



OBSERVATOIRE CÔTE AQUITAINE

Document public

Rapport final

Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz :
acquisition, analyse "qualité" des données et analyse
diachronique entre 2017 et 2019

BRGM/RP-69865-FR
Mai 2020

Auteurs : Ayache B., Garnier C.



Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2017 et 2019

BRGM/RP-69865-FR

Mai 2020

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM
AP19BDX015

Vérificateur :

Nom : MALLET Cyril

Date : 24/07/2020

Signature :



Approbateur :

Nom : PEDRON Nicolas

Date : 30/07/2020

Signature :



Auteurs : Ayache B., Garnier C.

Mots-clés : falaise, littoral, trait de côte, mouvement de terrain, Saint-Jean-de-Luz, Pyrénées-Atlantiques, Nouvelle-Aquitaine

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

Ayache B., Garnier C. (2020) - Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2017 et 2019. Rapport final. BRGM/RP-69865-FR, 69 p., 57 Ill., 9 tab., 3 ann.

Synthèse

De l'embouchure de l'estuaire de la Gironde au nord, jusqu'à celui de la Bidassoa, au sud, le littoral aquitain est un territoire d'exception, attractif, préservé, et confronté aux phénomènes d'érosion et de submersion marine ; des phénomènes naturels, qui peuvent parfois revêtir un caractère exceptionnel, comme ce fut le cas à l'occasion des tempêtes de l'hiver 2013-2014. Créé en 1996, l'Observatoire de la Côte Aquitaine a pour rôle de mettre au service des acteurs du littoral, un outil scientifique et technique d'aide à la décision, à la gestion et à la prévention des risques côtiers. Cet Observatoire, co-porté par le BRGM et l'ONF, est chargé de suivre l'érosion et la submersion dans les différents environnements côtiers du littoral régional.

C'est dans ce cadre que la ville de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées-Atlantiques) a sollicité, à l'automne 2016 (cf. annexe 1), le BRGM pour :

- la mise en place d'un protocole de suivi de sa frange littorale ;
- l'analyse et l'évolution de quelques sites stratégiques de celle-ci ;
- une assistance pour définir, le cas échéant, les préconisations nécessaires afin d'assurer la sécurité publique (définition du périmètre de sécurité, mesures de confortement).

Dans le cadre de la sollicitation de la Ville de Saint-Jean-de-Luz et afin d'obtenir des suivis plus adaptés à l'environnement étudié (côte rocheuse), par rapport aux levés régionaux, et plus précis sur le linéaire de côte ciblé, avec l'objectif d'évaluer la capacité de ces données à suivre l'évolution du littoral, de façon qualitative et autant que possible quantitative, l'Observatoire de la Côte Aquitaine a ainsi procédé à 3 levés LiDAR des falaises de la commune, avec l'aide de la société Hélimap, en 2017, 2018 et 2019.

Le périmètre d'étude (cf. illustration 1) s'étend ainsi sur environ 4 km et comprend la falaise, au moins 30 m en arrière de la tête de falaise, et l'estran rocheux (ou la plage). Les falaises étudiées appartiennent, d'est en ouest, aux secteurs suivants :

1. Sénix
2. Mayarko
3. Lafiténia
4. Erromardie
5. Archilua
6. Pile d'Assiettes
7. Sainte-Barbe

La méthode d'analyse met en avant les outils SIG et de géomatique et propose deux approches, selon la pente des falaises :

- la première, sous SIG, à l'aide des modèles numériques de terrain (MNT) et leurs différentiels, qui permettent d'étudier les falaises faiblement pentues,
- la seconde, à partir des nuages de points LiDAR via le logiciel CloudCompare®, qui permet d'étudier les falaises sub-verticales.

Dans les deux cas, l'analyse permet d'apporter des réponses quantitatives et d'estimer des cubages relatifs aux mouvements de terrain observés.

Des secteurs étudiés ont également montré certaines limites dans la méthode et nécessiteront des améliorations dans le mode de levé (pour l'observation des cavités en particulier) ou dans le post-traitement des données (classification) pour permettre une meilleure analyse.

L'analyse diachronique de ces jeux de données a permis de montrer la capacité à identifier des instabilités de terrain, d'ampleur plus ou moins importante, dans les contextes dissemblables caractérisant le littoral luzien. Cette analyse nécessite idéalement de pouvoir associer des données LiDAR et MESH 3D (modélisation 3D à partir d'un nuage de point) d'une part et photographies obliques d'autre part, pour faciliter à la fois l'identification des instabilités, leur interprétation et pouvoir donner une estimation des volumes mobilisés. De ce point de vue, la résolution du MNT produit par ces acquisitions « locales », bien supérieure à celle du MNT issu du levé régional (10 cm contre 1 m), permet une finesse accrue intéressante au regard de l'activité enregistrée sur le littoral, souvent marquée par des phénomènes de faible intensité (encoches érosives superficielles dans les altérites, rupture de dalles rocheuses de faible extension, etc.).

Sur la base de l'analyse des données 2017 à 2019, il est recommandé de poursuivre le suivi opéré en renouvelant l'acquisition, avant la saison hivernale 2020 / 2021. On conseillera de procéder à une nouvelle acquisition LiDAR oblique par hélicoptère (couplée à la réalisation d'un MESH 3D et à la prise d'orthophotographies), dans les secteurs compris entre Senix et Archilua. Pour les secteurs de la Pile d'Assiettes et de Sainte-Barbe (marqués par la subverticalité des profils côtiers et par la présence de surplombs), on recommandera de procéder à une acquisition par drone. Ce vecteur offre une plus grande souplesse dans le plan de vol, permettant d'optimiser la prise de points sur les singularités topographiques, telles que les cavités et autres rentrants caractérisant les flyschs.

La poursuite de ce suivi topographique, qui permet d'identifier et de quantifier l'évolution du trait de côte et dont la fréquence, au-delà du levé 2021 recommandé ci-dessus, devra être précisée sur la base de l'analyse qui en sera faite, doit être considérée comme un maillon essentiel, mais non suffisant, dans l'optique de la mise en place d'un protocole de suivi du recul du trait de côte, en particulier en contexte de falaise rocheuse. Il doit idéalement s'inscrire dans une stratégie d'acquisition plus large, associant différentes méthodes dont la complémentarité et la souplesse de mise en œuvre doivent permettre de s'adapter aux différentes situations (par exemple déclenchement non programmé d'une acquisition à la suite d'un événement tempétueux) et à la diversité des caractéristiques du littoral luzien à suivre (secteurs accessibles / non accessibles, zones fortement végétalisées / peu végétalisées, zones fortement aménagées / naturelles, etc.). Ce protocole doit ainsi pouvoir s'appuyer sur d'autres types d'acquisition, tels que les reconnaissances pédestres, la prise de clichés photographiques (depuis le sol, prises de vues obliques par moyens aériens, notamment drone), levés topographiques ponctuels au DGPS, levés scanner 3D en cas par exemple d'impact aux ouvrages, etc.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Présentation du secteur d'étude	13
2.1. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE GENERAL.....	13
2.2. TYPOLOGIE ET ACTIVITE "MOUVEMENT DE TERRAIN"	16
3. Présentation des méthodes d'acquisition et données disponibles.....	21
3.1. METHODE	21
3.1.1. La 3D par photogrammétrie	21
3.1.2. La 3D à partir de levés LiDAR	22
3.2. LIVRABLES	23
3.3. CONTROLE "QUALITE"	25
3.3.1. Réalisé par les prestataires.....	25
3.3.2. Réalisé par le BRGM.....	25
4. Exploitation des données	29
4.1. INTERFACE POTREE	29
4.2. PRESENTATION DES SITES SUIVIS.....	30
4.2.1. Sénix.....	31
4.2.2. Mayarko	32
4.2.3. Lafiténia.....	33
4.2.4. Erromardie	34
4.2.5. Archilua	35
4.2.6. Pile d'Assiettes	36
4.2.7. Sainte-Barbe.....	37
4.3. ANALYSE DIACHRONIQUE	38
4.3.1. Méthode	38
4.3.2. Secteur de Sénix.....	39
4.3.3. Secteur de Mayarko.....	40
4.3.4. Secteur de Lafiténia	45
4.3.5. Secteur de Erromardie.....	48
4.3.6. Secteur d'Archilua.....	56
4.3.7. Secteur de la Pile d'Assiettes	58
4.3.8. Secteur de Sainte-Barbe	60
5. Conclusion.....	65

6. Glossaire.....	67
7. Bibliographie	69

Liste des illustrations

Illustration 1 - Localisation des sites étudiés (extrait cartographique joint à la demande d'appui de la Ville de Saint-Jean-de-Luz en date du 22/09/16)	12
Illustration 2 - Secteur de la Pile d'Assiettes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2018)	13
Illustration 3 - Type de morphologie côtière pour les communes littorales basques (Genna et al., 2004)	14
Illustration 4 - Extrait de la carte géologique du Labourd. Carte des unités stratigraphiques majeures (modifiée par M. Peter-Borie, 2008, d'après Razin, 1989), et identification de la zone d'étude.....	14
Illustration 5 - Flyschs marno-calcaires de Socoa, fracturés et déformés, au niveau du flanc ouest de Sainte-Barbe (Rocher Dauria) (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM)	15
Illustration 6 - Coupe schématique d'un profil d'altération-type dans des calcaires marneux (Genna et al., 2004) et illustration (cliché du bas) dans le secteur de la Pile d'Assiettes (pointillés rouges : délimitation approximative entre altérites et flyschs « sains ») (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM).....	16
Illustration 7 - Evolution des glissements à l'extrémité nord-est de la plage de Maiarko, entre décembre 2008 et août 2013 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Michel Le Collen) - extrait du rapport BRGM/RP-63588-FR	17
Illustration 8 - Glissements de terrain à l'Anse de Lafiténia (Aubié et Mathon, 2006) - extrait du rapport BRGM/RP-63588-FR	18
Illustration 9 - Glissement de terrain de la Réserve, survenu en février 2016, dans le secteur de la Pile d'Assiettes (cliché daté de 2018 ;©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM)	18
Illustration 10 - Glissement de terrain de la Promenade Feodor Chaliapine, le 03/12/2002, bordant l'ancienne route (à gauche), et vue aérienne du confortement actuel de cette partie de falaise (cliché de droite daté 2018) (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM)	19
Illustration 11 - Acquisition photogrammétrique (par drone)	22
Illustration 12 - Acquisition LiDAR (par hélicoptère) (source : Fernander-Diaz. Et al., 2014).....	23
Illustration 13 - Localisation des points de contrôle topographiques levés par le BRGM (Ortho-Express® 2017, Observatoire de la Côte Aquitaine, IGN)	26
Illustration 14 - Interface Potree http://potree.org/	29
Illustration 15 - Profil sous Potree http://potree.org/	30
Illustration 16 - Vue 3D (Mesh) du site de Sénix en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap).....	31
Illustration 17 - Vue 3D (Mesh) du site de Mayarko en 2019 © Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap	32
Illustration 18 - Vue 3D (Mesh) du site de Lafiténia en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	33
Illustration 19 - Vue 3D (Mesh) du site de Erromardie en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap).....	34
Illustration 20 - Vue 3D (Mesh) du site de Archilua en 2019 © Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap	35
Illustration 21 - Vue 3D (Mesh) du site de la Pile d'Assiettes en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	36

Illustration 22 - Vue 3D (Mesh) du site de Sainte Barbe en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	37
Illustration 23 - Exemple d'un différentiel de MNT, sous SIG, sur une falaise subverticale (à Sainte-Barbe)	38
Illustration 24 - Différentiel LiDAR 2019-2017 dans le secteur de Sénix (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	39
Illustration 25 - Zone de glissement dans le secteur de Sénix. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	40
Illustration 26 - Différentiel LiDAR 2019-2017 dans le secteur de Mayarko (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	41
Illustration 27 - Zone de glissement en partie est du secteur de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	42
Illustration 28 - Glissement en partie est de Mayarko, survenu entre 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2018)	42
Illustration 29 - Versant à l'ouest du parking public de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018. Artéfact d'interprétation attribué à la végétation (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	43
Illustration 30 - Zone de glissement au droit du Bibambar, dans le secteur de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	44
Illustration 31 - Glissement de janvier 2018 au droit du Bibambar, à Mayarko (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2018)	44
Illustration 32 - Zone d'arrachement en partie haute de versant du glissement du Bibambar, à Mayarko, en janvier 2018 (clichés avril 2018 ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine)	45
Illustration 33 - Différentiel LiDAR 2019-2017 dans le secteur de Lafiténia (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	45
Illustration 34 - Zone de glissement en partie est du secteur de Lafiténia. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	46
Illustration 35 - Glissement en partie centrale du secteur de Lafiténia, évolution entre 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2018)	47
Illustration 36 - Différentiel LiDAR 2019-2017 dans le secteur d'Erromardie (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	48
Illustration 37 - Zone de glissement (première zone) à l'extrémité est du secteur de Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	49
Illustration 38 - Zone de glissement (deuxième zone) en partie est du secteur de Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	50
Illustration 39 - Zone de glissement (troisième zone) en partie centrale du camping de bord de mer, à Erromardie ouest. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	51
Illustration 40 - Zone de glissement (quatrième zone) à l'extrémité ouest du camping de bord de mer, à Erromardie ouest. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	52

Illustration 41 - Zones en glissement (troisième zone à gauche et quatrième zone à droite), au droit du camping de bord de mer, dans le secteur d’Erromardie ouest (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2018)	53
Illustration 42 - Zone de glissement (cinquième zone) en partie ouest d’Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2019 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	54
Illustration 43 - Impact sur la Vélodyssée de la cinquième zone de glissement, à Erromardie ouest (clichés datés de février 2019, à gauche, et avril 2019, à droite)	54
Illustration 44 - Zone de glissement (sixième zone) à l’extrémité ouest d’Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	55
Illustration 45 - Cinquième (à droite) et sixième (à gauche) zones de glissement à l’extrémité ouest d’Erromardie (Orthophotos 2019 ©Observatoire de la Côte Aquitaine).....	55
Illustration 46 - Différentiel LiDAR 2019-2017, dans le secteur d’Archilua (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	56
Illustration 47 - Zone de glissement dans le secteur d’Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	57
Illustration 48 - Vue MESH 3D de la zone en glissement (période 2017/2019) dans le secteur d’Archilua - épaisseur croissante du vert au rouge (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	57
Illustration 49 - Différentiel LiDAR 2019-2017, dans le secteur de la Pile d’Assiettes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	58
Illustration 50 - Cavités de la Pile d’Assiettes : à gauche, celle discutée dans ce chapitre. Vue du nuage de points 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	59
Illustration 51 – Analyse, couplant la photo-interprétation des orthophotos et le différentiel LiDAR, du surplomb d’une cavité de la Pile d’Assiettes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	60
Illustration 52 - Différentiel LiDAR 2019-2017, dans le secteur de Sainte-Barbe (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	61
Illustration 53 - Vue MESH 3D de la zone identifiée à l’ouest du secteur de Sainte-Barbe, pour la période 2017/2019 - épaisseur croissante du vert au rouge (©Observatoire de la Côte Aquitaine).....	61
Illustration 54 - Vue MESH 3D (zoomée) de la zone identifiée à l’ouest du secteur de Sainte-Barbe, pour la période 2017/2019 - épaisseur croissante du vert au rouge (©Observatoire de la Côte Aquitaine).....	62
Illustration 55 - Rupture de dalles de flyschs, survenue entre 2017 et 2019, pour un volume de 59 m ³ , dans le secteur de Sainte-Barbe (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2019).....	62
Illustration 56 - Dalles concernées par la rupture survenue entre 2017 et 2019, pour un volume de 59 m ³ , dans le secteur de Sainte-Barbe (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com’ by AVM, 2016).....	63
Illustration 57 - Vue MESH 3D de la zone identifiée au nord du secteur de Sainte-Barbe, pour la période 2018/2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap 2019)	63

Liste des tableaux

Tableau 1 - Liste des livrables Hélimap (acquisitions 2017 à 2019).....	24
Tableau 2 - Statistiques des écarts observés entre les modèles MNT LiDAR et les mesures terrain	27
Tableau 3 - Caractéristiques du site de Sénix.....	31
Tableau 4 - Caractéristiques du site de Mayarko.....	32
Tableau 5 - Caractéristiques du site de Lafiténia	33
Tableau 6 - Caractéristiques du site d'Erromardie	34
Tableau 7 - Caractéristiques du site d'Archilua	35
Tableau 8 - Caractéristiques du site de la Pile d'Assiettes	36
Tableau 9 - Caractéristiques du site de Sainte-Barbe.....	37

Liste des annexes

Annexe 1 - Demande d'appui technique de la Ville de Saint-Jean-de-Luz.....	71
Annexe 2 - Consultation de prestataires pour la mission 2017	75
Annexe 3 - Comptes rendus de mission Hélimap (2017, 2018 et 2019).....	91

1. Introduction

De l'embouchure de l'estuaire de la Gironde au nord, jusqu'à celui de la Bidassoa, au sud, le littoral aquitain est un territoire d'exception, attractif, préservé, et confronté aux phénomènes d'érosion et de submersion marine ; des phénomènes naturels, qui peuvent parfois revêtir un caractère exceptionnel, comme ce fut le cas à l'occasion des tempêtes de l'hiver 2013-2014. Créé en 1996, l'Observatoire de la Côte Aquitaine a pour rôle de mettre au service des acteurs du littoral, un outil scientifique et technique d'aide à la décision, à la gestion et à la prévention des risques côtiers. Cet Observatoire, co-porté par le BRGM et l'ONF, est chargé de suivre l'érosion et la submersion dans les différents environnements côtiers du littoral régional.

