorces de brèches créées par les tempêtes, à rehausser la crête et à reprofiler le cordon (Morel, 1997). Toutefois, l'ouverture en 2003 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.

Afin de rendre compte le plus finement possible des changements morphologiques enregistrés sur quelques sillons de la rade de Brest, un suivi topo-morphologique a été initié dès 2004 par les géomorphologues de l'Université de Brest. Réalisé à une fréquence semestrielle à annuelle, ce suivi s'est progressivement relâché à partir de 2008 et les mesures sont devenues occasionnelles au cours des dix dernières années.

A 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, il a été décidé de remettre en service ce suivi topo-morphologique sur les sillons du Loc'h et sur le Sillon des Anglais (commune de Landévennec). Cette décision fait suite à une série d'observations de terrain réalisées en janvier 2018,

faisant état d'une situation particulièrement inquiétante en termes d'érosion des sites par la mer et de vulnérabilité face aux submersions marines.

Afin de quantifier 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 des années passées. 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

Les suivis topo-morphologiques présentés dans ce rapport s'appuient sur l'acquisition de données topographiques de façon plus ou moins régulière. Chaque nouveau levé est comparé au précédent, ce qui permet de mesurer les changements d'altitude et de morphologie, d'observer le sens de déplacement des stocks sédimentaires, de mesurer les volumes mis en mouvements, de localiser les secteurs de fragilité.

2.1. Historique des relevés topographiques

Le sillon du Loc'h de Landévennec fait l'objet d'un suivi topo-morphologique depuis le mois de janvier 2004. Ce suivi a été initié dans le cadre d'un travail de Master et s'est prolongé lors des travaux de doctorat de Pierre Stéphan à une fréquence semestrielle (Stéphan, 2011a). A partir de 2008, la fréquence d'observation a été réduite et les relevés ont été effectués de façon moins régulière (Stéphan et Laforge, 2013). Aucun levé n'a été réalisé sur les périodes 2008-2010 et 2014-2017. Un seul levé est effectué entre 2011 et 2013 et en juin 2018.

Au Sillon des Anglais, les relevés topographiques ont débuté en août 2005 et se sont poursuivis à une fréquence semestrielle jusqu'en décembre 2007. Depuis cette date, seuls trois levés ont été effectués : en juin 2011, juillet 2015 et juin 2018.

2.2. Matériels de mesure

Relevés au DGPS

Les premiers relevés topographiques (année 2004) ont été réalisés à l'aide d'un tachéomètre Leica. A partir de 2005 et jusqu'en 2013, les mesures topographiques ont été obtenues à l'aide d'un GPS différentiel (Trimble 5700/5800) de précision centimétrique. Un réseau de points de calages a permis d'estimer l'erreur de la mesure inférieure à 3 cm en positionnement (X-Y) et 1,5 cm en altitude (Z). Les mesures ont été raccordées au système géodésique français RAF98 à partir de points de calage matérialisés par des clous topographiques implantés dans les parties fixes environnantes (**figure 1**). Ces points de calage ont, eux-mêmes, été raccordés au système géodésique français à partir de bornes IGN situées à proximité. A partir des points topographiques mesurés sur le terrain, le relief a été modélisé sous le logiciel Surfer 10 en utilisant le krigeage comme modèle d'interpolation avec intégration des lignes de rupture de pente. La résolution spatiale des Modèles Numériques de Terrain (MNT) est de 50 cm x 50 cm. Chaque MNT produit a été comparé au MNT précédent afin d'effectuer le bilan morfo-sédimentaire sur la période.

Relevés au drone

Les relevés topographiques ont été réalisés le 18 juin 2018 sur le sillon du Loc'h et le 20 juin 2018 sur le sillon des Anglais. Ces relevés s'appuient sur une nouvelle technique basée sur l'utilisation de photographies stéréoscopiques. Ce protocole a été mis en œuvre afin d'améliorer la qualité et la résolution de la mesure topo-morphologique. La méthode repose sur l'utilisation d'un drone Phantom 4 Pro autopiloté. Les survols du Sillon du Loc'h et du Sillon des Anglais ont permis l'acquisition d'images à une altitude moyenne de 50 m. A partir de ces prises de vue, la topographie a été reconstituée selon le principe de la stéréo-photogrammétrie sous le logiciel Agisoft PhotoScan. 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 (figures 2 et 3). Un total de 412 et 315 clichés aériens ont été effectué sur le Sillon du Loc'h et le Sillon des Anglais respectivement. Avant chaque survol, un ensemble des cibles ont été positionnées au sol et leur position a été relevée au DGPS (figures 4 et 5). Les coordonnées de ces cibles ont été utilisées pour géoréférencer les prises de vue et le nuage de points topographiques produits. Cette méthode a permis de produire deux principaux jeux de données : (i) une orthophotographie de la zone survolée et (ii) un nuage de points de très forte densité comptant plusieurs millions de points. En définitive, les Modèles Numériques de Terrain réalisés présentent une très haute résolution (taille du pixel entre 2 et 3 cm) (figures 6 et 7). Figures MNT Loc'h et MNT Anglais.

Les incertitudes

En dépit de leur très haute résolution, les MNT reconstruits à partir des survols au drone peuvent parfois présenter des erreurs significatives en raison d'un mauvais recouvrement 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.

Afin d'estimer l'incertitude et les erreurs de reconstruction topographique, nous avons pris soin de réaliser, en parallèle des survols drone, un ensemble de mesures topographiques de vérification au DGPS. Les altitudes mesurées au DGPS (Z_{DGPS}) ont été comparés aux altitudes reconstruites par photogrammétrie (Z_{drone}). Sur le site du Loc'h, les écarts ($Z_{\text{drone}} - Z_{\text{DGPS}}$) ont été calculés au niveau des cibles au sol où ils sont inférieurs à 3 cm, au niveau des substrats nus (vase ou graviers) où avoisinent 5 cm, au niveau du couvert végétal où ils atteignent 35 cm en moyenne et peuvent dépasser localement 70 cm (Tableau 1). Sur le sillon des Anglais, les écarts ont été estimés uniquement sur le substrat graveleux et sont généralement inférieures à 5 cm (figure 8).

Vérification	Ecart (en cm)			Nbre de points
	Moy.	Min.	Max.	
Sillon du Loc'h				
Sur cibles	3	0,1	5,9	23
Sur substrat végétalisé	34,8	3,7	75,5	238
Sur substrat nu (vase, graviers)	5,4	0,5	10,2	71
Sillon des Anglais				
Sur substrat nu (graviers)	5,6	0,1	10,7	39

Tableau 1 : Ecart (en cm) entre les altitudes relevées au DGPS et les altitudes reconstruites à partir des survols drone en fonction des différents substrats.

D'une façon générale, on peut considérer que les MNS reconstruits à partir des survols drone ont une précision en élévation de ± 5 cm en moyenne et de ± 11 cm au maximum. Dans les comparaisons avec les levés antérieurs, les variations topographiques inférieures à 10 cm seront donc considérées comme non-significatives. Dans les secteurs végétalisés, les erreurs sont importantes et dépendent localement de l'épaisseur de la couverture végétale. Dans les comparaisons avec les précédents levés, ces secteurs n'ont pas été pris en compte.

Enfin, on peut d'emblée préconiser que, dans le cadre d'un futur suivi, 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 d'induire pas des différences d'élévation qui ne sont pas d'ordre topographiques, mais végétales.

3. Résultats

3.1. Le Loc'h et les Anglais : des contextes différents

Les sites du Loc'h et des Anglais, bien qu'ils soient situés à quelques trois kilomètres l'un de l'autre seulement et sur une côte a priori homogène et de même orientation, sont en fait différents dans leurs modes de fonctionnement hydro-sédimentaire.

Dans les deux cas, ces flèches qui toutes deux pointent vers l'est sont alimentées en sédiments -principalement des cailloux- par une dérive littorale provenant de l'ouest. La différence essentielle provient de la longueur et de la nature de la cellule qui les constitue. Une cellule littorale est une entité regroupant un secteur qui alimente le littoral en sédiments et un autre dans lequel ces sédiments tendent à se déposer. Chaque cellule fonctionne isolément de celles qui lui sont adjacentes. Lorsqu'il y a des flèches littorales, la cellule regroupe donc le secteur pourvoyeur de sédiments, en érosion, et la flèche secteur de dépôt.

Au Loc'h, la cellule va de la pointe de Lomergat jusqu'à l'extrémité 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 que de faibles quantités de matériel grossier à la dérive littorale.

La cellule du Sillon des Anglais est bien plus longue : 3,3 km pour la partie en érosion et 0,6 km pour la flèche elle-même. Les falaises rocheuses sont cantonnées aux pointes peu saillantes, par contre les falaises de head sont omniprésentes, parfois très hautes et en recul marqué, comme celle qui est à 300 m à l'est du Loc'h est l'une des plus imposantes de la rade de Brest. En conséquence la cellule des Anglais fournit à la dérive beaucoup plus de sédiments grossiers que celle du Loc'h. Ces différences expliquent pour beaucoup les tendances évolutives de ces deux sites qui vont être analysées et expliquées ci-après

3.2. Le Sillon du Loc'h : un cordon en cours de démantèlement

Rappel de l'évolution de 2004 à 2012 (figures 9 à 11)

Durant cette période, la tendance générale a été marquée par l'érosion du sillon du Loc'h. Suite à l'ouverture d'une brèche dans le cordon interne en décembre 2003, l'accélération des courants de

vidange de la lagune au jusant ont induit un surcreusement de la partie externe du chenal de marée qui s'est progressivement encaissé profondément dans la plage à l'extrémité de la flèche externe. Ce phénomène a perturbé l'ensemble de l'équilibre antérieur du sillon. Les galets de la flèche externe, mus d'ouest en est par la dérive littorale ont été systématiquement déversés dans ce chenal profond et entraînés par le courant de jusant puissant. De surcroît, le chenal de marée, au débouché externe de la brèche, forme un méandre marqué dont la rive concave entaille le revers de la flèche accentuant encore l'érosion de cette dernière. Tous les galets entraînés par les courants de jusant se sont accumulés au débouché du chenal de marée au niveau des basses mers sous forme d'un delta d'environ 800 m³. Ce départ de sédiments vers le delta n'a pas été compensé par un apport équivalent en provenance de l'ouest (l'amont dérive), c'est à dire du secteur compris entre le Loc'h et la pointe de Lomergat. En effet les falaises de cette portion de côte ne reculent que très occasionnellement et ne fournissent plus de matériel caillouteux susceptible d'alimenter la dérive. En conséquence c'est l'érosion de la face exposée de la flèche qui alimente le delta du bas d'estran. Ceci a bien sûr entraîné son abaissement progressif qui s'est d'abord manifesté par une érosion de sa crête végétalisée, ensuite par son abaissement et à partir de 2008 par son franchissement occasionnel par les vagues lors de tempêtes associées à de forts coefficients. Parallèlement, le fond du chenal de marée s'étant creusé, l'érosion régressive a gagné la vasière du Loc'h où de nombreux chenaux se sont creusés. L'exondation quotidienne de la vasière, qui auparavant restait remplie d'eau durant les grandes marées et en période de fortes pluies hivernales, s'est accompagnée de sa transformation en marais maritime. Hors des chenaux, les spartines ont colonisé l'ensemble des vasières exondées quotidiennement.