C'est dans ce cadre que la ville de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées-Atlantiques) a sollicité, à l'automne 2016 (cf. annexe 1), le BRGM pour :

- la mise en place d'un protocole de suivi de sa frange littorale ;
- l'analyse et l'évolution de quelques sites stratégiques de celle-ci ;
- une assistance pour définir, le cas échéant, les préconisations nécessaires afin d'assurer la sécurité publique (définition du périmètre de sécurité, mesures de confortement).

L'Observatoire dispose de données topographiques, issues de différentes campagnes d'acquisitions LiDAR et photogrammétriques (initiées dès 2011), sur l'ensemble du littoral aquitain, complétées par des levés DGPS sur la côte, mais aussi à l'intérieur des terres (voirie). Le but de ces différentes acquisitions est d'une part de disposer d'informations permettant de suivre l'évolution du littoral (volumes de sable déplacés, évolution du trait de côte, zones d'érosion et d'accrétion, etc.), et d'autre part de pouvoir comparer les différentes sources de données de façon à identifier les outils les plus appropriés en fonction des caractéristiques de l'environnement côtier considéré.

Dans le cadre de la sollicitation de la Ville de Saint-Jean-de-Luz, il a été jugé nécessaire de déployer des suivis plus adaptés à l'environnement étudié (côte rocheuse), par rapport aux levés régionaux et plus précis sur le linéaire de côte ciblé, avec l'objectif d'évaluer la capacité de ces données à suivre l'évolution du littoral, de façon qualitative et autant que possible quantitative (trait de côte, zones d'érosion, variation des stocks sédimentaires¹). Une première campagne de levés topographiques par LiDAR/photogrammétrie a ainsi été lancée par l'Observatoire en 2017 (acquisition en novembre), en testant deux vecteurs d'acquisition différents (hélicoptère et drone). Une analyse des données acquises a été faite, retranscrite dans la note OCA NT_AQI_2018_007 en date du 10/04/2018, dont certains écrits sont repris dans le présent rapport. Celui-ci reprend par ailleurs le jeu de données et la méthode utilisée pour le contrôle de la qualité de celui-ci (cf. paragraphe 3). Une seconde campagne d'acquisition LiDAR, uniquement par hélicoptère, a été opérée en mai 2018. Enfin, une troisième acquisition LiDAR a été réalisée le 30 août 2019,

Le périmètre d'étude (cf. illustration 1) s'étend ainsi sur environ 4 km et comprend la falaise, au moins 30 m en arrière de la tête de falaise et l'estran rocheux (ou la plage). Les falaises étudiées appartiennent, d'est en ouest, aux secteurs suivants :

1. Sénix

¹ La problématique « variation de stocks sédimentaires », hors champ de la Ville de Saint-Jean-de-Luz, n'a pas été étudiée dans le cadre du présent rapport.

2. Mayarko
3. Lafiténia
4. Erromardie
5. Archilua
6. Pile d'Assiettes
7. Sainte-Barbe



Illustration 1 - Localisation des sites étudiés (extrait cartographique joint à la demande d'appui de la Ville de Saint-Jean-de-Luz en date du 22/09/16)

Un premier chapitre présente le secteur de l'étude et son contexte géomorphologique ; une deuxième partie présente les données acquises, qui ont fait l'objet d'une analyse "qualité" ; enfin, la troisième partie propose une analyse diachronique pour certains secteurs étudiés.

Dans le présent document, les termes en gras accompagnés d'un astérisque * sont définis dans un glossaire en fin de document.

2. Présentation du secteur d'étude

2.1. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE GENERAL

Le linéaire étudié s'étend sur plus de 4 km, selon une orientation sensiblement nord-est / sud-ouest, depuis la plage de Senix au nord-est jusqu'à la Pointe Sainte-Barbe au sud-ouest, marquant l'entrée de la baie de Saint-Jean-de-Luz. Ce linéaire est constitué par une succession de plages de poche (ou plages de fond de baies), plus ou moins refermées, alternant avec des pointes rocheuses et autres secteurs de falaises dont les hauteurs et pentes varient de façon assez marquée. Une typologie de la côte rocheuse basque a été définie en 2004 (Genna et al., 2004), en fonction de la géologie, du comportement mécanique des roches et de leur mode de dégradation. Sept types d'environnements côtiers ont ainsi été définis (cf. illustration 3). Le linéaire étudié appartient pour l'essentiel au type 4 (roche dure et plissée avec des altérites au sommet), et de façon plus locale (secteur d'Erromardie) au type 6 (altérites en relief bas).



Illustration 2 - Secteur de la Pile d'Assiettes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2018)

La géologie conditionne, pour une large part, l'apparition de nombreux phénomènes naturels (glissements de terrain, chutes de blocs, éboulements...), regroupés sous le terme générique de « mouvements de terrain ». De nombreux facteurs géologiques interviennent à des degrés divers dans la dynamique des mouvements de terrain : la nature des roches (lithologie), leur fracturation (orientation, densité, ouverture des discontinuités structurales), leur altération et leur perméabilité y jouent notamment des rôles importants. La carte géologique, publiée par P. Razin en 1989, puis complétée et modifiée par M. Peter-Borie (2008) dans le cadre de travaux de recherche menés au sein de l'Observatoire de la Côte Aquitaine (cf. illustration 4), représente les grandes unités stratigraphiques pour la partie sud du territoire littoral basque.

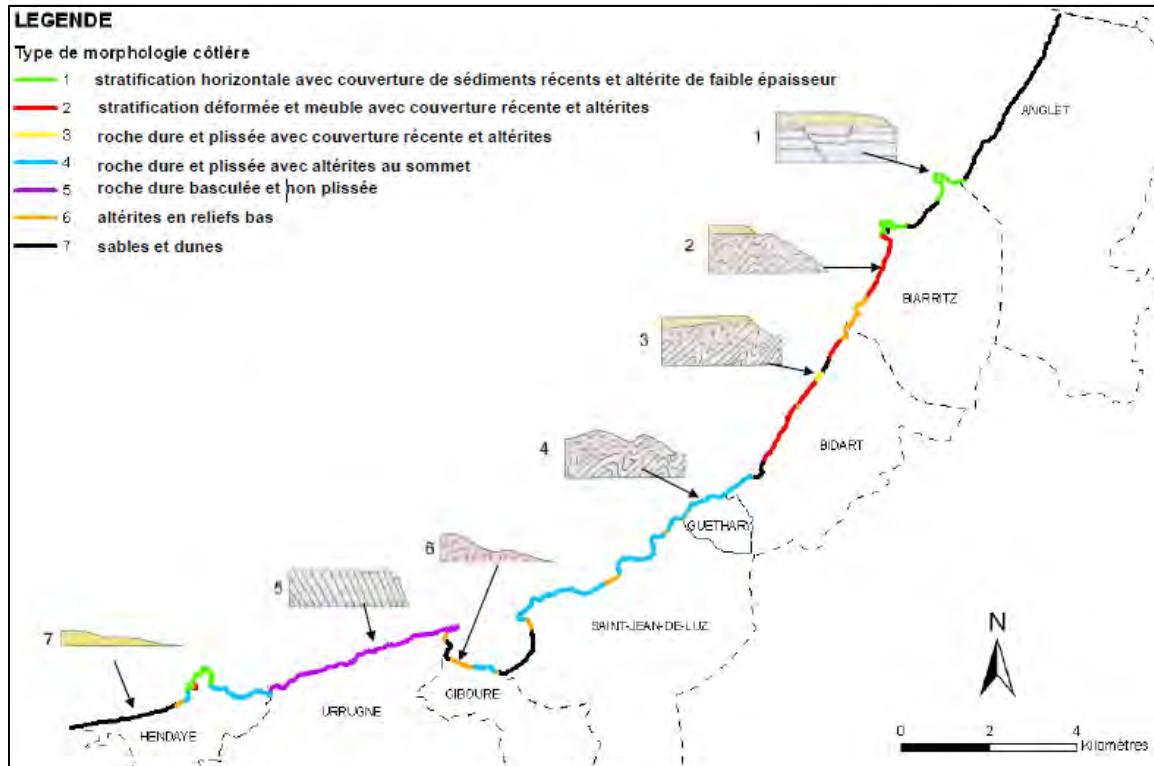


Illustration 3 - Type de morphologie côtière pour les communes littorales basques (Genna et al., 2004)

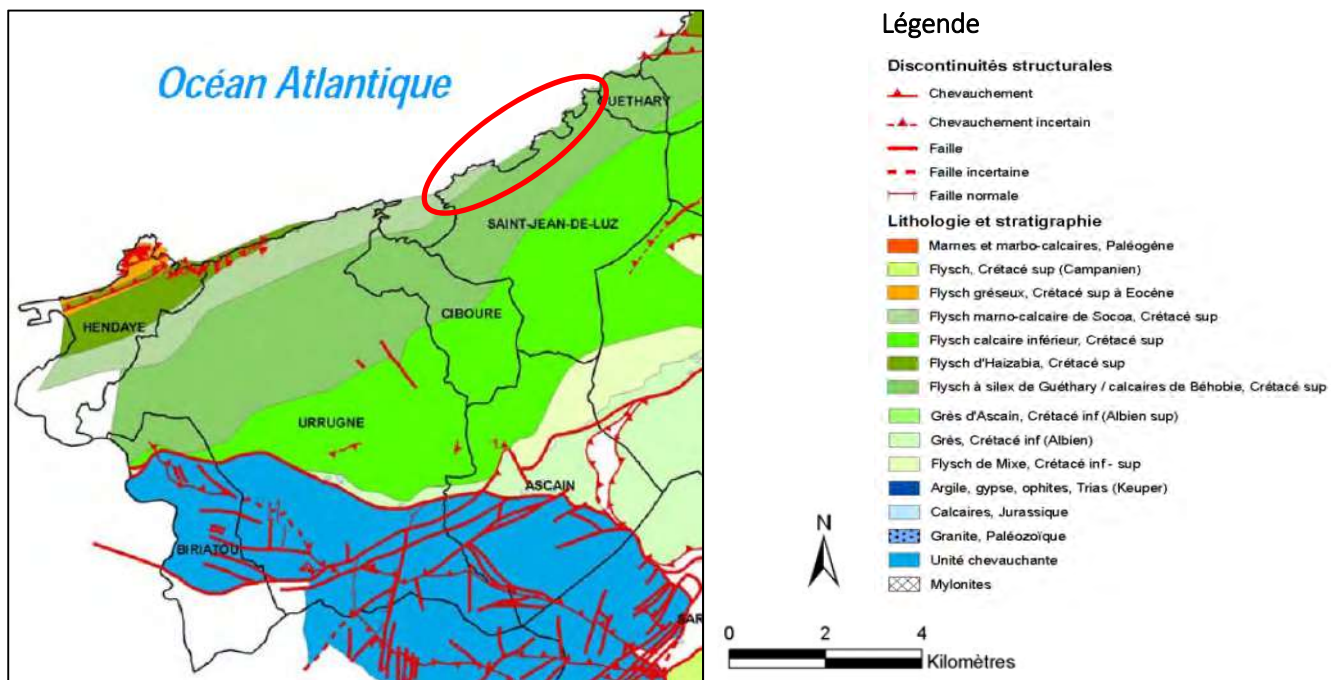


Illustration 4 - Extrait de la carte géologique du Labourd. Carte des unités stratigraphiques majeures (modifiée par M. Peter-Borie, 2008, d'après Razin, 1989), et identification de la zone d'étude

Le littoral luzien est principalement constitué de deux formations datées du Crétacé supérieur (-100 à -65 millions d'années environ) :

- le **flysch marno-calcaire de Socoa** affleure dans la partie ouest de la zone d'étude, depuis la Pointe Sainte-Barbe jusqu'au secteur de la Croix d'Arxiloa. Il se compose d'une alternance de calcaires à silex très durs, de couleur gris clair à beige, de calcaires argileux et de marnes (Illustration 5). Les lits de silex sont beaucoup plus rares que dans les flysch à silex de Guéthary (cf. ci-après) et les intercalations marneuses entre les bancs de calcaire durs sont plus épaisses ;



Illustration 5 - Flyschs marno-calcaires de Socoa, fracturés et déformés, au niveau du flanc ouest de Sainte-Barbe (Rocher Dauria) (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM)

- le **flysch à silex de Guéthary** (formation la plus représentée sur le littoral luzien) est aussi connu sous le nom de « calcaire de Bidache », où il affleure également. Il est constitué de dalles calcaires dont l'épaisseur varie entre 10 cm et 1 m et qui sont dominants par rapports aux couches tendres formées de marnes et d'argilites, de couleur gris clair à foncé (épaisseur entre 1 cm et 15 cm). Ce flysch est dit à « silex » car il comporte des rubans siliceux parallèles à la stratification se présentant très souvent en lits centimétriques. Au-delà du littoral de Saint-Jean-de-Luz, ce flysch occupe une bande côtière de 8 km de long, depuis Ciboure jusqu'à la plage du centre de Bidart. De nombreux plis couchés sont visibles sur les flancs des éperons qui encadrent les baies de Sénix à la Pointe Sainte-Barbe. Dans l'ensemble, les couches ont des pendages orientés sud à sud-est, c'est-à-dire vers l'intérieur des terres, ce qui a favorisé l'altération et la formation d'une couverture argileuse relativement épaisse favorable aux glissements de terrains.