Evolution de 2012 à juin 2018 (figure 12)

Les tendances de la période précédente se confirment (figure 12) Comme précédemment, c'est la dynamique du chenal de marée qui entraîne la dégradation de l'ensemble du système. On voit que la partie exposée de la flèche active est déficitaire en sédiments. En effet seulement 45 m³ de cailloutis transportés par la dérive littorale arrivent par l'est pour contribuer à l'engraissement du sillon. Les 176 m³ déposés plus vers l'est proviennent d'un simple transfert d'ouest en est d'une partie du stock du haut de plage (-200 m³ au droit du petit parking occidental). Dans la partie centrale 392 m³ ont été érodés. Ils ont été en grande partie déversés sur le revers de la flèche lors d'un ou plusieurs épisodes tempétueux et pour le reste déposés sous forme de crochet (+ 180 m³) au niveau de la brèche. Le déficit de 125 + 20 m³ de galets à l'extrémité orientale correspond au volume de galets qui ont été poussés dans le chenal et transportés par les courants de jusant vers le delta de bas de plage. Globalement donc, la flèche tend à s'étaler vers l'arrière et à perdre une partie de son stock de sédiments au profit du bas de plage.

Le delta est marqué par une accumulation remarquable de sédiments (+ 771 m³). Les sources de ce matériel sont multiples. Une partie de cette accretion provient du déplacement des chenaux sur le delta lui-même (145 + 45 = 190 m³), une autre du surcreusement du chenal de marée principal et de la brèche (210 + 50 + 35 = 295 m³) ainsi que, comme nous l'avons vu ci-dessus de l'érosion du bout de la flèche (125+20=145 m³). Ces sources à elles seules représentent globalement un volume de 630 m³. Le reste provient sans doute de l'approfondissement des chenaux du marais maritime abrité derrière la flèche. Le matériel érodé dans le marais (325 m³) est essentiellement sablo-vaseux et la fraction la plus fine des sédiments érodés puis transportés par le jusant part se déposer dans des secteurs abrités ou calme du fond de la Rade. Seule la fraction sablo-graveleuse sédimente dans le delta et contribue aussi à l'augmentation de son volume.

Bilan de l'évolution de 2004 à juin 2018 (figures 13 et 14)

Une analyse sur une période de 14 ans ponctuée de 14 relevés topographiques permet de parfaitement cerner dans le détail l'évolution de l'ensemble du secteur du Loc'h. La figure 13 permet, elle, de cerner l'évolution globale du secteur et d'envisager l'évolution à venir.

Rappelons que l'existence de la flèche active ou externe dépend : (i) de son alimentation en sédiments par la dérive littorale qui apporte essentiellement des galets provenant de l'érosion du head des falaises situées plus à l'ouest entre le Loc'h et la pointe de Lomergat, (ii) du dépôt et du maintien des galets sur la partie haute de la flèche. Si ces apports sont en excédent, la flèche ne peut que s'allonger et/ou s'exhausser ; s'ils sont insuffisants, la flèche est menacée.

Sur la période d'étude, l'accrétion due à la dérive littorale à partir de l'ouest est décelable à l'ouest du sillon et représente un volume de $(457+556-297 = 696 \text{ m}^3)$. Ces apports sont non négligeables, mais restent cantonnés à la racine du sillon et ne contribuent pas à alimenter la partie centrale de la flèche ni sa crête.

Dans le même temps, sur la partie centrale et orientale de la flèche, c'est l'érosion qui domine largement puisque ce secteur perd $(348+553+177+35+40+53-90) 1126 \text{ m}^3$ de matériel, soit près du double. Une partie des galets (281 m^3), suite au franchissement de la crête par des vagues de tempête, s'est déversé sur le revers de la flèche en obstruant l'ancien chenal de marée et empiétant même sur la flèche interne. Une autre partie du stock (231 m^3) forme un petit crochet au niveau de la brèche. Ces 512 m^3 ($281+231$) font donc encore partie du sillon mais traduisent son étalement et donc la diminution de sa hauteur, processus appelés à s'accélérer dans le futur. Le reste du stock sédimentaire érodé sur la partie centrale de la flèche soit 624 m^3 ($1126-512$) est lui sorti du système. Poussés par la dérive littorale les galets sont tombés dans le chenal en aval de la brèche et ont été entraînés par les courants de jusant vers le bas de l'estran. 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, contrairement à celui qui est redistribué sur le revers ou sur le crochet, constitue une perte nette et définitive pour le sillon.

Cette évolution ne peut que perdurer. En effet, dans le même temps, le chenal de marée depuis la brèche jusqu'au delta s'est fortement creusé ($226+183+67 = 476 \text{ m}^3$) tout en conservant une forte pente dans la partie comprise juste en aval de la brèche. Les courants de jusant y restent puissants et continueront d'évacuer les galets. Le volume total de l'accrétion sur le delta de basse mer est de 2002 m^3 , dont 1100 m^3 proviennent de l'érosion de la flèche et du chenal. Le reste, environ 900 m^3 provient en partie de l'érosion régressive qui a entaillé de profond chenaux dans l'ancienne lagune devenue marais maritime. La partie la plus fine des 1143 m^3 érodés, autrement dit les particules vaseuses, a été évacuée par l'agitation marine probablement vers les fonds de la rade et seule la fraction la plus grossière s'est maintenue sur place.

L'extrême est de la plage, au-delà du chenal de marée, fonctionne comme une cellule autonome qui ne reçoit plus de matériel frais, tous les apports étant détournés vers le delta. En conséquence, dans ce secteur les vagues tendent à repousser les cailloutis vers l'est et le haut de l'estran, aux dépens de la partie moyenne qui s'amaigrit.

Perspectives d'évolution (figure 15)

Dans années à venir les processus en cours devraient continuer de se produire. La dérive littorale n'apporte pas assez de matériel frais, et surtout ne parvient pas à l'étaler jusqu'à la partie médiane de la flèche. La crête de cette dernière, qui s'abaisse par à-coups lors des tempêtes, est de moins en moins élevée et par voie de conséquence sera de plus en plus fréquemment submergée. A terme elle devrait s'étaler complètement sur les sillons arrière et former un glaciais caillouteux étalé sur la flèche interne végétalisée.

Il est difficile d'envisager précisément l'évolution du chenal dont la pente devrait toutefois, à terme, se régulariser et diminuer en aval de la brèche. Toutefois cela ne signifie pas que le courant va

diminuer. En effet, l'érosion dans le marais signifie que les volumes d'eau entrant et surtout sortant au jusant ne cessent d'augmenter, ce qui pourrait maintenir des courants à forte compétence susceptibles de continuer d'exporter les apports de la dérive vers le delta. Au vu de l'évolution actuelle de la dynamique sédimentaire, le sillon du Loc'h est en état de mort programmée.

3.3. Le Sillon des Anglais

Les figures 16 et 17 qui présentent toutes deux l'évolution morphologique du sillon sur deux périodes différentes montrent des tendances similaires. Pour cette raison, et afin d'éviter d'inutiles redondances seule la carte couvrant l'ensemble de la période d'étude sera commentée (figure 17).

Le constat le plus évident est que le sillon des Anglais est une flèche dont le volume s'accroît. En effet les secteurs en accrétion représentent un volume de + 4320 m³, alors que les secteurs en érosion ne totalisent que -2870 m³, soit un différentiel de 1450 m³. 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 dont l'une est particulièrement visible sur la figure 7.

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 domine et, en 13 ans, a transporté un peu plus de 2000 m³ de sédiments vers le crochet terminal qui, lui, s'engraisse très fortement.

Donc les apports de la dérive littorale, bien que conséquents, transitent le long du sillon pour en engraisser la pointe. Le sommet émergé du sillon est, en dehors du secteur du crochet terminal, extrêmement étroit, sa largeur variant de quelques mètres un maximum de 15 mètres dans la partie centrale.

D'ailleurs, à l'occasion de tempête(s) intervenue(s) entre 2015 et 2018, les vagues ont franchi la crête de la flèche en deux endroits et déversé près de 340 m³ de galets et graviers sur sa face interne. Toutefois, aux deux endroits la crête s'est reconstituée ultérieurement (Figure 17).

Perspectives d'évolution

Le sillon des Anglais peut sembler extrêmement menacé. En effet, la crête de la partie centrale reste extrêmement étroite, est occasionnellement franchie par les vagues, puisque l'essentiel des apports de la dérive littorale migre vers l'extrémité de la flèche qui ne cesse de grossir (figure 18).

Toutefois, en 1957, A. Guilcher et al. lors de la première étude des cordons littoraux de la Rade, soulignaient exactement le même type de caractéristiques morphologiques. Concernant la largeur du sillon, ils indiquaient "*C'est une flèche de galets [...] se réduisant à 20 m de large à peine à certains endroits*" et relativement à la submersion de la crête il écrivait "*Le point le plus bas [...] est immergé lors des très grandes marées ou des tempêtes*". Depuis l'époque de A. Guilcher, le cordon a reculé parallèlement à lui-même, localement de plusieurs dizaines de mètres, ce qui signifie qu'il a, à de nombreuses reprises et en tous points, été franchi par les vagues. Pour autant aucune brèche n'a jamais été ouverte, et en dépit de sa fragilité apparente liée à son étroitesse, le sillon est extrêmement résilient.