On notera par ailleurs la présence de :

- **formations d'altération.** Les altérites sont des formations superficielles résultant de l'altération et de la fragmentation sur place du substratum (cf. illustration 6). Elles se développent sur différentes lithologies (marnes, flyschs) ce qui leur confèrent des caractéristiques différentes (lithologie et degré d'altération). Leurs épaisseurs, très hétérogènes, peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres sur le littoral étudié. Les altérites les mieux représentées, en termes d'extension géographique et d'épaisseur, sont celles qui se sont développées sur les flyschs à silex de Guéthary. Les altérites présentent un intérêt fondamental dans l'étude des instabilités du fait de leur constitution à dominante argileuse plus ou moins marquée. Elles induisent des instabilités gravitaires d'intensité variable dans toute la zone où elles se développent ;

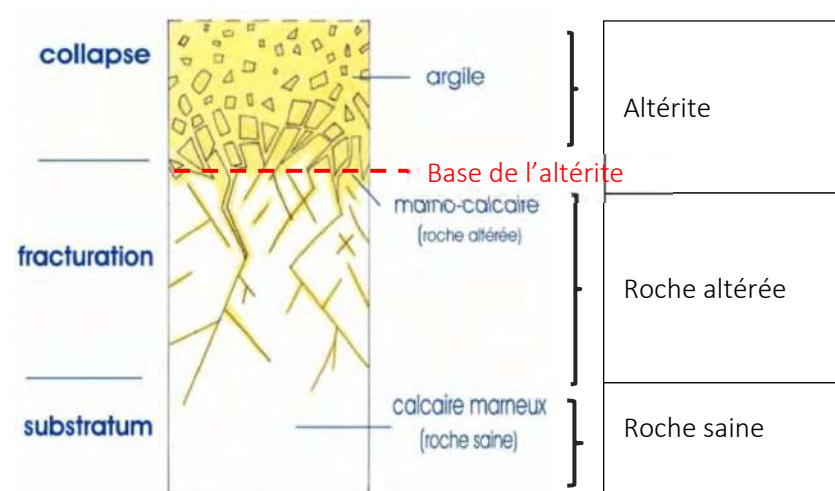


Illustration 6 - Coupe schématique d'un profil d'altération-type dans des calcaires marneux (Genna et al., 2004) et illustration (cliché du bas) dans le secteur de la Pile d'Assiettes (pointillés rouges : délimitation approximative entre altérites et flyschs « sains ») (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM)

- colluvions (dépôts détritiques quaternaires). Il s'agit des formations de pente, produit de l'instabilité des formations en place, ayant subi un faible transport (à la différence des alluvions). Ils sont présents sur l'ensemble du linéaire côtier basque, sur des épaisseurs décimétriques à métriques, et sont marqués par une constitution argileuse, souvent prépondérante, leur conférant de faibles caractéristiques mécaniques.

2.2. TYPOLOGIE ET ACTIVITE "MOUVEMENT DE TERRAIN"

Sous l'expression générique « mouvements de terrain » sont regroupés plusieurs types d'instabilité, variables en fonction des mécanismes et de la dynamique mis en jeu (évolution de l'instabilité,

cinématique du mouvement, géométrie de la surface de rupture, modalités de désorganisation / propagation des terrains, etc.). Les principaux types de mouvements de terrain présents dans la zone d'étude sont les suivants :

- les glissements de terrain et les coulées de boue associées, affectant les formations meubles (colluvions, altérites) ;
- les glissements "banc sur banc", se déclenchant dans les formations rocheuses telles que les flyschs, au sein de niveaux sains ou peu altérés. Ces phénomènes se caractérisent par des surfaces de ruptures planes ;
- les chutes de blocs et les éboulements.

Chacun de ces types de phénomènes se manifeste, ou est susceptible de se manifester, sur le littoral luzien, avec des intensités variables (volume mobilisé, cinématique, etc.), contribuant à l'érosion des falaises et au recul du trait de côte. Les illustrations suivantes témoignent de cette activité "mouvements de terrain", avec des manifestations d'intensité relativement importante, survenue ces dernières années sur la frange côtière de Saint-Jean-de-Luz (cf. illustrations 7 à 10).



Illustration 7 - Evolution des glissements à l'extrémité nord-est de la plage de Maiarko, entre décembre 2008 et août 2013 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Michel Le Collen) - extrait du rapport BRGM/RP-63588-FR



Illustration 8 - Glissements de terrain à l'Anse de Lafiténia (Aubié et Mathon, 2006) - extrait du rapport BRGM/RP-63588-FR



Illustration 9 - Glissement de terrain de la Réserve, survenu en février 2016, dans le secteur de la Pile d'Assiettes (cliché daté de 2018 ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM)



*Illustration 10 - Glissement de terrain de la Promenade Feodor Chaliapine, le 03/12/2002, bordant l'ancienne route (à gauche), et vue aérienne du confortement actuel de cette partie de falaise (cliché de droite daté 2018)
(©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM)*

3. Présentation des méthodes d'acquisition et données disponibles

La relative faible étendue du secteur à étudier permet son survol au moyen d'un appareil « léger » (hélicoptère, drone) à basse altitude, permettant ainsi une plus grande flexibilité dans la définition du plan de vol. La résolution du modèle numérique de terrain (MNT) produit s'en trouve améliorée, pouvant aller jusqu'à quelques centimètres. Le recours à des visées obliques complémentaires aux levés verticaux permet d'obtenir une représentation plus exhaustive des terrains complexes et accidentés présentant des reliefs à forte pente et des falaises en surplomb, comme c'est le cas à Saint-Jean-de-Luz. Le couplage d'un matériel d'acquisition aéroporté performant et des levés DGPS terrestres permet d'accroître la précision des levés.

Le BRGM a sollicité l'expertise de sous-traitants pour réaliser l'acquisition et la représentation en trois dimensions des falaises. Après une consultation de potentiels prestataires au début de l'été 2017 (cf. cahier des charges en annexe 2), le choix s'est porté sur la société suisse HéliMAP (<http://www.helimap.ch/>), qui a proposé une approche **LiDAR*/photogrammétrie* par hélicoptère** pour l'ensemble des falaises de la zone étudiée. En 2018 et 2019, seuls les levés LiDAR ont été reconduits. L'acquisition LiDAR a été préférée à une solution par photogrammétrie*, en raison de la présence de végétation, parfois dense localement, qui risquait de compromettre la qualité des rendus.

3.1. METHODE

3.1.1. La 3D par photogrammétrie

Le levé stéréoscopique* par photogrammétrie* permet de positionner tout point dans l'espace à partir de son observation sous deux points de vue différents. Le matériel peu encombrant, composé d'une caméra et éventuellement d'un récepteur GPS, peut être transporté dans des mobiles légers, tels que les drones et pas seulement à bord d'avion, ULM ou hélicoptère. Cette technique permet de produire un nuage de points, un modèle numérique de terrain (MNT)*, une orthophotographie* ainsi qu'un modèle 3D texturé*. Lors de l'acquisition, un chevauchement entre clichés est nécessaire afin d'observer un même objet sur au moins deux images. Ce chevauchement est défini par :

- le taux de recouvrement longitudinal*, correspondant à la portion commune de deux clichés consécutifs sur un même axe de vol ; pour faire de la 3D, il doit être au minimum de 80-90 %,
- le taux de recouvrement transversal*, qui est la portion commune entre deux images de deux axes voisins ; celui-ci doit être au minimum de 40-50 % pour faire de la 3D (Illustration 11).

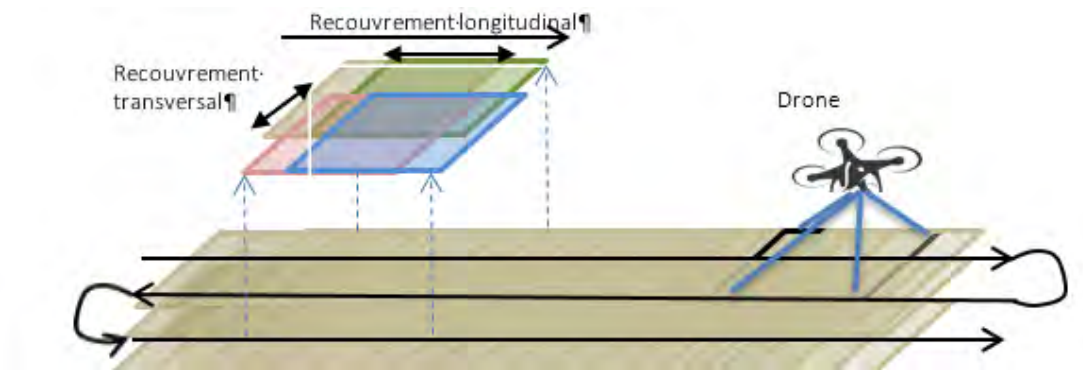


Illustration 11 - Acquisition photogrammétrique (par drone)

Après détermination de la position et de l'orientation de la caméra et la mise en corrélation* des images pour en déterminer leurs points homologues*, chaque point de l'image peut être géoréférencé pour former un nuage de points 3D.

A partir de ces clichés et de ce nuage de points, différents rendus sont possibles : orthophotographie*, modèle numérique de surface (MNS)* duquel peut être extrait un modèle numérique de terrain (MNT)*, pentes, courbes de niveaux, modèle 3D (MESH 3D*) avec ou sans texturage.

3.1.2. La 3D à partir de levés LiDAR

Le LiDAR* (Light Detection and Ranging) permet de mesurer rapidement et précisément en trois dimensions des points de la surface de la Terre, à partir de l'étude du retour (ou des retours) d'un faisceau lumineux émis par un système laser.

Le système LiDAR* est souvent monté dans un avion (ou ULM) ou un hélicoptère et se compose :

- d'un scanner laser,
- d'un système de positionnement par satellite (GPS) donnant la position X, Y, Z du LiDAR* à l'émission du signal laser et à la réception du signal-retour réfléchi par les objets,
- et d'une centrale inertielle (INS) mesurant le roulis, le tangage, le lacet du système.

Le temps nécessaire entre l'impulsion du faisceau laser et son retour au système LiDAR* permet de calculer une distance. Couplée aux données GPS-INS, celle-ci permet de produire des nuages de points cotés.

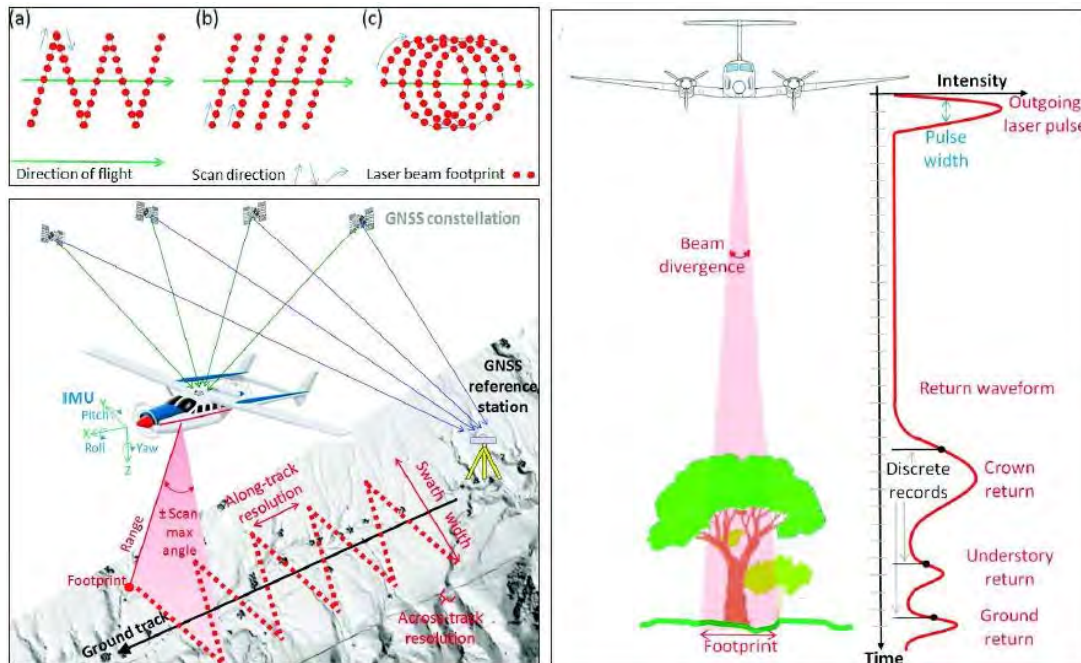


Illustration 12 - Acquisition LiDAR (par hélicoptère) (source : Fernander-Diaz. Et al., 2014)

L'un des principaux intérêts de ce type d'acquisition, par rapport à une acquisition photogrammétrique* classique, est que le faisceau lumineux peut traverser au moins partiellement le feuillage lorsque la végétation n'est pas trop dense et ainsi mesurer des informations au sol sous couvert végétal.

Cette technique permet d'obtenir un nuage de points géoréférencé et classifié selon la nature de l'objet auquel il appartient (sol, végétation, bâti, ...) et différentes informations formatées selon la spécification de l'American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (intensité du retour,...). Des modèles 3D peuvent être fabriqués à partir de ce nuage de points : MNS*, MNT*, MESH 3D*.

Associé à la photogrammétrique*, les prises de vue aériennes (images) permettent de lever d'éventuelles incertitudes lors de la classification* des points, mais également d'apporter des rendus supplémentaires offrant ainsi une vision de l'environnement investigué. Selon les besoins et les moyens employés, ces photographies peuvent être géoréférencées, mosaiquées, orthorectifiées, etc., permettant d'obtenir des produits tels que les orthophotographies* et le texturage de MESH 3D*.

3.2. LIVRABLES

L'objectif principal du BRGM est de disposer d'une représentation en trois dimensions de la surface du sol, pour pouvoir suivre dans le temps l'évolution des falaises, de façon qualitative et autant que possible quantitative (estimation des volumes érodés / déplacés).

De manière à avoir une illustration du secteur et permettre de faciliter l'exploitation des données topographiques et leur interprétation (en complément de la connaissance terrain acquise par ailleurs), des orthophotographies* de dessus et de face des falaises et/ou un texturage des MESH 3D* ont été réalisés lors des 3 missions (2017 à 2019).

Pour cette étude, les livrables sont géoréférencés dans le système géodésique RGF93, en projection Lambert 93, avec le référentiel altimétrique NGF-IGN69. Ils sont listés dans le tableau ci-dessous (Tableau 1) :

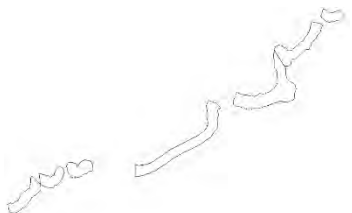
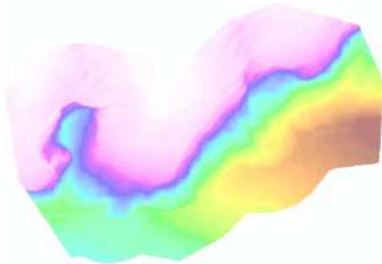
Livrables		Hélimap (LiDAR + Photogrammétrie)	Illustration
Données brutes	Nuages de points	X	
	Emprise	X	
Données traitées	MNT	X résolution 10 cm	
	Mesh3D texturé	X	
	Orthophotographie	X	
Rapport de mission		X	

Tableau 1 - Liste des livrables Hélimap (acquisitions 2017 à 2019)

3.3. CONTROLE "QUALITE"

La qualité des données acquises sur le terrain et des produits élaborés est vérifiée :

- par les prestataires dès leur retour de mission jusqu'à la livraison des jeux de données ;
- puis par le BRGM au fur et à mesure de la livraison des données.

Les points contrôlés portent notamment sur :

- la suffisance et l'homogénéité de la densité du nuage de points (LiDAR*) ;
- la suffisance du nombre et de la répartition des clichés (photogrammétrie*) pour une représentation 3D, afin d'éviter les parties cachées,... ;
- l'exhaustivité de l'information (présence de trous, parties cachées, ombre) ;
- la précision* (comparaison avec les levés DGPS terrestres) ;
- la conformité des livrables vis-à-vis du cahier des charges (format, emprise, résolution*).

Nous présentons ici uniquement la comparaison avec les levés DGPS terrestres, afin d'estimer la qualité de chacun des 3 millésimes.

3.3.1. Réalisé par les prestataires

Un contrôle "qualité" a été réalisé par Hélimap, avant la livraison des produits. Celui-ci assure une précision* du LiDAR* de 5 cm en Z et 5 cm en XY.

Les rapports de mission d'Hélimap figurent en annexe 3.

3.3.2. Réalisé par le BRGM

Des mesures DGPS ont été réalisées par le BRGM, le mercredi 15 novembre 2017, en utilisant le réseau Orphéon, dans le but d'obtenir des points de référence pour le contrôle des produits livrés (MNT* et nuages de points), afin de vérifier les précisions* altimétriques et planimétriques des modèles 3D. Les zones dégagées sur un terrain dur (parking, réseau routier, zones bétonnées, plaques d'égout) et les marquages au sol ont été privilégiés. 55 points, matérialisés en rouge sur l'illustration 13 ci-dessous, ont été répartis dans les sept secteurs, en sommet et pied de falaise.

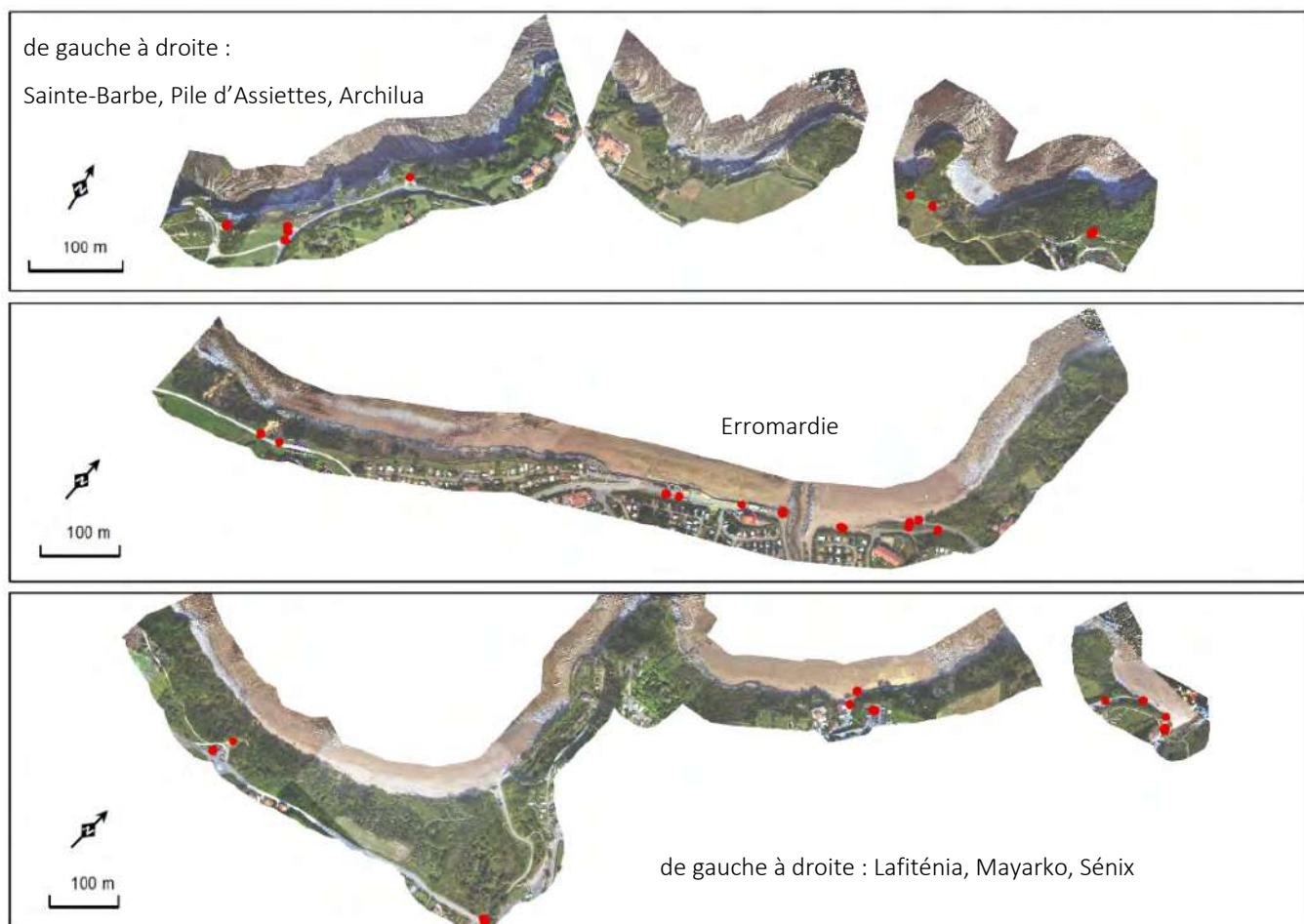


Illustration 13 - Localisation des points de contrôle topographiques levés par le BRGM (Ortho-Express® 2017, Observatoire de la Côte Aquitaine, IGN)

Ces points levés, dans des secteurs fixes en 2017, sont considérés comme toujours pertinents pour l'analyse de la qualité en 2018 et 2019.

L'écart moyen quadratique sur les altitudes, défini par la formule suivante, a été calculé pour le MNT*, réalisé par Hélimap :

$$EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{modelei} - Z_{controlei})^2}{n}}$$

Les écarts calculés sont détaillés dans le tableau ci-dessous (Tableau 2) pour chacune des trois campagnes d'acquisition. Quelques points de référence BRGM faussant les statistiques ont été écartés (proximité d'escalier ou balustrade).

Millésime	2017	2018	2019
Nombre points de contrôle	37	43	37
EMQz	0,025	0,030	0,036
Ecart min	-0,057	-0,063	-0,094
Ecart max	0,063	0,084	0,087
Ecart min abs	0,001	0,001	0,001
Ecart max abs	0,063	0,084	0,094
Ecart moyen abs	0,019	0,022	0,026
Nb<0,01 m	13	18	12
Nb<0,05 m	35	37	30
Nb<0,1 m	37	43	37
%<0,01 m	35,135	41,860	32,432
%<0,05 m	94,595	86,047	81,081
%<0,1 m	100	100	100

Tableau 2 - Statistiques des écarts observés entre les modèles MNT LiDAR et les mesures terrain

Les écarts moyens calculés pour les 3 millésimes sont inférieurs aux 5 centimètres annoncés par Hélimap. Nous considérons la qualité des données très satisfaisante.

Une légère augmentation des écarts est constatée au cours des trois années. Même si la qualité des données est très bonne (erreur verticale moyenne comprise entre 2,5 cm et 3,6 cm), cette précision pourra être améliorée pour les prochaines campagnes.

A titre de comparaison, l'erreur quadratique moyenne des levés LiDAR régionaux (réalisés par l'IGN pour l'OCA depuis 2014, selon des spécifications différentes au regard de l'emprise du levé) est estimé à ~10 cm. La densité de point du levé Hélimap à l'échelle locale (altitude de vol : 100 à 180 m du sol ou de la falaise) est naturellement plus élevée que celle du levé de l'IGN selon une emprise régionale (altitude de vol : 1 500 m, vitesse 300 km/h) : 70 points / m² pour le levé local et 8 points / m² pour le levé régional.

4. Exploitation des données

Le millésime 2019 est diffusé sur le site internet de l'OCA à l'URL suivante : http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/static-files/potree/StJDL_2019_rgb.html, à l'aide de l'utilitaire (opensource) [Potree](http://potree.org/) qui permet de convertir les nuages de points (format Las) au format javascript, pour un accès des données en ligne et une navigation depuis un navigateur internet (privilégier Chrome ou Firefox).

4.1. INTERFACE POTREE

L'URL présentée ci-dessus renvoie directement sur l'interface Potree. Les principales fonctionnalités de cet utilitaire sont présentées de manière synthétique ci-dessous (Illustration 14).

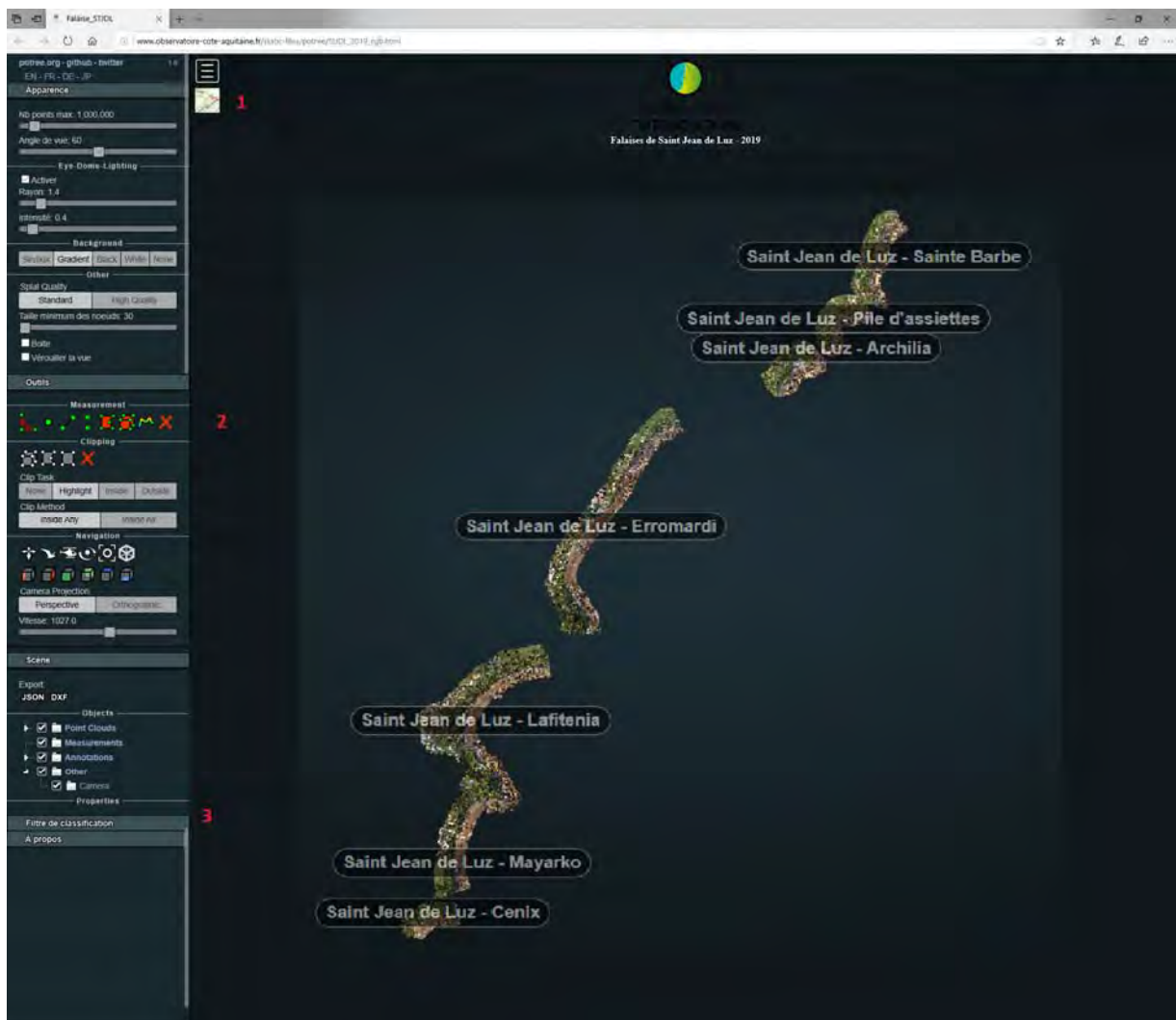


Illustration 14 - Interface Potree <http://potree.org/>

L'interface est constituée de deux panneaux : un panneau cartographique, à droite, et un panneau à gauche offrant différentes fonctionnalités décrites ci-après.

Dans le panneau de droite, Potree permet de manipuler les nuages de points (colorés) à l'aide de la souris (zoom avec la molette, déplacement avec le clic droit, orientation avec le clic gauche).

En haut à gauche du panneau cartographique (1), Potree permet de télécharger les différentes dalles LiDAR au format Las. La fenêtre s'agrandit en cliquant dessus et affiche les emprises des différentes dalles LiDAR. Il suffit de sélectionner la ou les dalles souhaitées et de cliquer sur le bouton D (download) pour les télécharger.

La principale fonctionnalité du panneau de gauche est les outils de mesure (2) et en particulier l'outil permettant de définir des profils .

Celui-ci permet de tracer une polygone (clic droit pour le dernier point de la polygone) dans le panneau cartographique. La rubrique *Propriété* du panneau de gauche (3) s'enrichit alors des coordonnées de la polygone, d'une cellule permettant d'indiquer la largeur de la polygone (1 m ici) et d'un bouton pour tracer le profil en 2D. Le profil s'affiche alors sous le panneau cartographique. A noter qu'il est dynamique avec la carte. Le nuage de point sélectionné est alors exportable au format csv ou Las (Illustration 15).

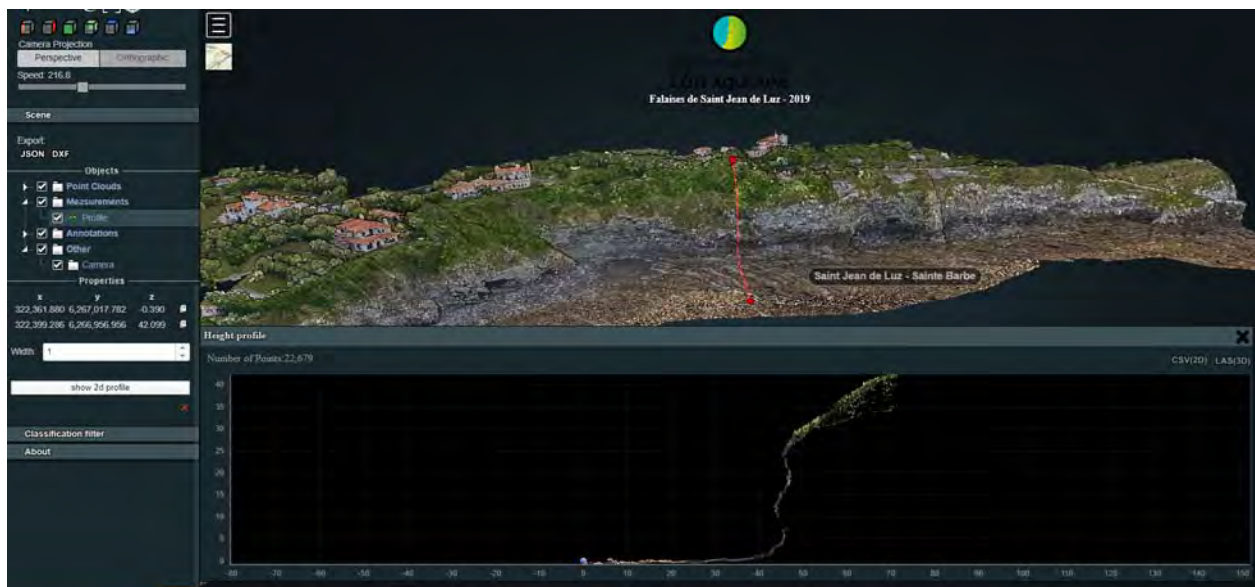


Illustration 15 - Profil sous Potree <http://potree.org/>

La fonctionnalité permettant de traiter des profils peut être détournée pour sélectionner et télécharger le nuage de points correspondant à un périmètre d'étude souhaité.