4. Références

- Berthois L., Auffret G., (1969) - Contribution à l'étude des conditions de sédimentation dans la rade de Brest. Chapitre 2. Dynamique des dépôts littoraux, *Cahiers Océanographiques*, 5, 469-485.
- Blaise E., Suanez S., Stéphan P., Fichaut B., David L., Cuq V., Autret R., Houron J., Rouan M., Floc'h F., Arduin F., Cancouët R., Davidson R., Costa S., Delacourt C. (2015). 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), 267-294. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01143590/>
- Guilcher, A., Vallantin, P., Angrand, J.P., Galloy, P. (1957) - Les cordons littoraux de la rade de Brest, *Cahiers Océanographiques*, 1, 21-54.
- Morel, V. (1997) - *De la géomorphologie à la gestion des cordons de galets littoraux de bassin de la Manche et de ses abords: études de cas (Bretagne, Haute-Normandie, sud Angleterre) et réflexions générales*, Thèse de doctorat en géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 386 p.
- Stéphan P., Fichaut B., Suanez S. (2005a). Les cordons littoraux de Mengleuz (Logonna-Daoulas) et du Loc'h de Landévennec : aspects récents et actuels de l'érosion de deux flèches de galets en rade de Brest. *Bulletin de la Société de Géologie et Minéralogie de Bretagne*, (D), 2, 1-19.
- Stéphan P., Suanez S., Fichaut B. (2005b). Impacts de l'anthropisation sur l'évolution morphosédimentaire d'un système littoral de flèches en chicane : le sillon de Mengleuz à Logonna-Daoulas en rade de Brest (Finistère). In P. Durand & L. Goeldner-Gianella (dir.), *Milieux littoraux, nouvelles perspectives d'étude*, Ed. L'Harmattan, 95-114. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00071251>
- Stéphan P. (2007). Mobilité des cordons littoraux en rade de Brest, *Penn Ar Bed*, 199/200, 25-38.
- Stéphan P. (2008). Mobilité des cordons littoraux et submersions marines. Les flèches de galets de la rade de Brest (Bretagne, France), *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 12, 1/2, 161-178.
- Stéphan P. (2011a). *Les flèches de galets de Bretagne : évolution passée, présente et future*, Ed. L'Harmattan, Coll. Milieux naturels et Sociétés, Paris, 263 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01093080>
- Stéphan P. (2011b) – Quelques données nouvelles sur la mobilité récente et le bilan sédimentaire des flèches de galets de Bretagne, *Géomorphologie : Relief. Processus. Environnement*, 2, 205-232. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00541848/>
- Stéphan P., Fichaut B., Suanez S. (2012a). *Tome 1 : Les Sillons de la rade de Brest et les marais maritimes associés*. Laboratoires LETG-Géomer-Brest (UMR 6554 CNRS) et LGP (UMR 8591 CNRS), Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, 66 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00663331v1>
- Stéphan P., Fichaut B., Suanez S. (2012b). *Tome 2 : Les Sillons de la rade de Brest et les marais maritimes associés*. Laboratoires LETG-Géomer-Brest (UMR 6554 CNRS) et LGP (UMR 8591 CNRS), Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, 71 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00663331v1>
- Stéphan P., Laforge (2013) - Mise au point sur l'évolution géomorphologique et le devenir des flèches de galets du Loc'h de Landévennec (Bretagne, France). *Géomorphologie : Relief. Processus. Environnement*, 2, 191-208. <https://geomorphologie.revues.org/10246>
- Stéphan P., Suanez S., Fichaut B. (2015). Long-, Mid- and Short-Term Evolution of Coastal Gravel Spits of Brittany, France. In N. Randazzo, D. Jackson, A. Cooper (Eds.), *Sand and Gravel Spits*, Springer Ed., Coastal Research Library 12, Springer, 275-288. <https://hal.archives-ouvertes.fr/LETG-GEOMER/hal-01146229v1>

5. Figures

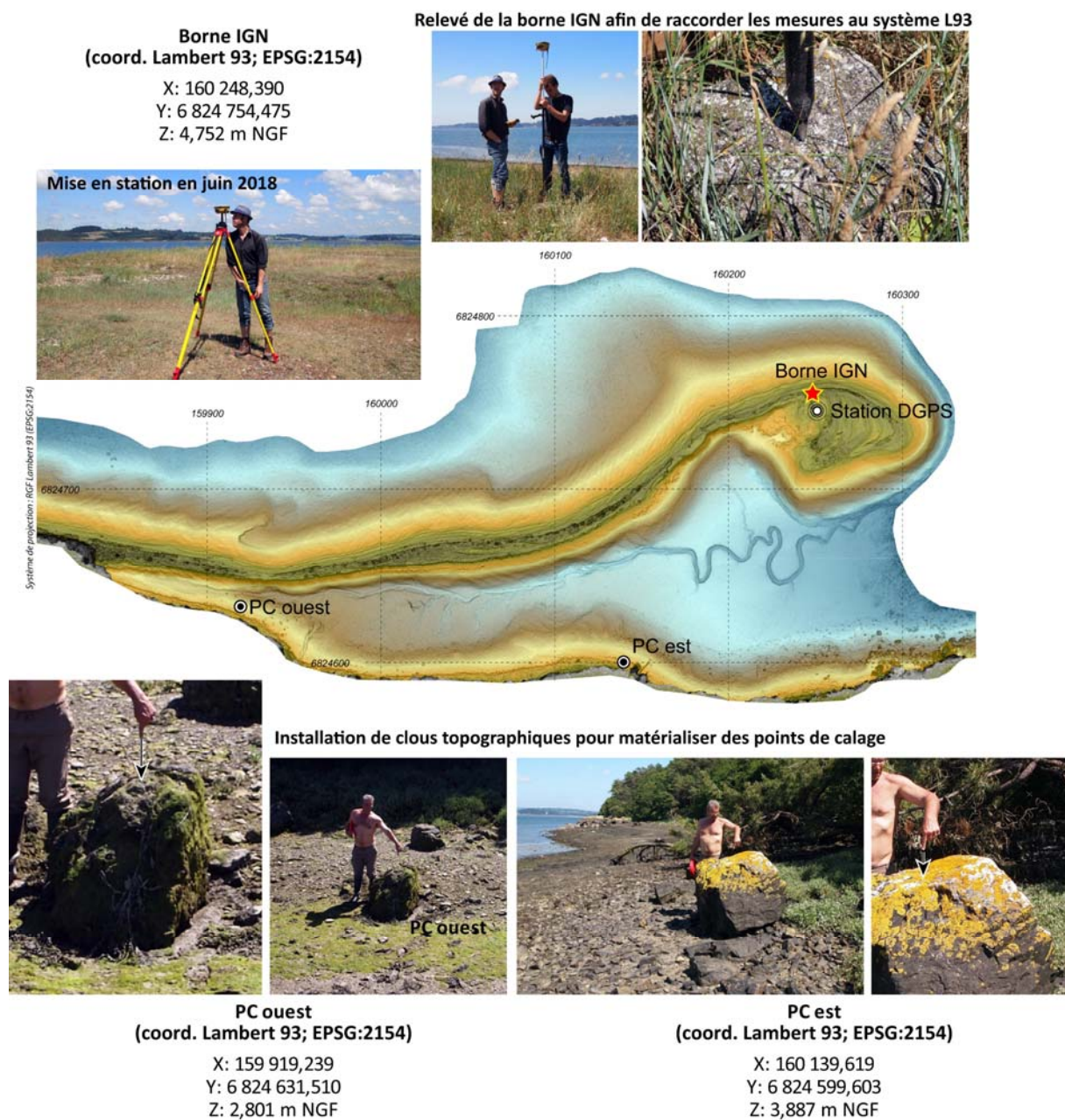
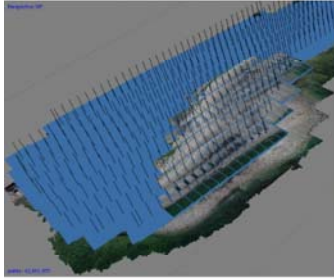


Figure 1. Localisation et coordonnées géographiques de la borne IGN et des points de calage installés à proximité du Sillon des Anglais.

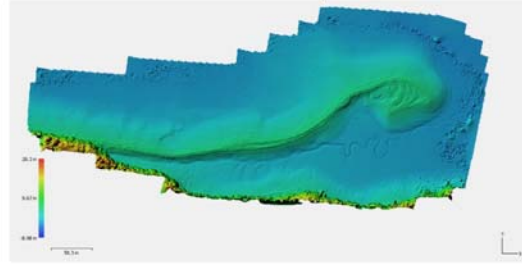
1-Alignement des photos



2-Génération d'un nuage de points



3-Génération d'un Modèle Numérique de Terrain



4-Génération d'une ortho-photographie

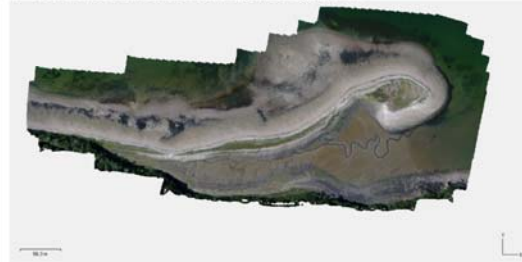
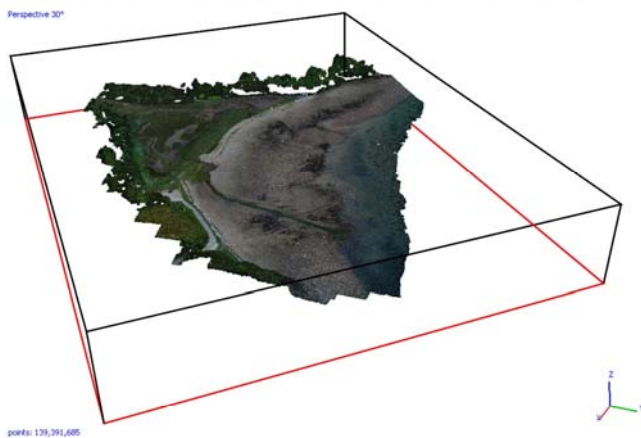
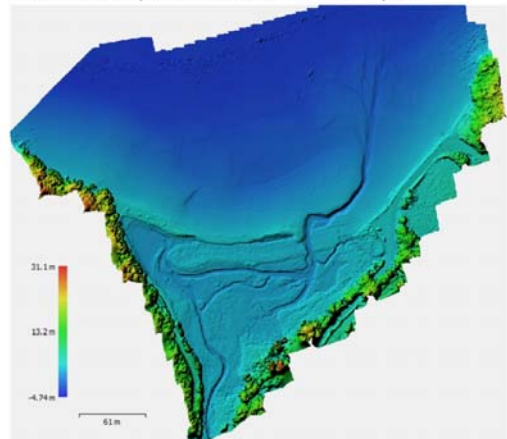


Figure 2. Etapes de traitement photogrammétrique des images aériennes prises au drone sur le Sillon des Anglais le 20 juin 2018.

Génération d'un nuage de points dense : 139 millions de points topographiques



Modèle Numérique de Terrain (résolution : 3 cm/pixel)

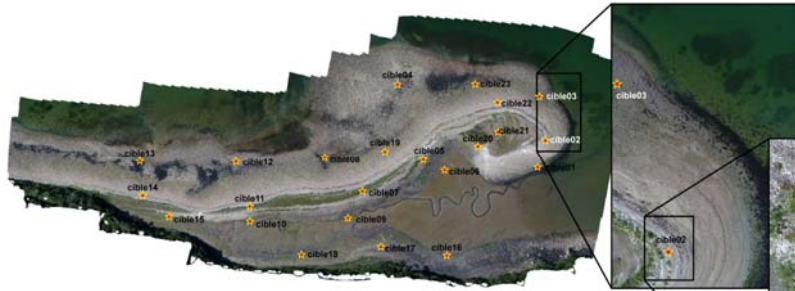


Orthophotographie (résolution : 2.5 cm/pixel)

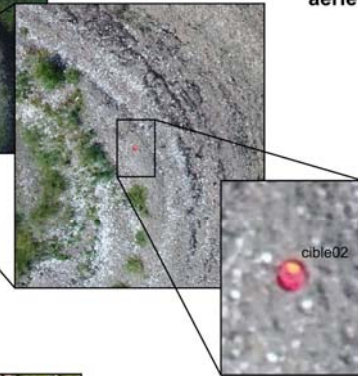


Figure 3. Etapes de traitement photogrammétrique des images aériennes prises au drone sur le Sillon du Loc'h le 18 juin 2018.