4.2. PRESENTATION DES SITES SUIVIS

Pour chaque site étudié (présenté du nord au sud), les principaux descripteurs extraits des jeux de données exploités sont présentés dans les paragraphes suivants.

4.2.1. Sénix

Les caractéristiques du site de Sénix sont présentées dans l'illustration 16 et le Tableau 3.



Illustration 16 - Vue 3D (Mesh) du site de Sénix en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

Linéaire côtier	240 m
Hauteur falaise min / max	5 / 15 m
Pente falaise min / max	16° / 41°
Hauteur plage min / max	0 / 4 m
Falaise végétalisée	oui
Présence de cavité	non
Présence de surplomb	non

Tableau 3 - Caractéristiques du site de Sénix

4.2.2. Mayarko

Les caractéristiques du site de Mayarko sont présentées dans l'illustration 17 et le Tableau 4.



Illustration 17 - Vue 3D (Mesh) du site de Mayarko en 2019 © Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap

Linéaire côtier	630 m
Hauteur falaise min / max	10 / 40 m
Pente falaise min / max	20° / 85°*
Hauteur plage min / max	1 / 4,5 m
Falaise végétalisée	oui
Présence de cavité	non
Présence de surplomb	non

Tableau 4 - Caractéristiques du site de Mayarko

4.2.3. Lafiténia

Les caractéristiques du site de Lafiténia sont présentées dans l'illustration 18 et le Tableau 5.



Illustration 18 - Vue 3D (Mesh) du site de Lafiténia en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

Linéaire côtier	980 m
Hauteur falaise min / max	10 / 37 m
Pente falaise min / max	30° / 87°*
Hauteur plage min / max	0 / 6m
Falaise végétalisée	oui
Présence de cavité	non
Présence de surplomb	non

Tableau 5 - Caractéristiques du site de Lafiténia

4.2.4. Erromardie

Les caractéristiques du site d'Erromardie sont présentées dans l'illustration 19 et le Tableau 6.



Illustration 19 - Vue 3D (Mesh) du site de Erromardie en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

Linéaire côtier	1 300 m
Hauteur falaise min / max	15 / 45 m
Pente falaise min / max	30° / 50°
Hauteur plage min / max	0 / 5m
Falaise végétalisée	oui
Présence de cavité	non
Présence de surplomb	non

Tableau 6 - Caractéristiques du site d'Erromardie

4.2.5. Archilua

Les caractéristiques du site d'Archilua sont présentées dans l'illustration 20 et le Tableau 7.



Illustration 20 - Vue 3D (Mesh) du site de Archilua en 2019 © Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap

Linéaire côtier	450 m
Hauteur falaise min / max	3 / 25 m
Pente falaise min / max	35° / 89°*
Hauteur plage min / max	-1 / 3 m
Falaise végétalisée	Oui pour les peu pentues, non pour les subverticales
Présence de cavité	Oui*
Présence de surplomb	Oui*

Tableau 7 - Caractéristiques du site d'Archilua

4.2.6. Pile d'Assiettes

Les caractéristiques du site de la Pile d'Assiettes sont présentées dans l'illustration 21 et le Tableau 8.



Illustration 21 - Vue 3D (Mesh) du site de la Pile d'Assiettes en 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

Linéaire côtier	390 m
Hauteur falaise min / max	14 / 32 m
Pente falaise min / max	35° / 89°
Hauteur plage min / max	-1 / +2
Falaise végétalisée	Oui pour les peu pentues, non pour les subverticales
Présence de cavité	oui
Présence de surplomb	oui

Tableau 8 - Caractéristiques du site de la Pile d'Assiettes

4.2.7. Sainte-Barbe

Les caractéristiques du site de Sainte-Barbe sont présentées dans l'illustration 22 et le Tableau 9.



Illustration 22 - Vue 3D (Mesh) du site de Sainte Barbe en 2019 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

Linéaire côtier	580 m
Hauteur falaise min / max	7* / 33* m
Pente falaise min / max	36* / 89°
Hauteur plage min / max	-1 / 2 m
Falaise végétalisée	non
Présence de cavité	oui
Présence de surplomb	oui

Tableau 9 - Caractéristiques du site de Sainte-Barbe

4.3. ANALYSE DIACHRONIQUE

Une analyse diachronique entre 2017 et 2019 a été réalisée à partir des données produites par HéliMAP. La méthode présentée ci-dessous propose deux approches différentes selon la pente des falaises. En suivant sont présentées les principales zones d'instabilité au cours de la période, pour chaque secteur étudié.

4.3.1. Méthode

La difficulté de quantifier des mouvements de terrain au droit des falaises subverticales (telles que celles du sud de Saint-Jean-de-Luz), à partir de levés LiDAR aéroportés « classiques », c'est-à-dire selon une visée zénithale (à la verticale), est que les mesures ne permettent pas de reconstituer les formes du relief de manière complète. En effet, les fronts de falaises subverticales ainsi mesurés sont représentés par un nombre de points (X,Y,Z) trop insuffisant. A titre d'exemple, les orthophotographies correspondantes restituent ces falaises selon un faible nombre de pixels qui n'est pas représentatif de leur surface réelle (Illustration 23).

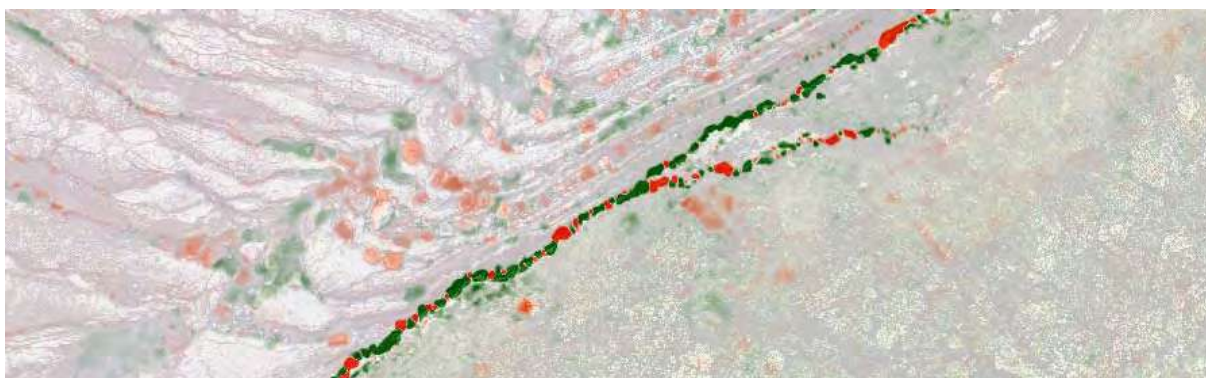


Illustration 23 - Exemple d'un différentiel de MNT, sous SIG, sur une falaise subverticale (à Sainte-Barbe)

C'est pourquoi, pour mesurer les falaises subverticales, les levés LiDAR HéliMAP ont été réalisés de manière orthogonale par rapport au sol, mais également par rapport aux fronts de falaises (visée oblique et non verticale ou zénithale).

Les données produites ont ensuite été traitées selon deux approches complémentaires présentées ci-après :

● traitement des MNT sur les terrains peu pentus

L'essentiel de l'analyse des mouvements de terrain caractérisés dans les chapitres suivants est issu d'une analyse géomatique « classique » des MNT, à partir du logiciel ArcGis. L'avantage de cette méthode est qu'elle est rapide, puisque les MNT sont directement livrés par HéliMAP à une résolution de 10 cm, tout comme les différentiels d'altitude entre les trois millésimes. De plus, ces fichiers sont relativement « légers » et faciles à manipuler.

● analyse des nuages de points sur les falaises subverticales

Une méthode spécifique aux falaises de Sainte-Barbe et de la Pile d'Assiettes a été mise en place en traitant directement des nuages de points (Las). Les manipulations de ces fichiers plus lourds sont moins aisées, mais elles permettent de quantifier les volumes des mouvements de terrain. Le logiciel (gratuit) CloudCompare® a été utilisé pour cette approche. Il permet de manipuler des nuages de points au format Las, de calculer les « distances » entre des points de deux millésimes différents et ainsi de caractériser les mouvements de terrain.

Les volumes quantifiés selon ces deux approches peuvent sensiblement varier pour un même mouvement de terrain, tout en restant dans le même ordre de grandeur.

Afin de prendre en compte la précision des données (5 cm) et de limiter le « bruit » dans l'analyse, les différences de moins de 15 cm, en valeur absolue, ont été écartées.

Des fiches de synthèse ont été établies pour chacun des sites, en présentant en particulier la quantification volumétrique des mouvements de terrain à partir des différentiels LiDAR entre 2017 et 2019. Selon les sites, des focus sont faits afin de présenter des évolutions particulières jugées significatives pour les périodes 2017/2018 ou 2017/2019.

4.3.2. Secteur de Sénix

L'illustration 24 montre le résultat du différentiel LiDAR, pour l'ensemble du secteur de Sénix, pour la période 2017/2019.

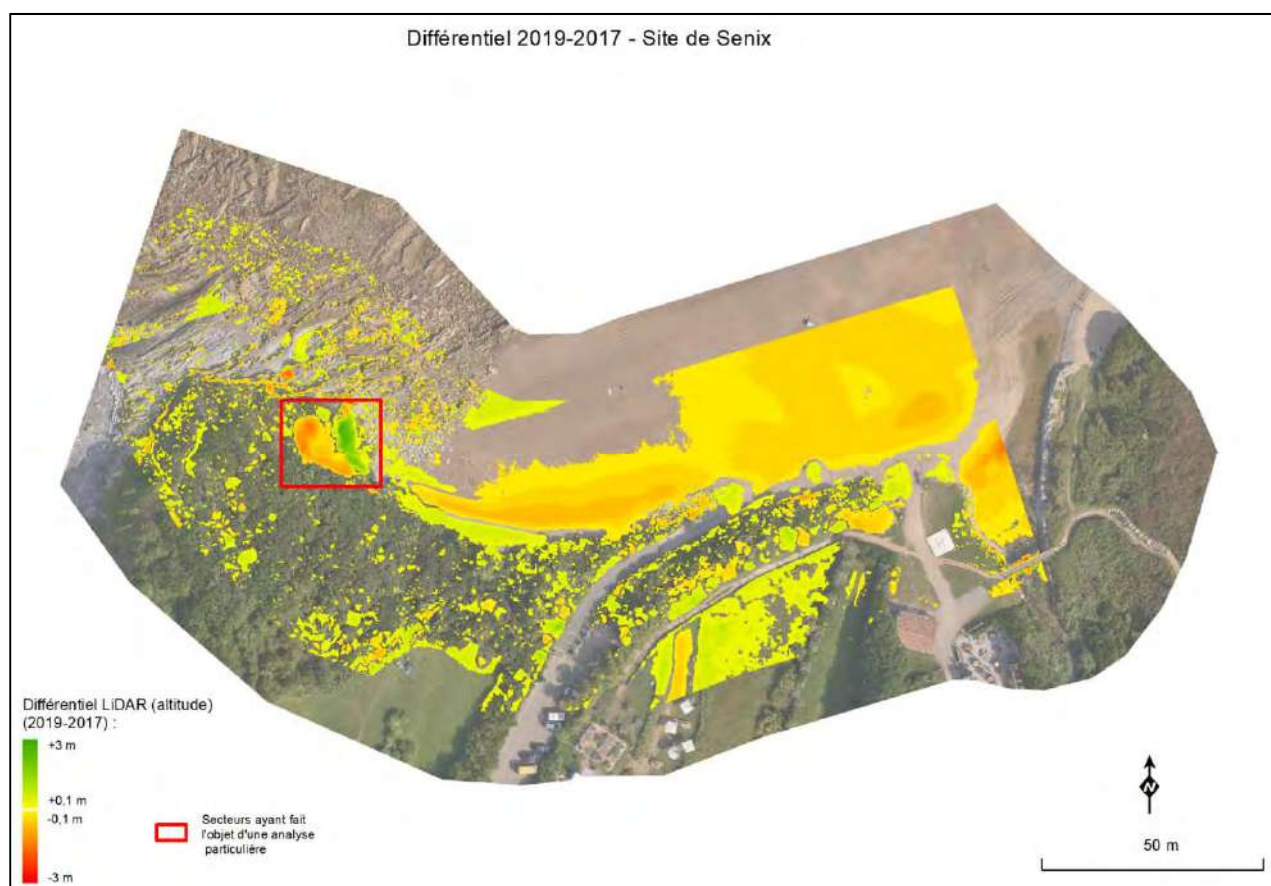


Illustration 24 - Différentiel LiDAR 2019-2017 dans le secteur de Sénix (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

L'analyse des données permet de mettre en évidence une seule zone de falaise, à l'extrémité ouest de la plage, ayant connu une évolution significative au cours de la période d'observation (cf. Illustrations 24 et 25). Les orthophotos et les données LiDAR témoignent de la survenue, entre les campagnes 2017 et 2018, d'un glissement de terrain dans la partie inférieure de la falaise (d'une vingtaine de mètres de hauteur au total). Le phénomène aurait mobilisé un volume estimé à près d'une soixantaine de m³. Les données topographiques font état d'une surface de décrochement de l'ordre de 90 m², pour une cicatrice présentant une largeur approchant 15 m (soit une hauteur de rupture de 6 m environ). La

masse glissée (probablement des flyschs altérés décapés sur une épaisseur moyenne inférieure à 1 m) était encore pour une large part présente en pied de falaise lors du levé de 2019.

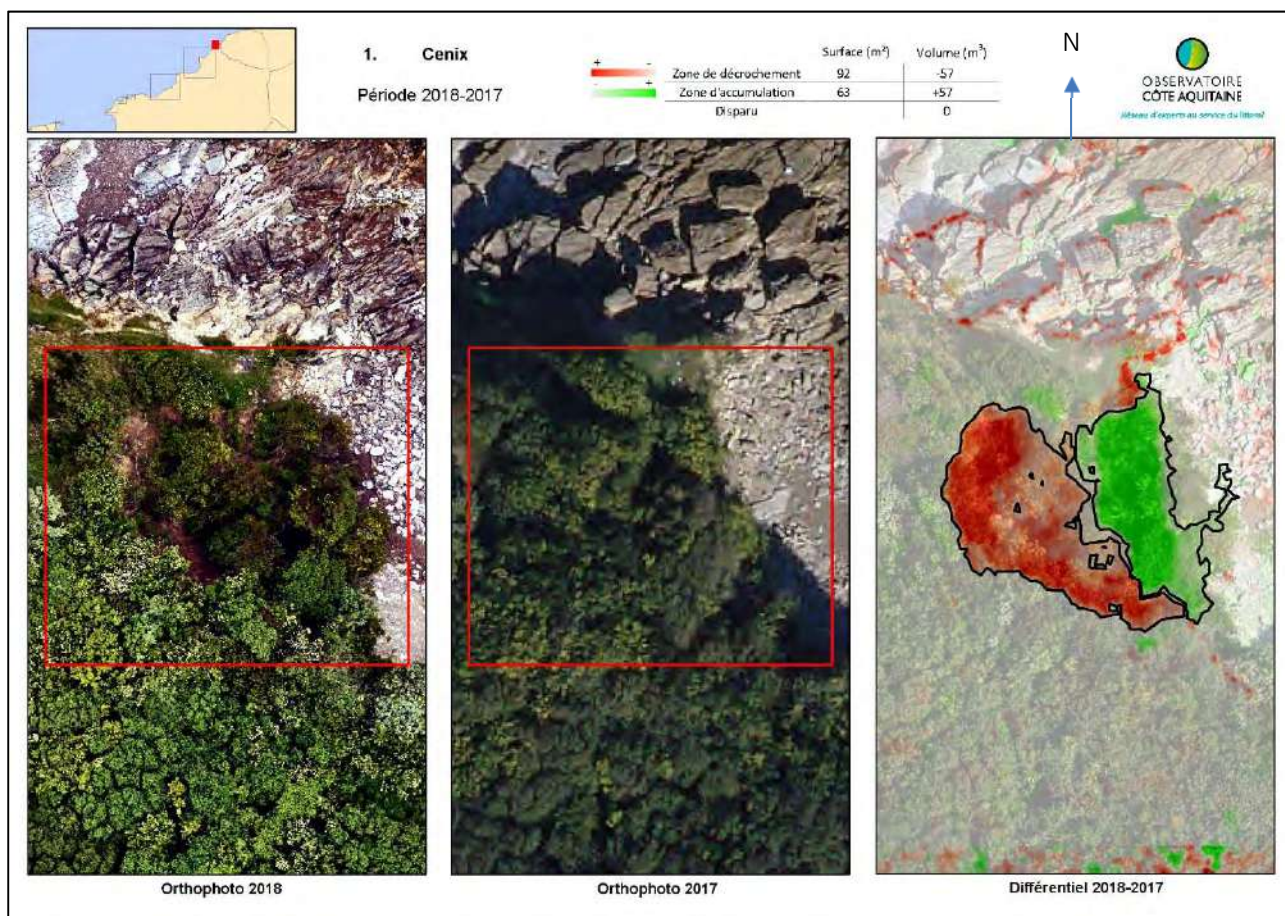


Illustration 25 - Zone de glissement dans le secteur de Sénix. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

4.3.3. Secteur de Mayarko

L'illustration 26 montre le résultat du différentiel LiDAR, sur l'ensemble du secteur de Mayarko, pour la période 2017/2019.

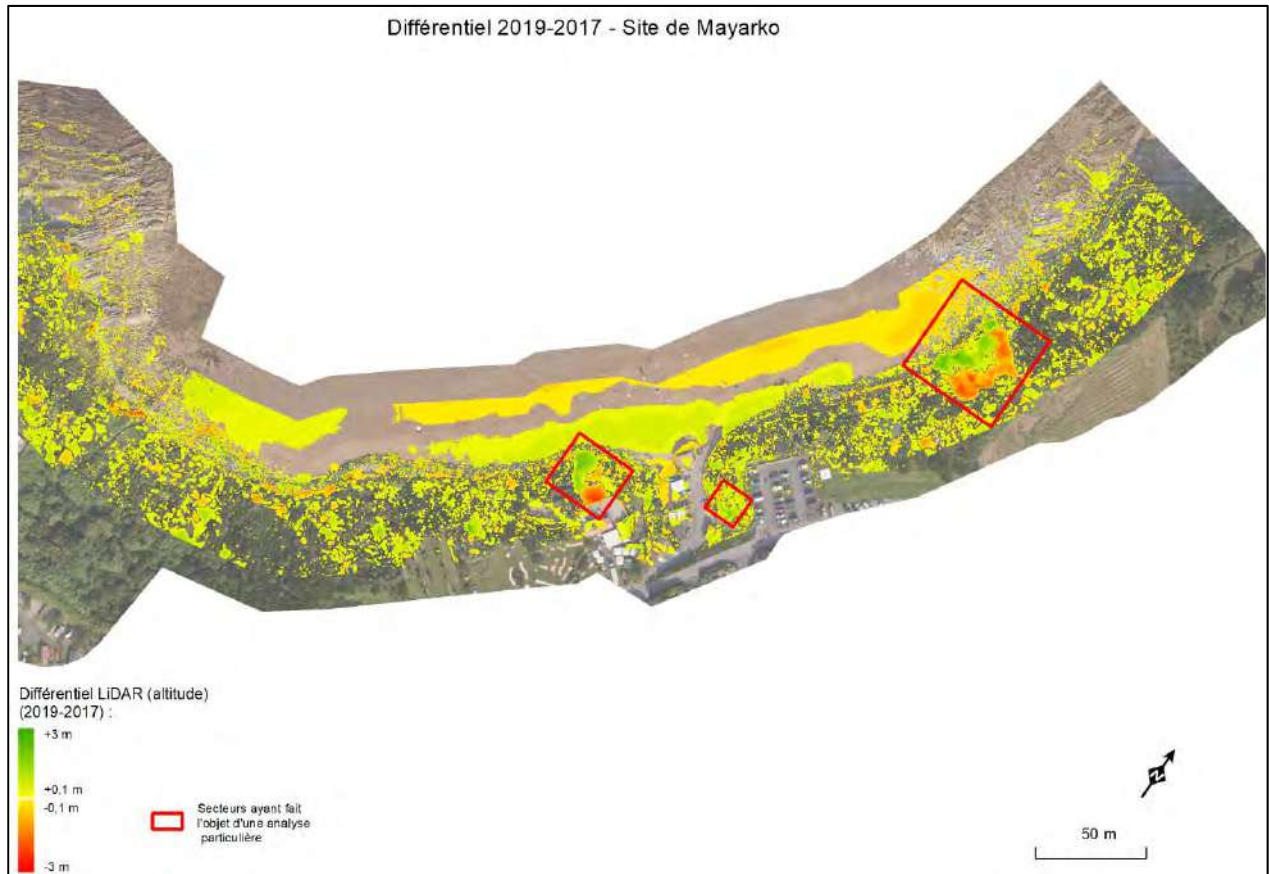


Illustration 26 - Différentiel LiDAR 2019-2017 dans le secteur de Mayarko (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

L'analyse des données permet de mettre en évidence trois zones ayant, semble-t-il, connu une évolution significative (cf. Illustration 26) entre les campagnes 2017 et 2018. Elles sont situées dans la partie orientale de la plage, dans la pente bordant l'ouest du parking public et au droit du Bibambar, légèrement à l'ouest de l'accès à la plage.

Dans la partie est, les orthophotos et les données LiDAR (cf. Illustration 27) témoignent de la survenue, entre les campagnes 2017 et 2018, d'un glissement de terrain sur une trentaine de mètres de large environ, ayant pris naissance aux deux tiers supérieurs de la falaise. Le volume mobilisé est estimé de l'ordre de 350 m^3 , la zone de décrochement présentant une hauteur comprise entre 5 et 10 m. Le glissement a ainsi mobilisé une épaisseur de terrain vraisemblablement inframétrique à métrique (zone de décrochement d'une emprise voisine de 380 m^2). Les orthophotos permettent de pointer la déstructuration des flyschs à ce niveau, le substratum apparaissant assez fortement altéré. Lors de la campagne LiDAR de 2018, un volume de près de 90 m^3 de matériaux glissés avait déjà été remobilisé par l'océan.

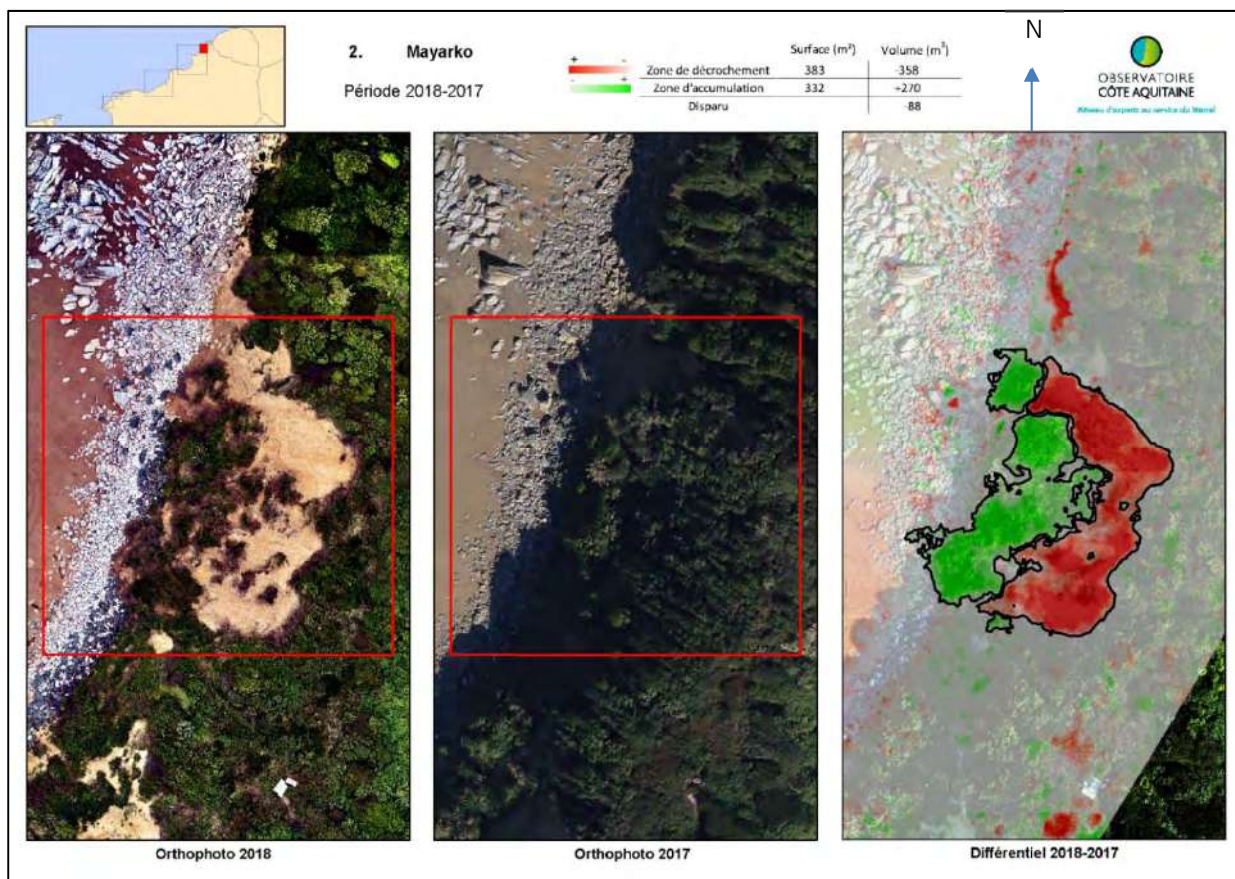


Illustration 27 - Zone de glissement en partie est du secteur de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

L'illustration 28 (photographies aériennes obliques issues des campagnes régionales opérées annuellement par l'OCA) témoigne également du glissement en partie est de Mayarko.



Illustration 28 - Glissement en partie est de Mayarko, survenu entre 2017 et 2018 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebass, ULM Sud Bassin, 2017 et 2018)

A l'ouest immédiat du parking de la plage, une zone de décrochement d'un volume évalué à 33 m³ (emprise de 70 m²), selon les données LiDAR, est identifiée dans la pente, en contrehaut de l'accès à la plage (cf.

Illustration 29). La répartition des surfaces de décrochement / accumulation n'apparaît cependant pas cohérente avec la topographie locale, tandis que les photographies aériennes obliques ne permettent pas de repérer d'instabilité récente sur ce versant. La zone est ainsi interprétée comme un défaut d'acquisition LiDAR lié à la végétation et non comme la résultante d'un mouvement de terrain.

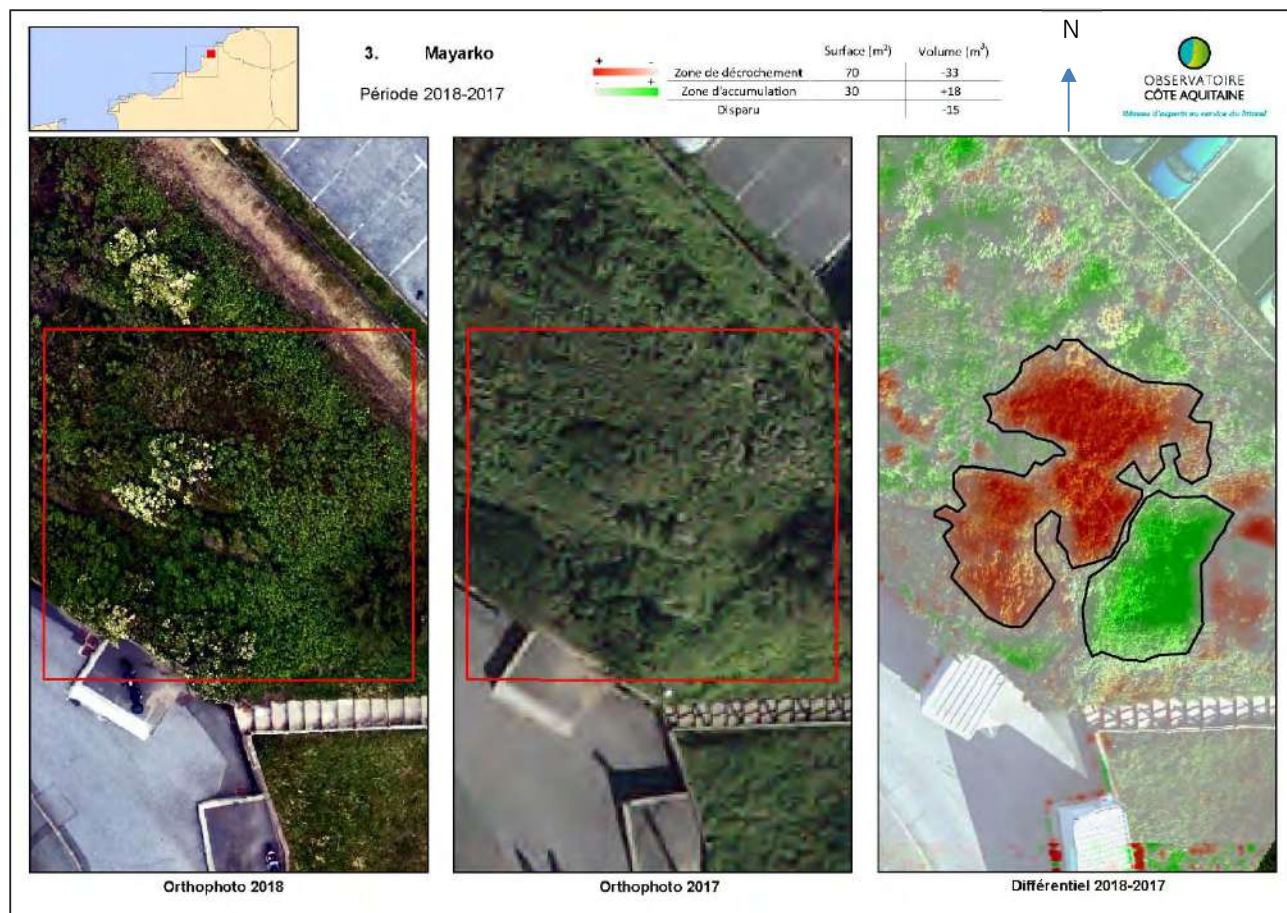


Illustration 29 - Versant à l'ouest du parking public de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018. Artéfact d'interprétation attribué à la végétation (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMap)

Au droit du Bibambar, les orthophotos et les données LiDAR (cf. Illustrations 30 et 31) attestent du glissement qui s'est déclenché en début d'année 2018 (fin janvier selon les informations disponibles), au droit de la terrasse de l'établissement, à la suite des fortes pluies des dernières semaines de 2017 et du début d'année 2018. Le glissement a concerné l'ensemble du versant (près d'une vingtaine de mètres), avec un arrachement principal au sein de terrains altéritiques sur près de 10 m de large et sur une hauteur équivalente (surface de décrochement estimée de 108 m² ; cf. illustration 32).