1- Positionnement des cibles au sol



2- Prise de photos aériennes



3- Levé des cibles au DPGS



Figure 4. Position et relevé DGPS des cibles au sol sur le Sillon des Anglais le 20 juin 2018.

23 cibles au sol

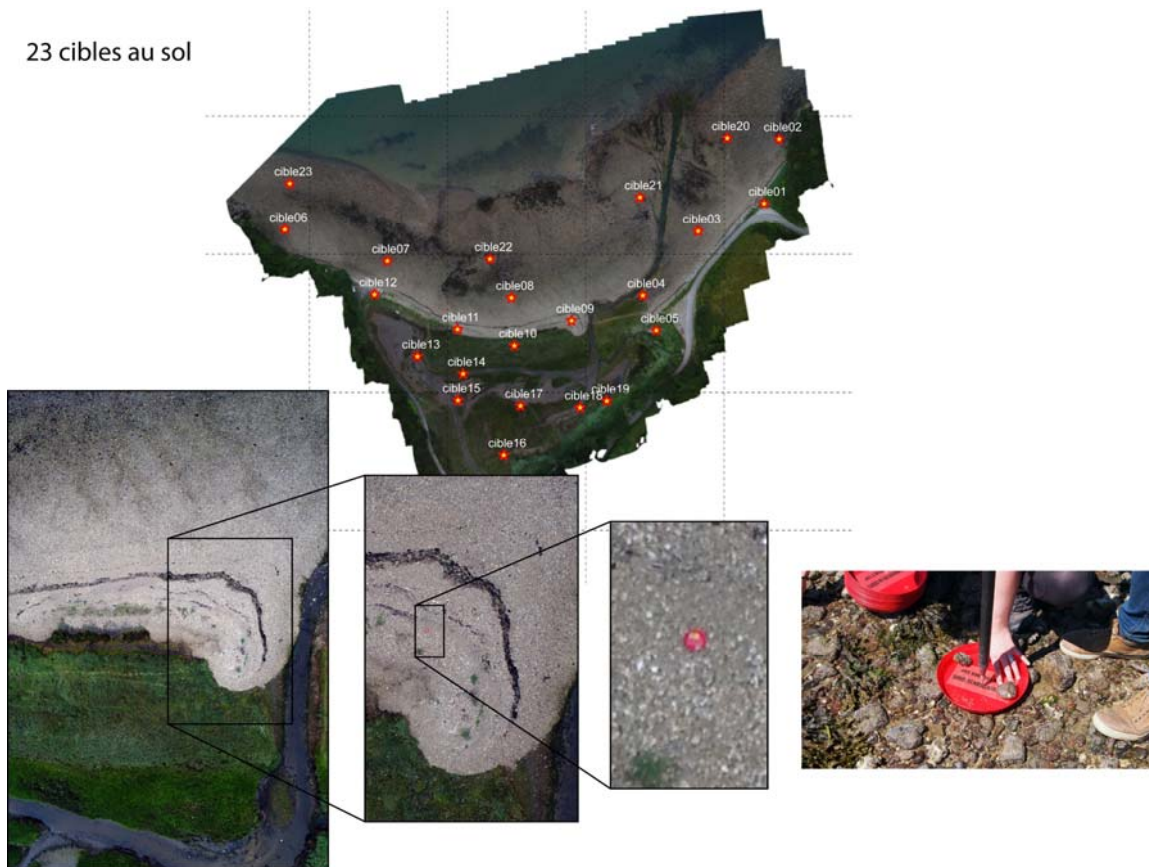


Figure 5. Position et relevé DGPS des cibles au sol sur le Sillon du Loc'h le 18 juin 2018.

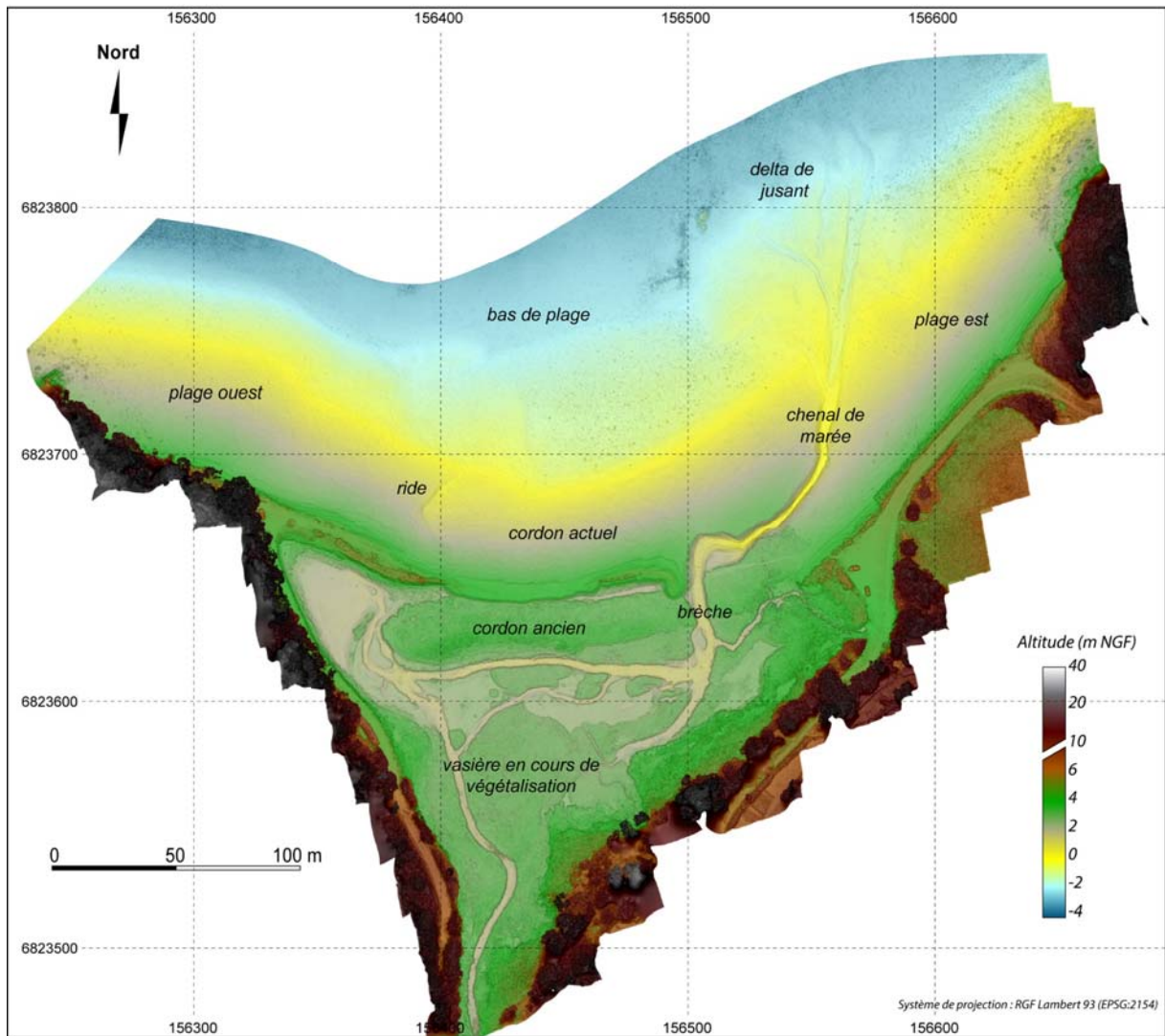


Figure 6. Modèle Numérique de Terrain produit à partir des images aériennes prises au drone sur le Sillon du Loc'h le 18 juin 2018.

Modèle numérique de terrain du Sillon des Anglais (Landévennec) en juin 2018

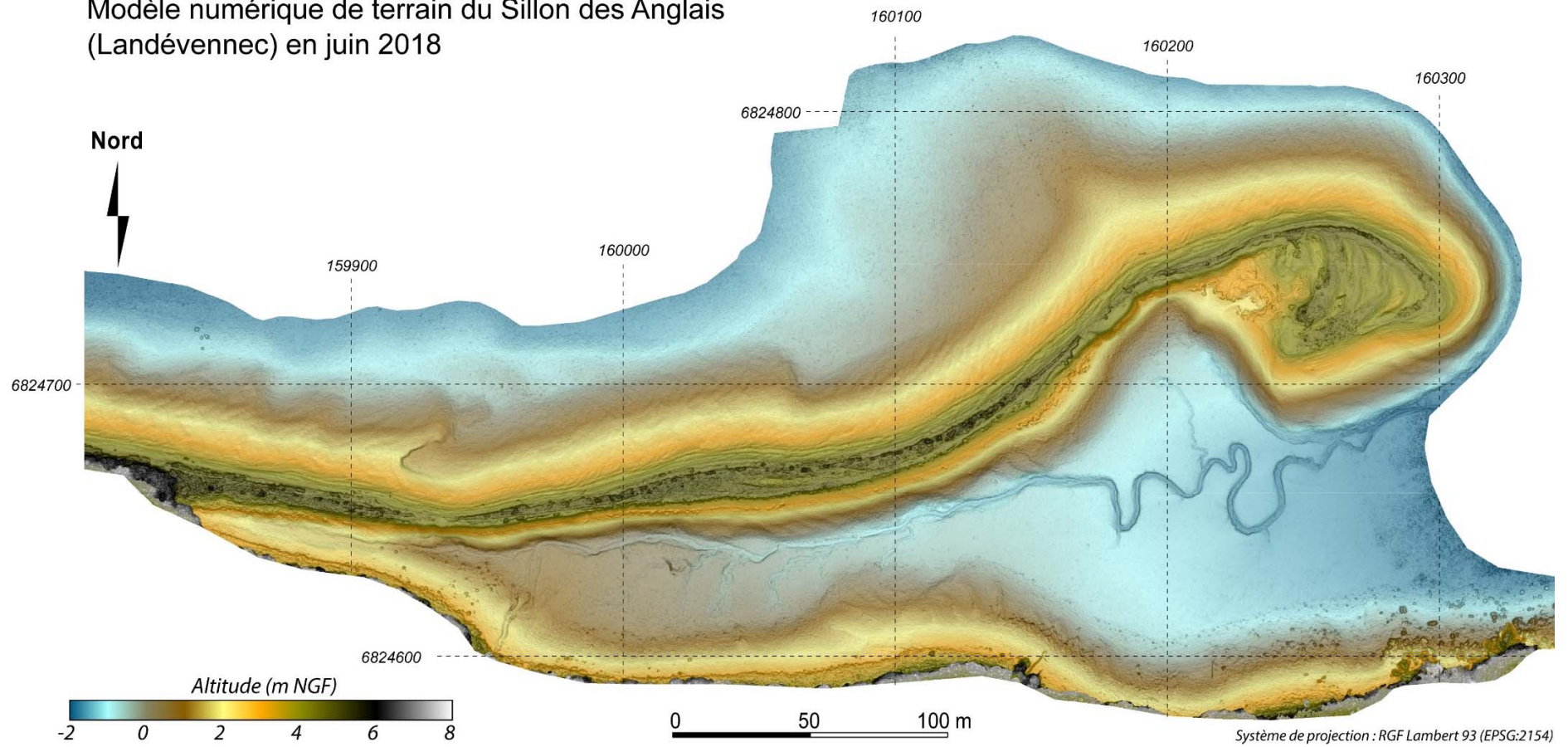


Figure 7. Modèle Numérique de Terrain produit à partir des images aériennes prises au drone sur le Sillon des Anglais le 20 juin 2018.

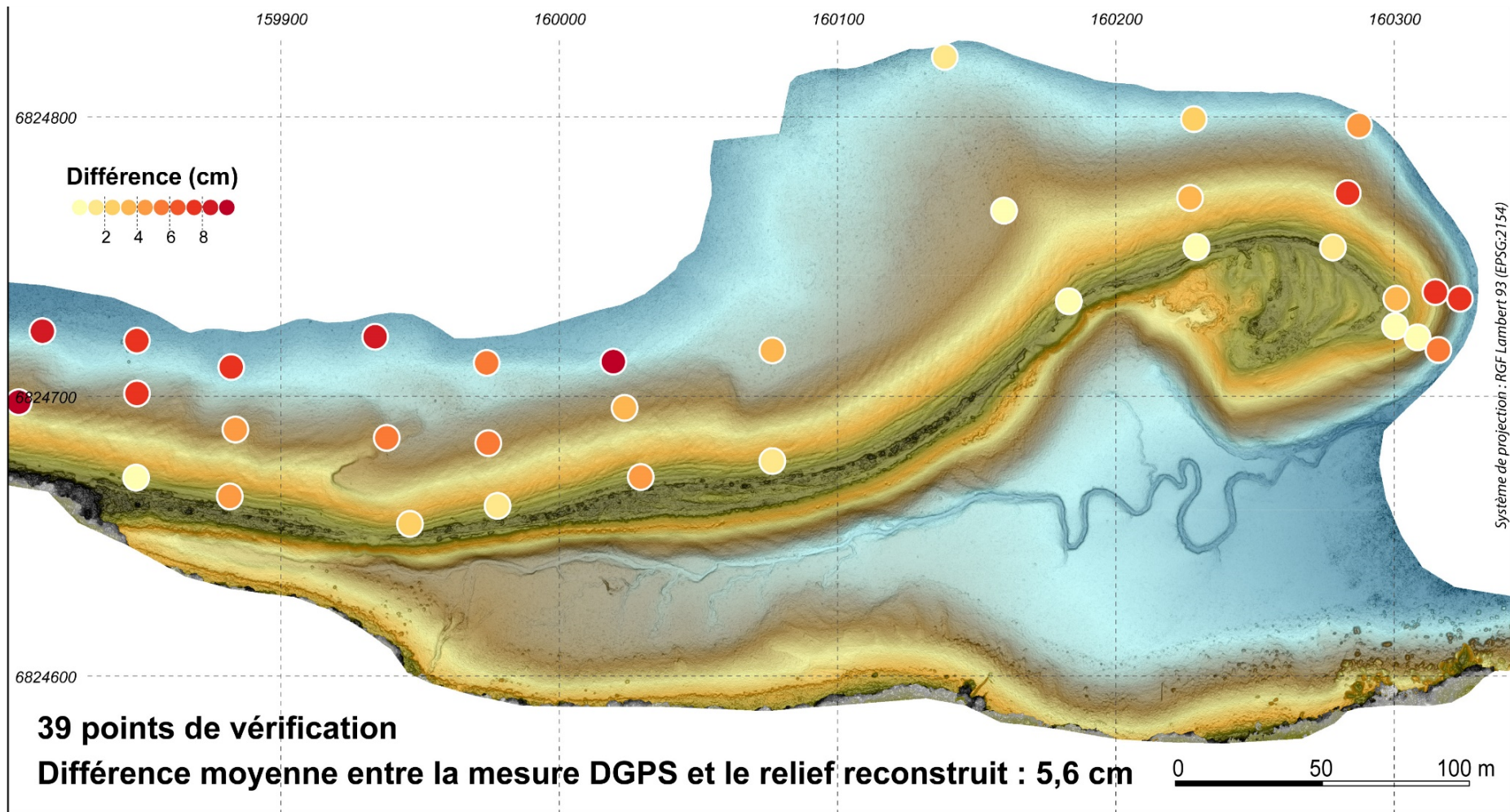


Figure 8. Localisation des points de vérification relevés au DGPS sur le Sillon des Anglais le 20 juin 2018. Le gradient de couleur indique l'écart d'altitude entre la mesure DGPS et la reconstruction photogrammétrique.

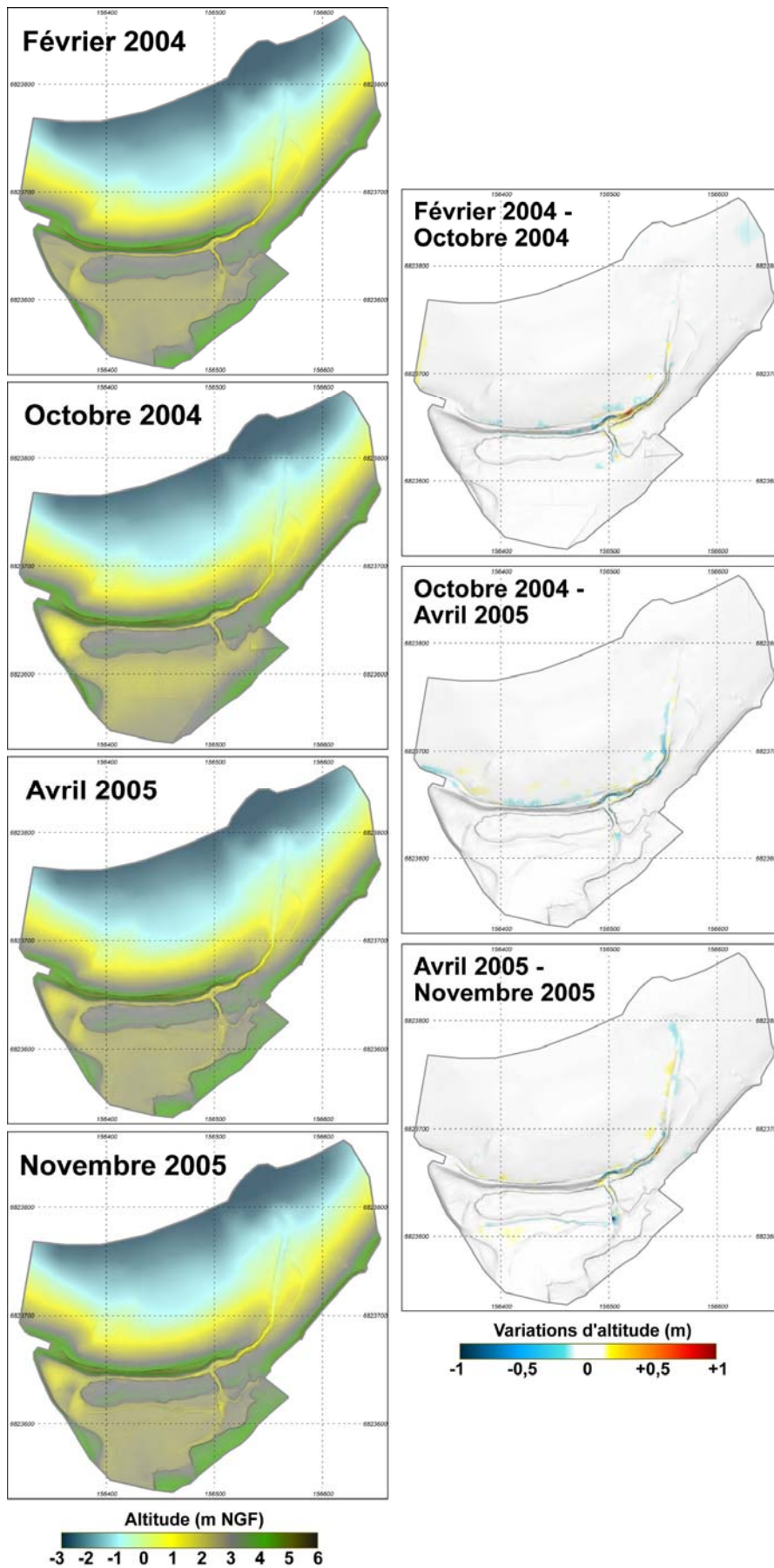


Figure 9. Evolution topo-morphologique du sillon du Loc'h entre les mois de février 2004 et novembre 2005.