Le volume mobilisé par le glissement estimé par différentiel LiDAR est de 110 m³. Selon l'étude réalisée par ECR² à la suite du glissement, la zone de décrochement présenterait une hauteur de 6 à 7 m, ce qui correspondrait à une épaisseur moyenne de la masse glissée avoisinant 1,50 m. Cette épaisseur est jugée cohérente avec les informations disponibles.

² « Mission géotechnique G5. Diagnostic géotechnique suite à un glissement, Bibam Bar ». ECR Environnement, Référence 6401586, 25 mai 2018

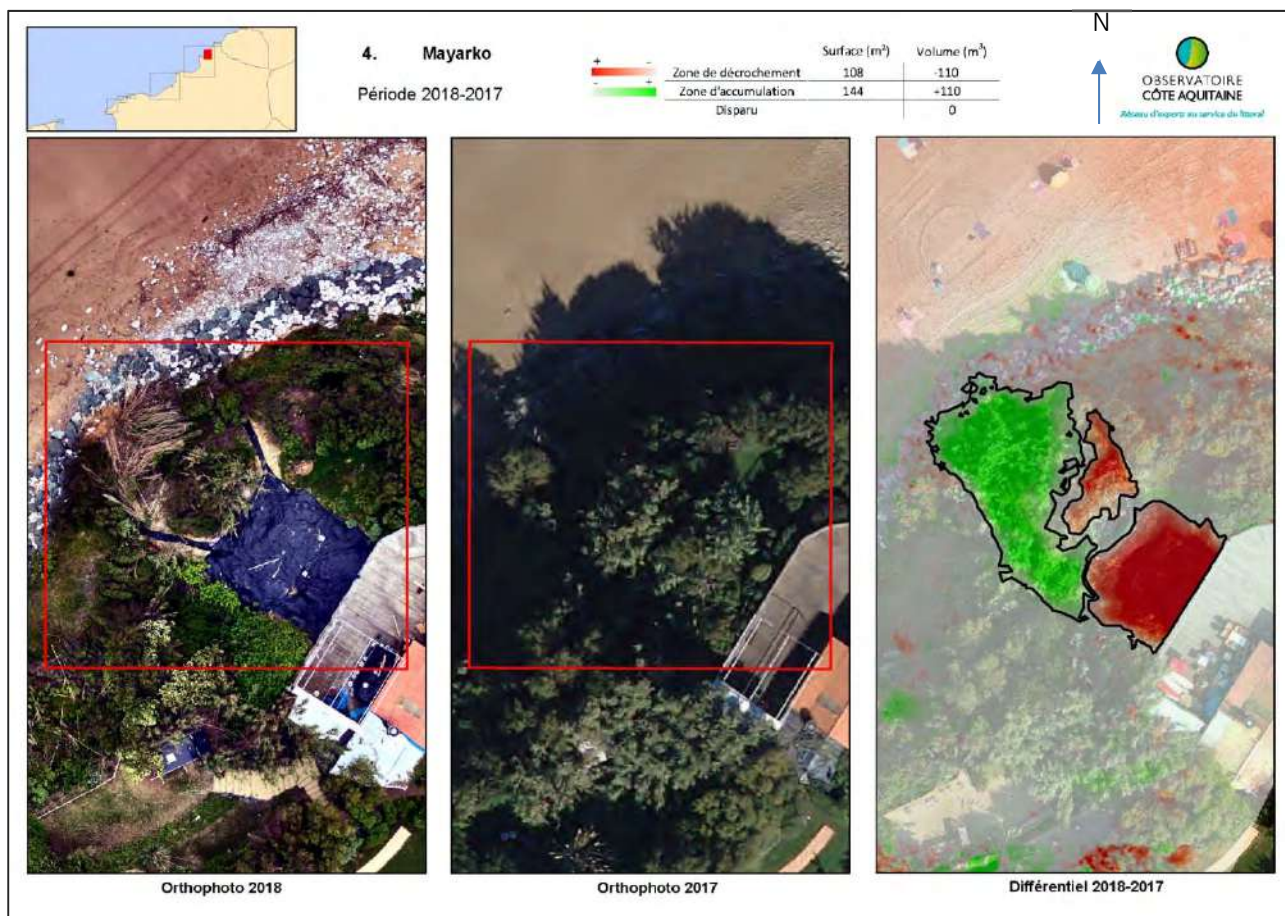


Illustration 30 - Zone de glissement au droit du Bibambar, dans le secteur de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 31 - Glissement de janvier 2018 au droit du Bibambar, à Mayarko (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2018)



Illustration 32 - Zone d'arrachement en partie haute de versant du glissement du Bibambar, à Mayarko, en janvier 2018 (clichés avril 2018 ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine)

4.3.4. Secteur de Lafiténia

L'illustration 33 montre le résultat du différentiel LiDAR, sur l'ensemble du secteur de Lafiténia, pour la période 2017/2019.

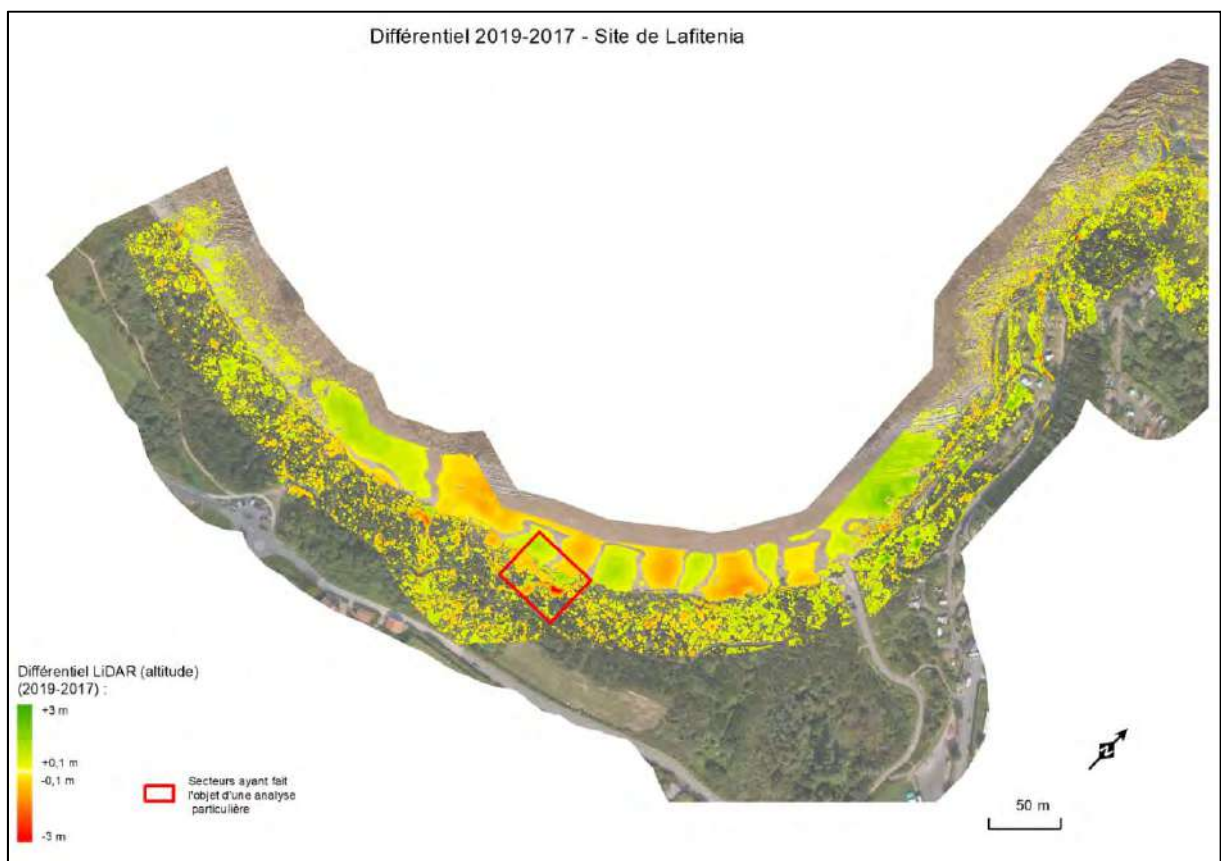


Illustration 33 - Différentiel LiDAR 2019-2017 dans le secteur de Lafiténia (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

Une seule zone, située 200 m environ au sud-ouest du poste de secours, aurait connu, selon les données orthophotos et LiDAR, une évolution significative au cours de la période d'observation (cf. Illustrations 33 et 34). Entre 2017 et 2018, l'analyse fait apparaître plusieurs zones de décrochement en partie inférieure de versant, sur un linéaire côtier d'une cinquantaine de mètres et pour un volume total glissé de l'ordre d'une centaine de m³ (cf. illustration 35). Cette activité, dont témoignent les levés LiDAR, s'inscrit dans une dynamique plus large de glissement affectant de façon récurrente ces dernières années la partie basse des versants, aux pentes relativement abruptes et dont l'altération est plus ou moins développée, sous l'effet notamment de l'impact des vagues et des circulations d'eau (de surface et sub-surface). Il s'agit de glissements relativement superficiels, ce dont témoigne le ratio (inférieur à 1) entre le volume mobilisé (volume de la zone de décrochement) et la surface de la zone décrochement.

Dans la zone concernée, les données LiDAR ne révèlent pas, pour la période 2017/2019, de mouvement significatif dans les parties intermédiaire et supérieure du versant. La présence d'un couvert végétal relativement dense, ainsi qu'une dynamique modérée (cinématique lente, associée à des périodes de stabilité plus ou moins longues, mouvements assez superficiels) pourraient au moins partiellement expliquer l'absence d'indicateur de mouvement plus général sur ces versants de la plage de Lafiténia.

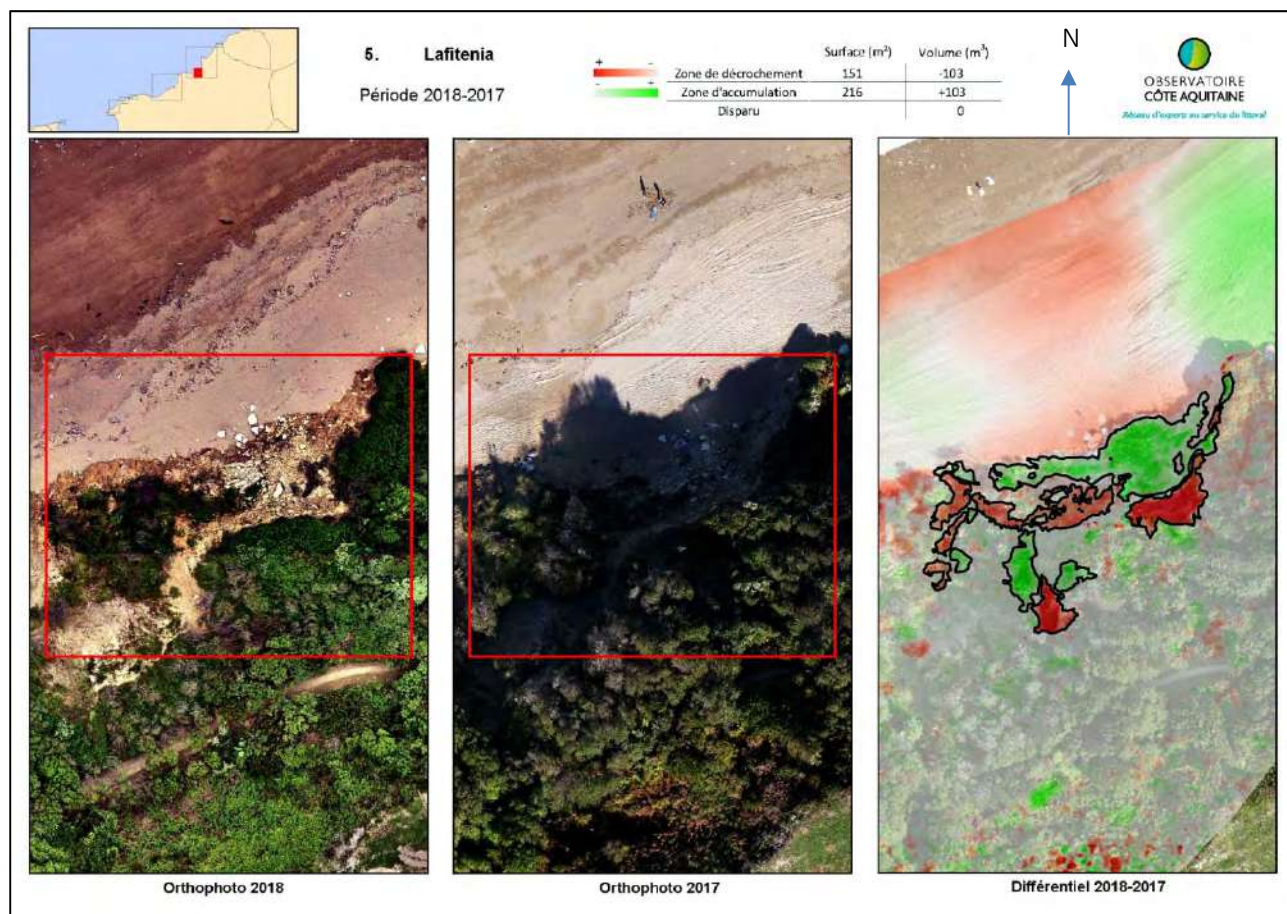


Illustration 34 - Zone de glissement en partie est du secteur de Lafiténia. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 35 - Glissement en partie centrale du secteur de Lafiténia, évolution entre 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2018)

4.3.5. Secteur de Erromardie

L'illustration suivante montre le résultat du différentiel LiDAR, sur l'ensemble du secteur de Erromardie, pour la période 2017/2019. L'analyse des données met en évidence six zones (deux dans la partie est de la plage, quatre en partie ouest) ayant, semble-t-il, connu une évolution significative, entre les campagnes 2017 et 2018, ou 2019 selon les zones (cf. Illustration 36).