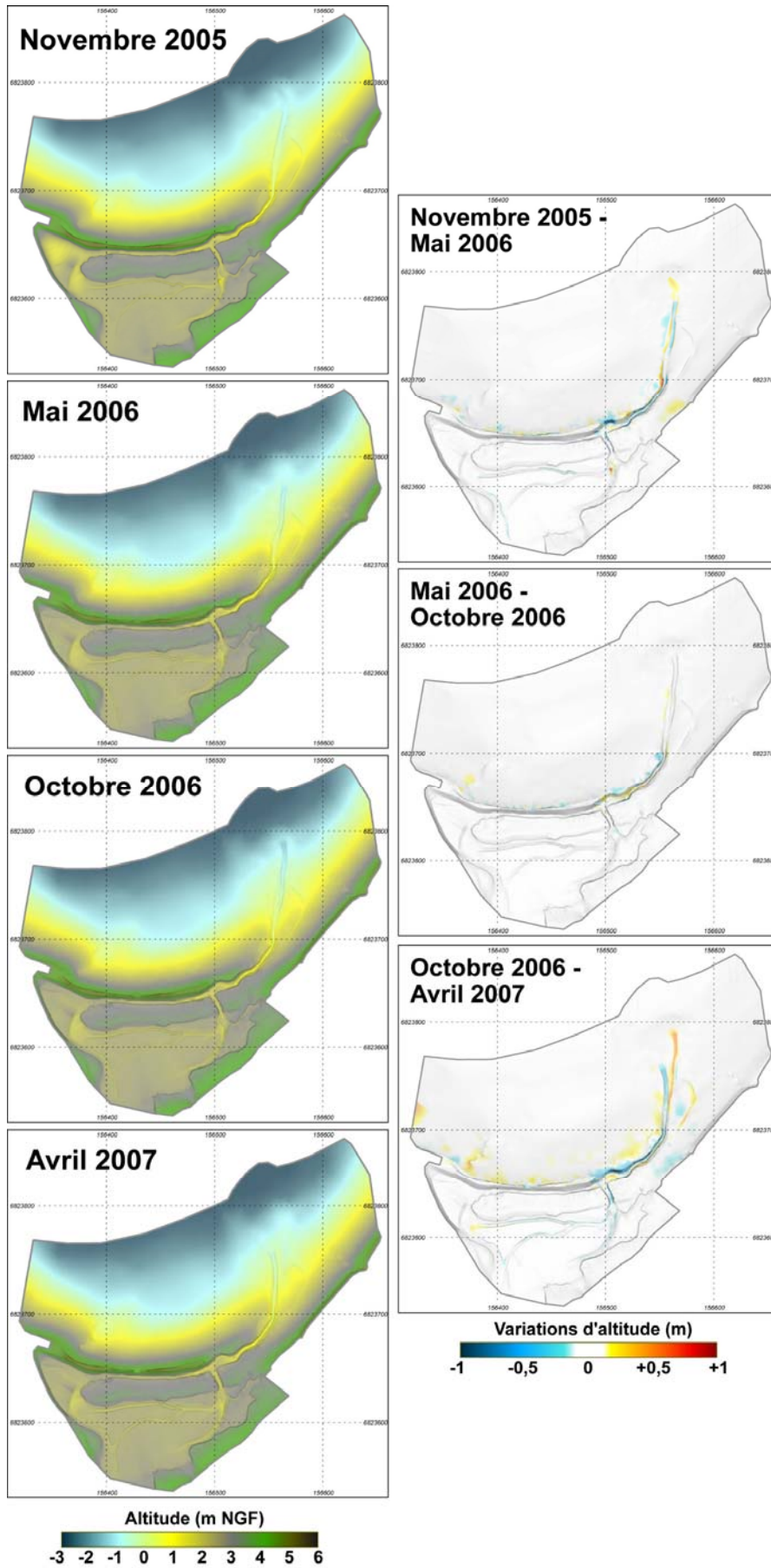


Figure 10. Evolution topo-morphologique du sillon du Loc'h entre les mois de novembre 2005 et d'avril 2007.

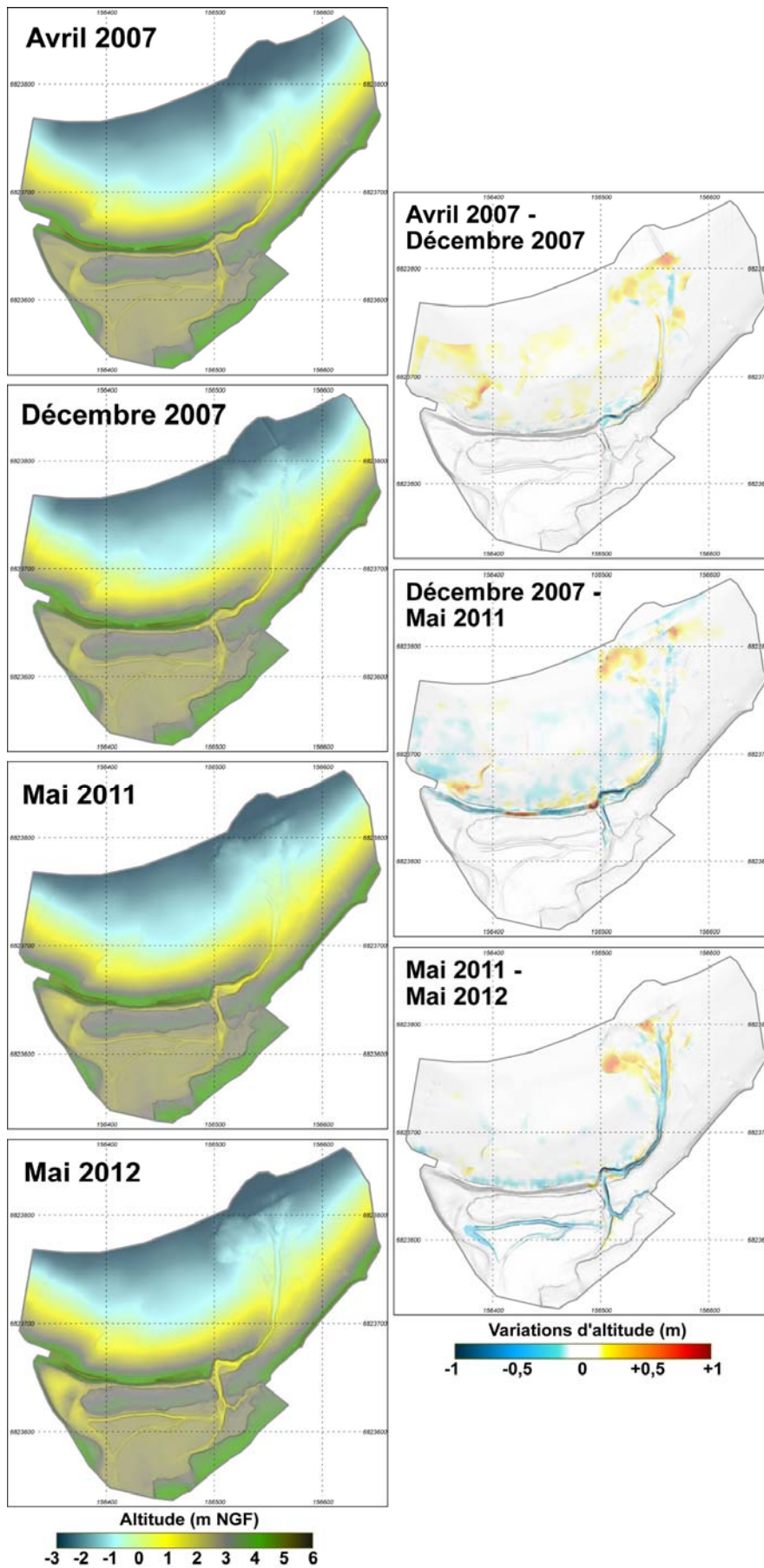


Figure 11. Evolution topo-morphologique du sillon du Loc'h entre les mois d'avril 2007 et mai 2012.

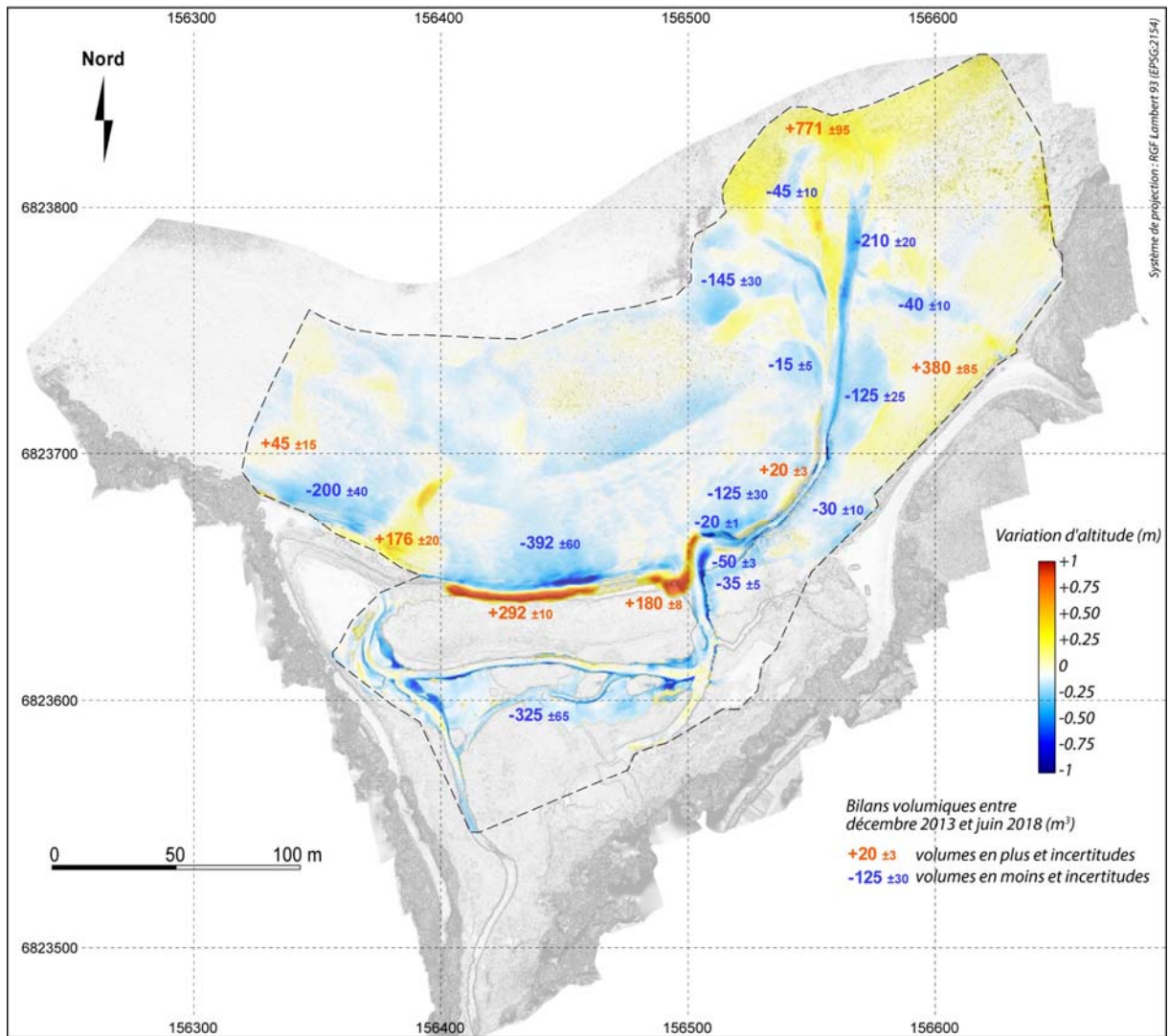


Figure 12. Evolution topo-morphologique du sillon du Loc'h entre les mois de décembre 2013 et de juin 2018.

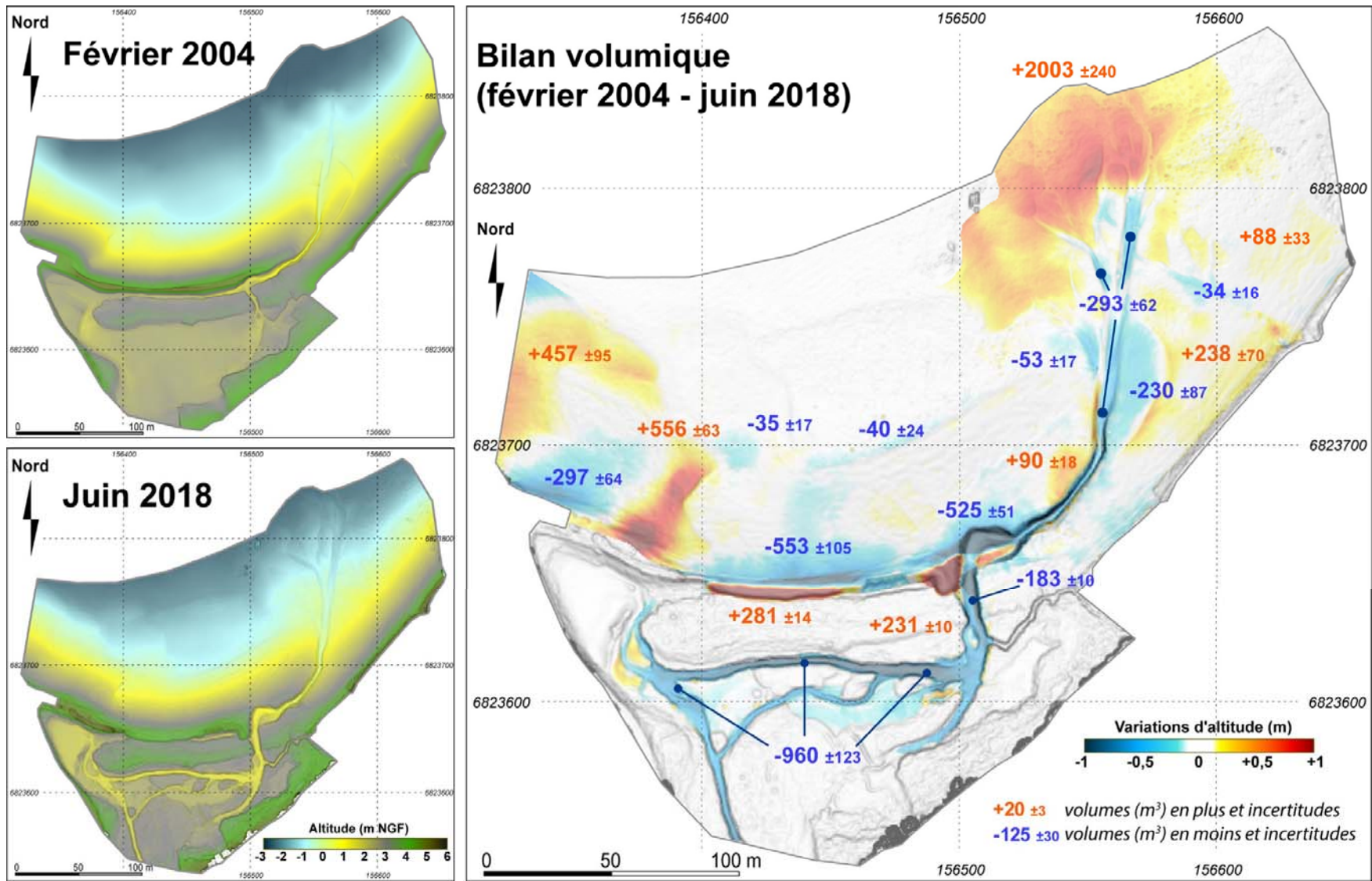


Figure 13. Evolution topo-morphologique et bilan volumique du sillon du Loc'h entre les mois de février 2004 et de juin 2018.

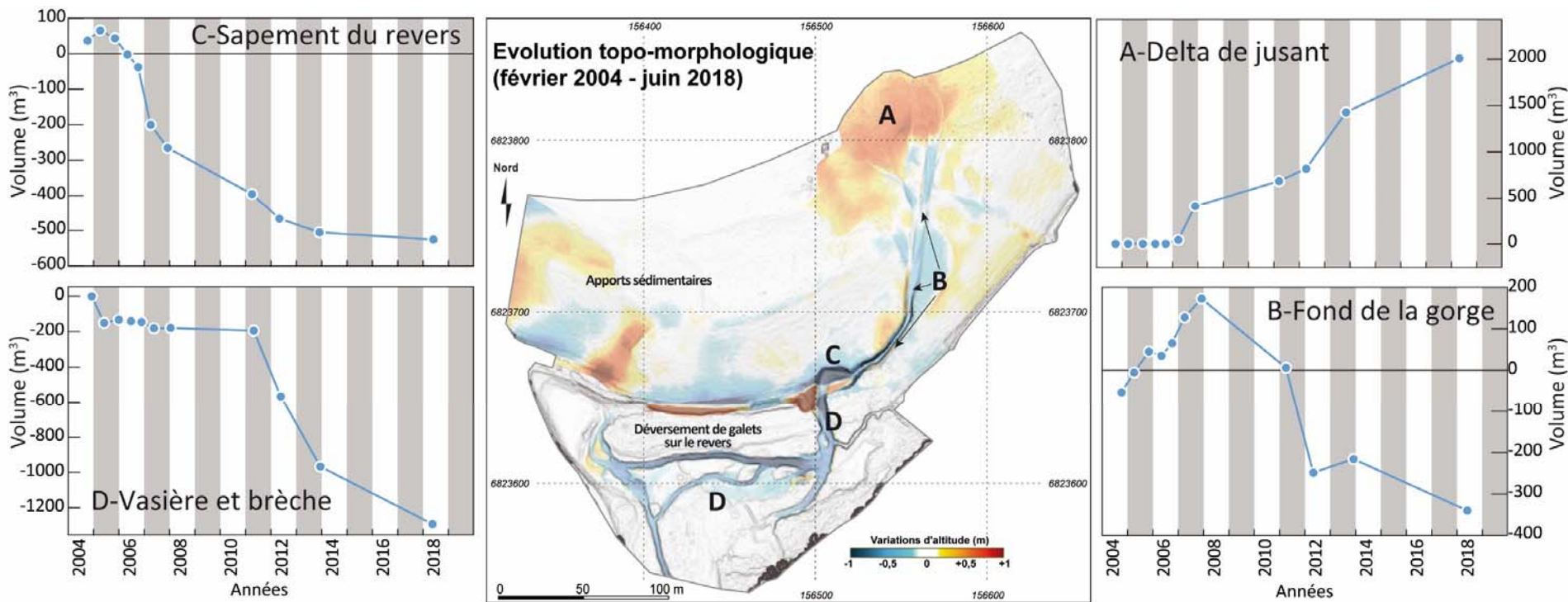


Figure 14. Evolution du bilan volumique selon différents secteurs du sillon du Loc'h entre 2004 et 2018.

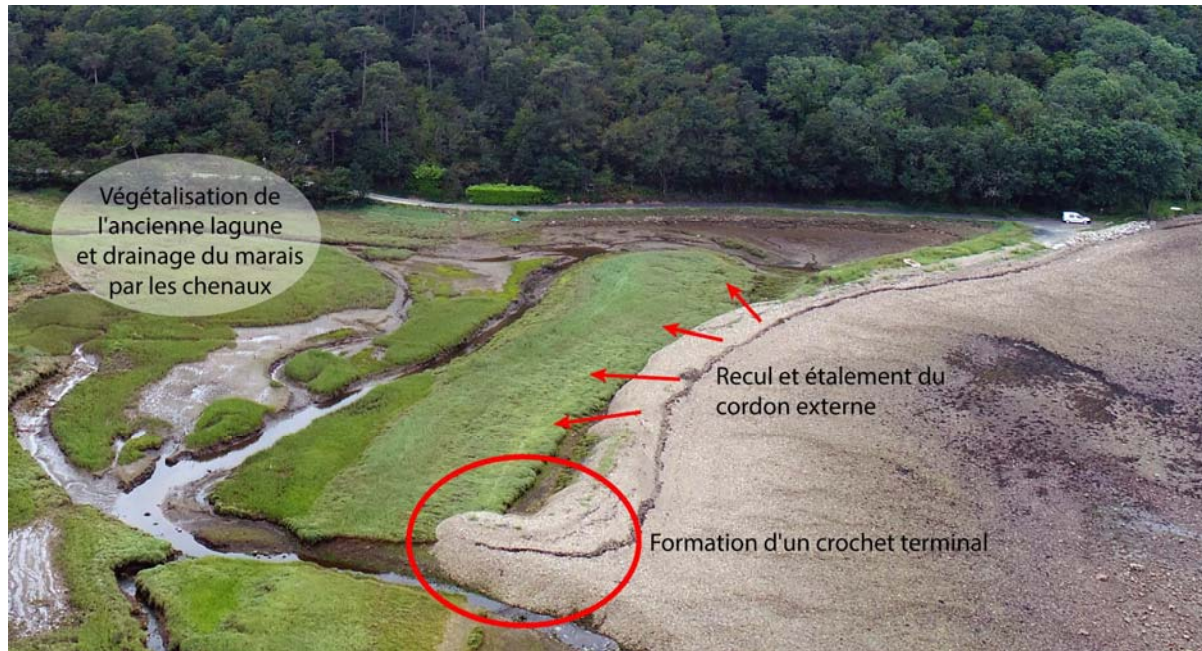


Figure 15. Evolutions attendues dans les prochaines années sur le sillon du Loc'h.

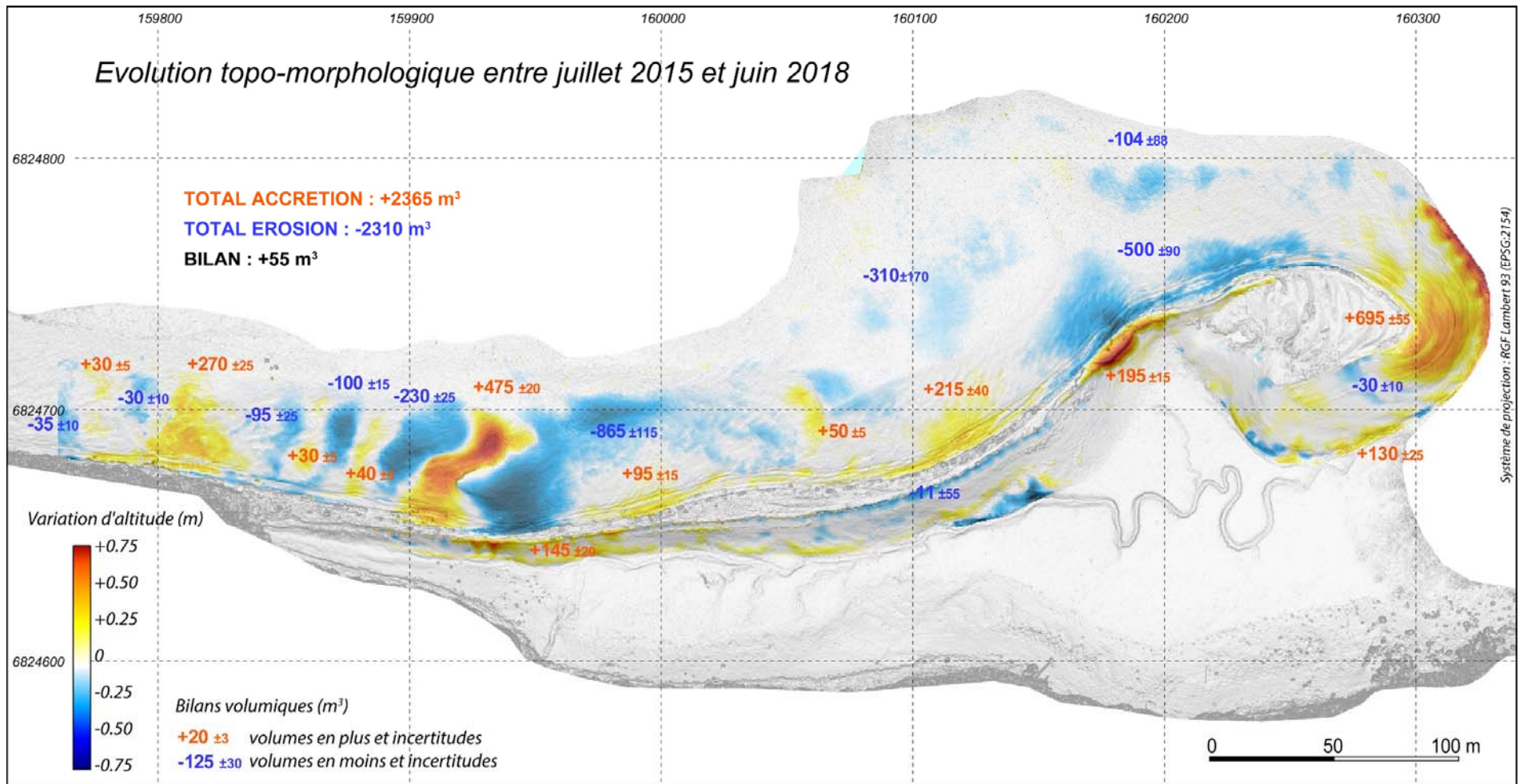


Figure 16. Evolution topo-morphologique et bilan volumique du sillon des Anglais entre les mois de juillet 2015 et de juin 2018.

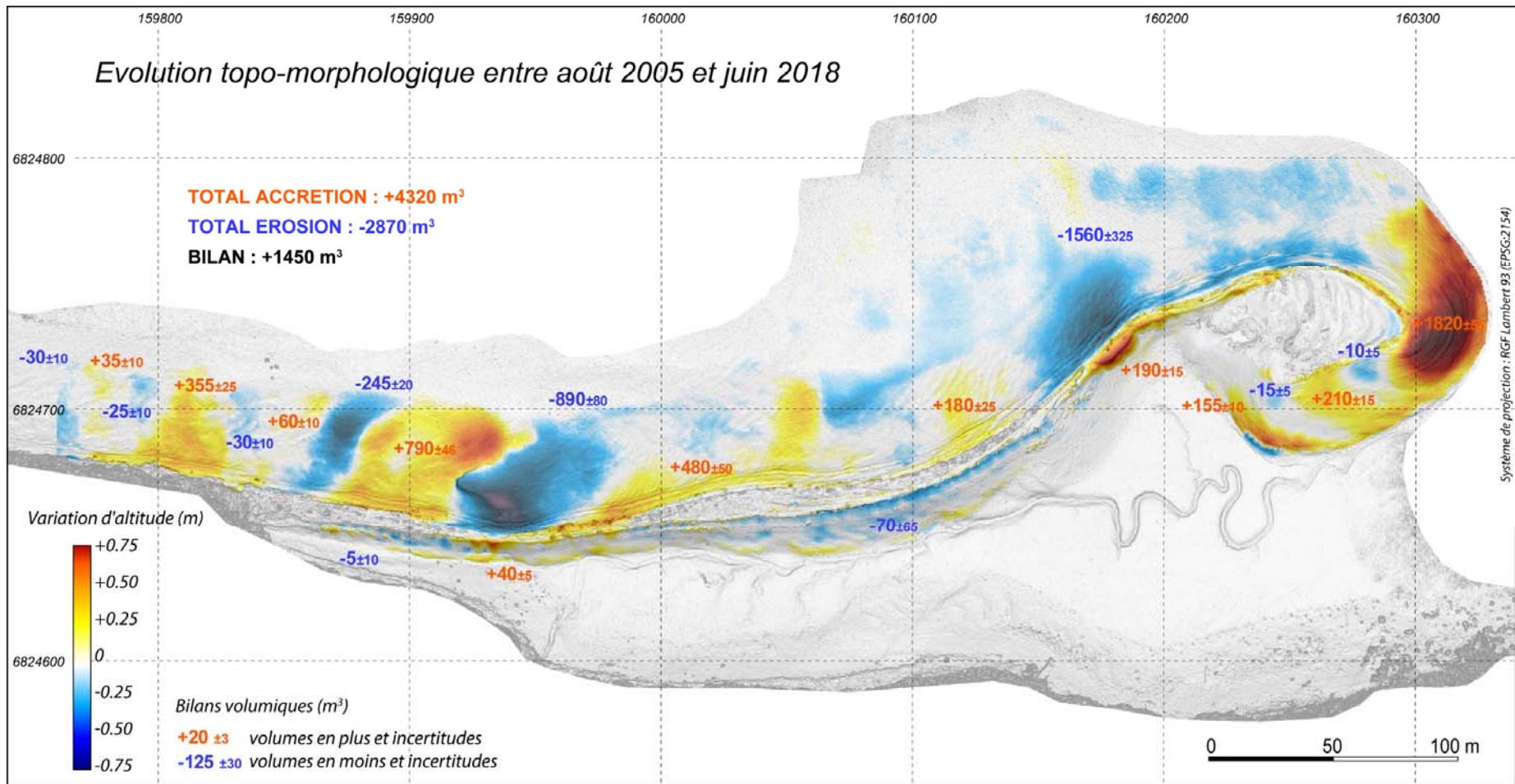


Figure 17. Evolution topo-morphologique et bilan volumique du sillon des Anglais entre les mois de août 2005 et de juin 2018.

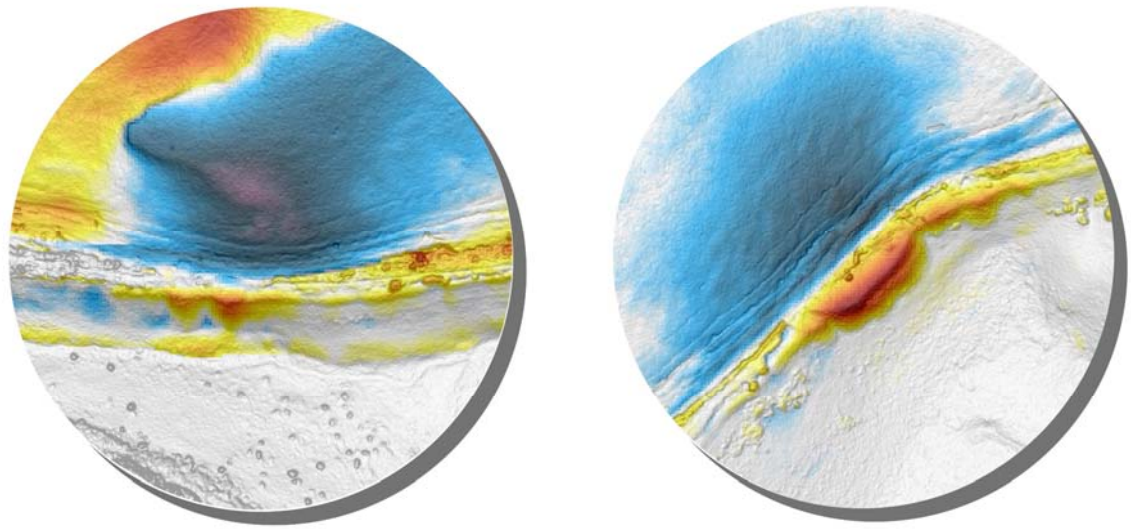
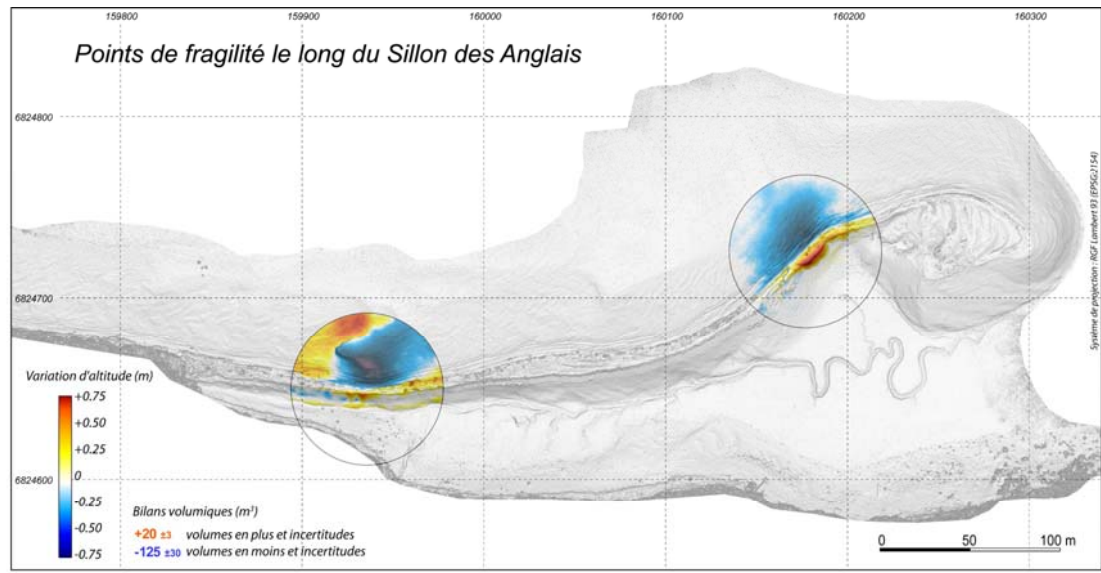


Figure 18. Points de fragilité identifiés le long du sillon des Anglais à partir des relevés topo-morphologiques.