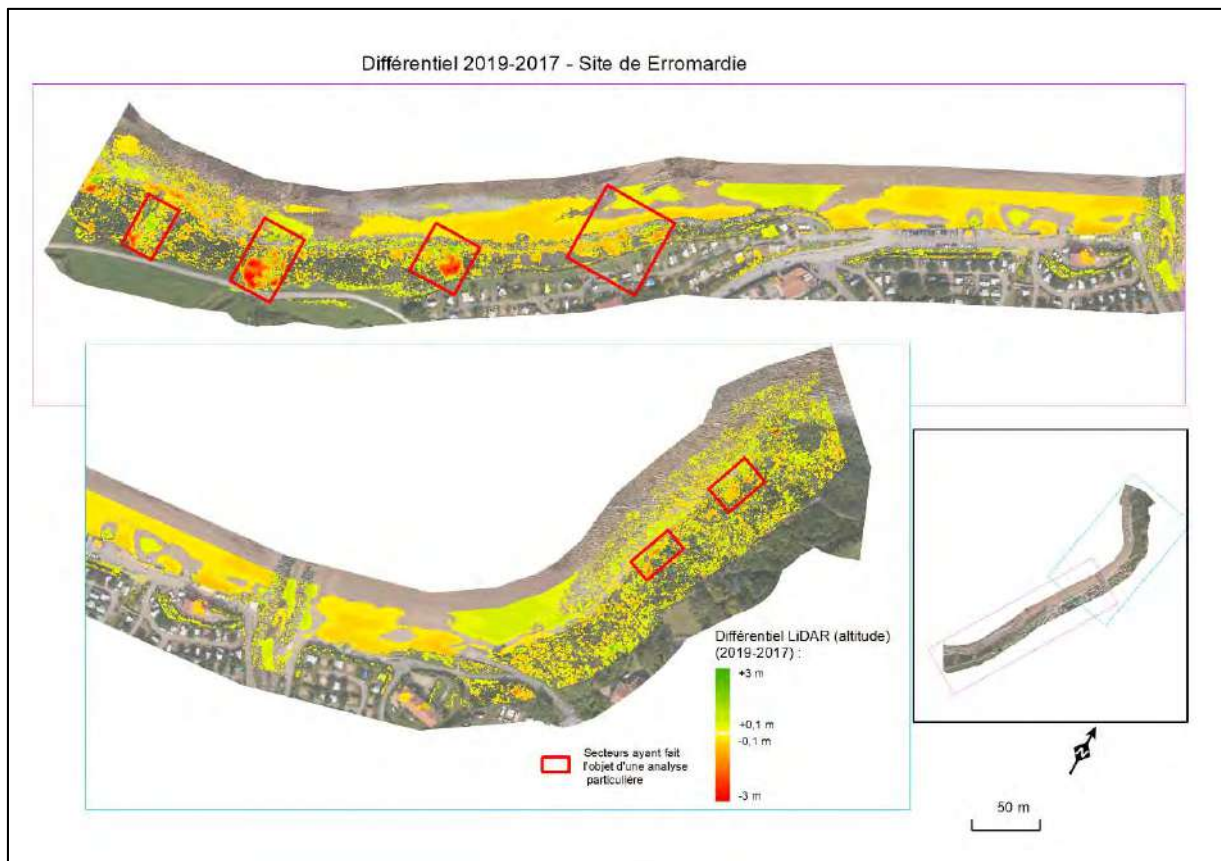


Illustration 36 - Différentiel LiDAR 2019-2017 dans le secteur d'Erromardie (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

La première zone est située à l'extrémité orientale de la plage. Les orthophotos et les données LiDAR révèlent un décrochement en partie basse de versant, sur une trentaine de mètres de large et une quinzaine de mètres de hauteur (cicatrice de 126 m² de surface). Le volume glissé est estimé à 49 m³ (soit une épaisseur moyenne décrochée voisine de 0,50 m), dont seuls 6 m³ avaient été remobilisés par l'océan lors du levé de 2018.

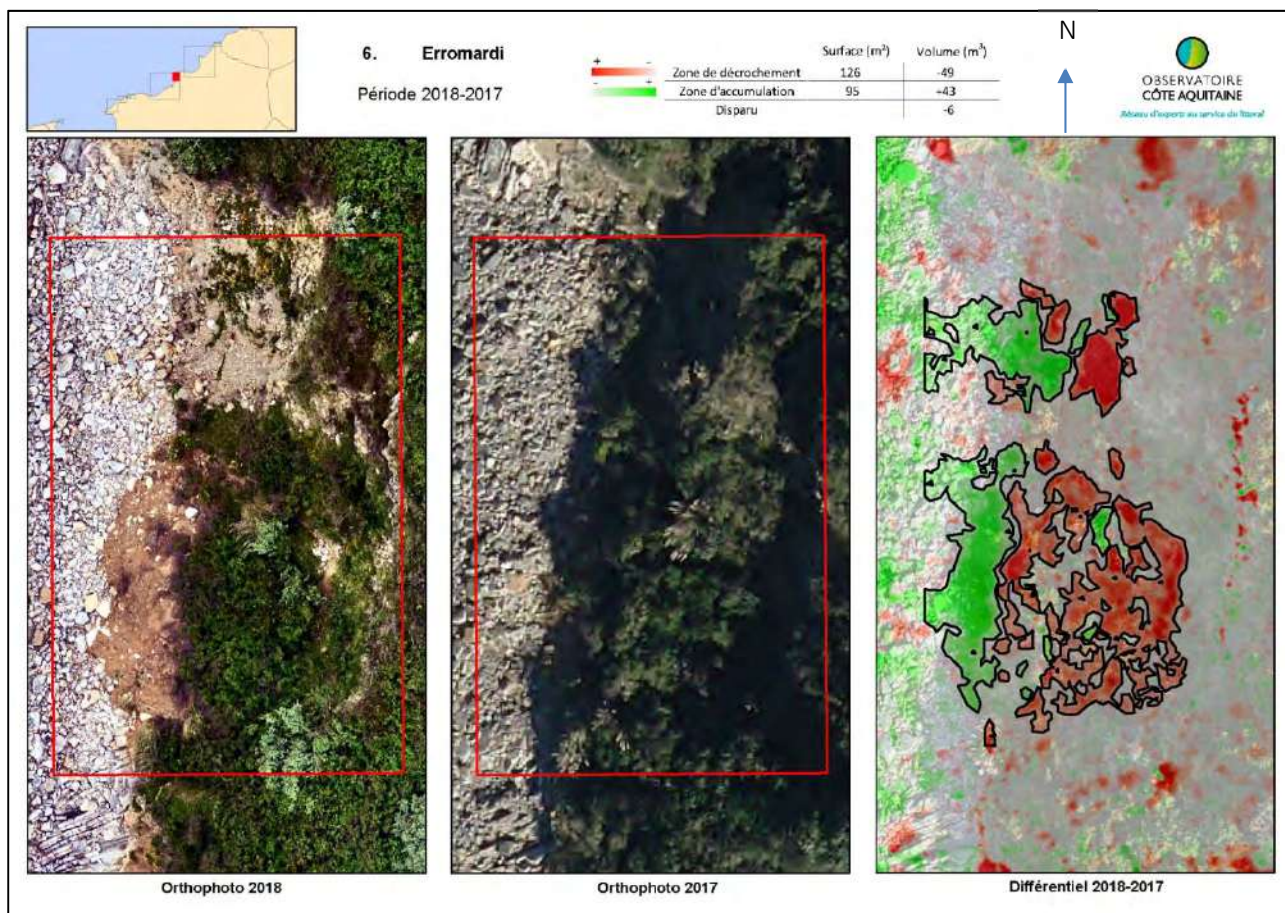


Illustration 37 - Zone de glissement (première zone) à l'extrémité est du secteur de Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

La deuxième zone est située 40 m environ plus au sud. Les caractéristiques de cette zone de départ sont similaires, avec une surface de décrochement de 126 m² pour un volume glissé de 29 m³, trahissant là encore des instabilités très superficielles correspondant probablement à des décapages superficiels favorisés par l'impact des vagues en pied de pente. Les données LiDAR ne révèlent pas de mouvement d'ampleur significative dans la partie du versant située en amont de ces zones de décrochement.

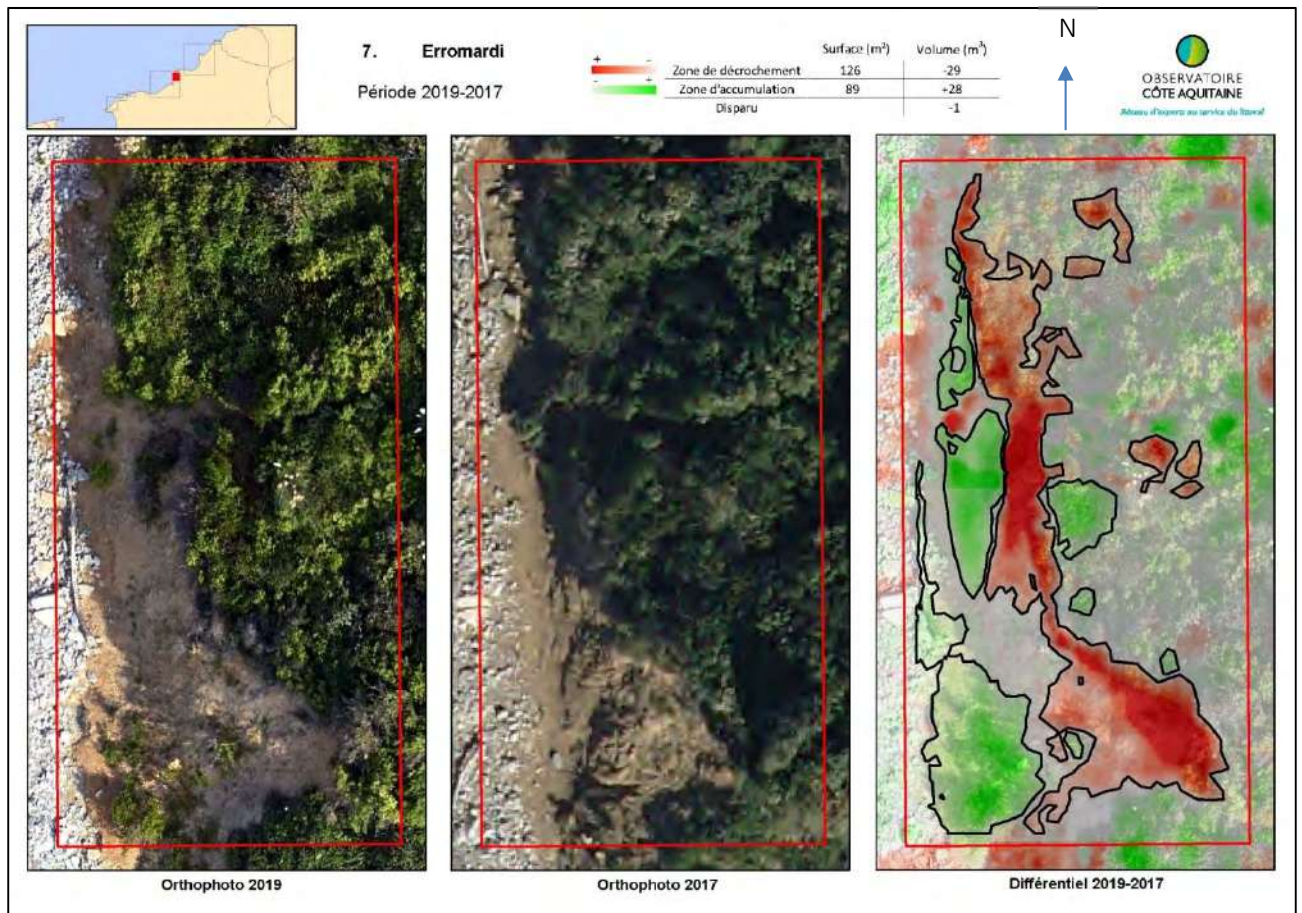


Illustration 38 - Zone de glissement (deuxième zone) en partie est du secteur de Erromardi. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

Les troisième et quatrième zones sont situées au droit du camping placé en bord de mer, dans le secteur ouest d'Erromardie. Il s'agit de glissements de flyschs altérés mobilisant toute la hauteur de versant, sur des largeurs respectives de 70 m et 30 m environ, pour des volumes mobilisés estimés de 155 m³ et 347 m³ (entre les levés de 2017 et 2018). Ces instabilités illustrent l'activité qui affecte plus largement les versants ouest d'Erromardie, sous l'influence des conditions pluviométriques et océaniques, les enrochements de pied de falaise n'offrant qu'une protection imparfaite contre l'effet des vagues qui submergent régulièrement l'ouvrage et viennent éroder le pied de versant.

Le levé de 2018 montre qu'à cette date, la majeure partie des volumes glissés avait été reprise par les vagues (125 m³ sur 155 m³ dans le 1^{er} cas, et 242 m³ sur 347 m³ dans le second).

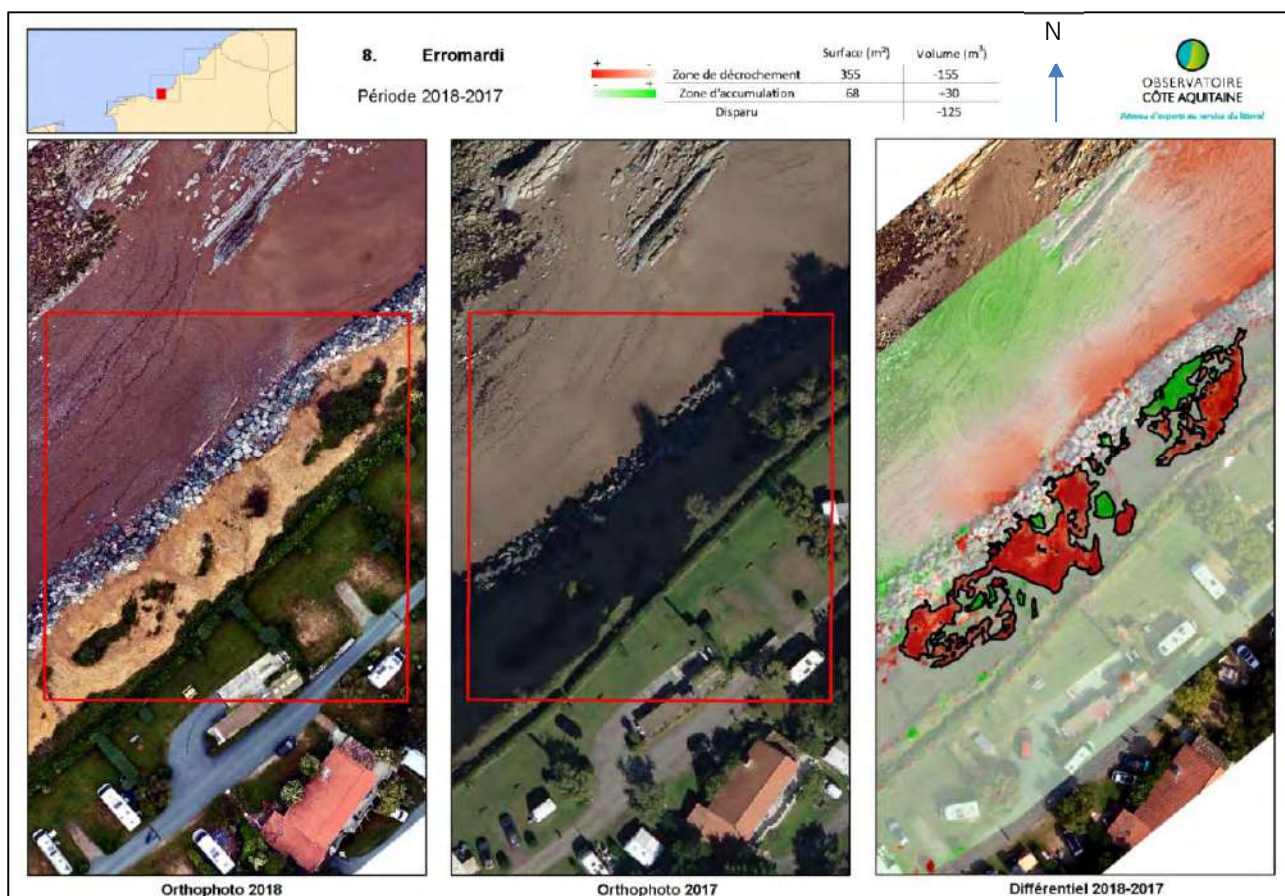


Illustration 39 - Zone de glissement (troisième zone) en partie centrale du camping de bord de mer, à Erromardie ouest. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

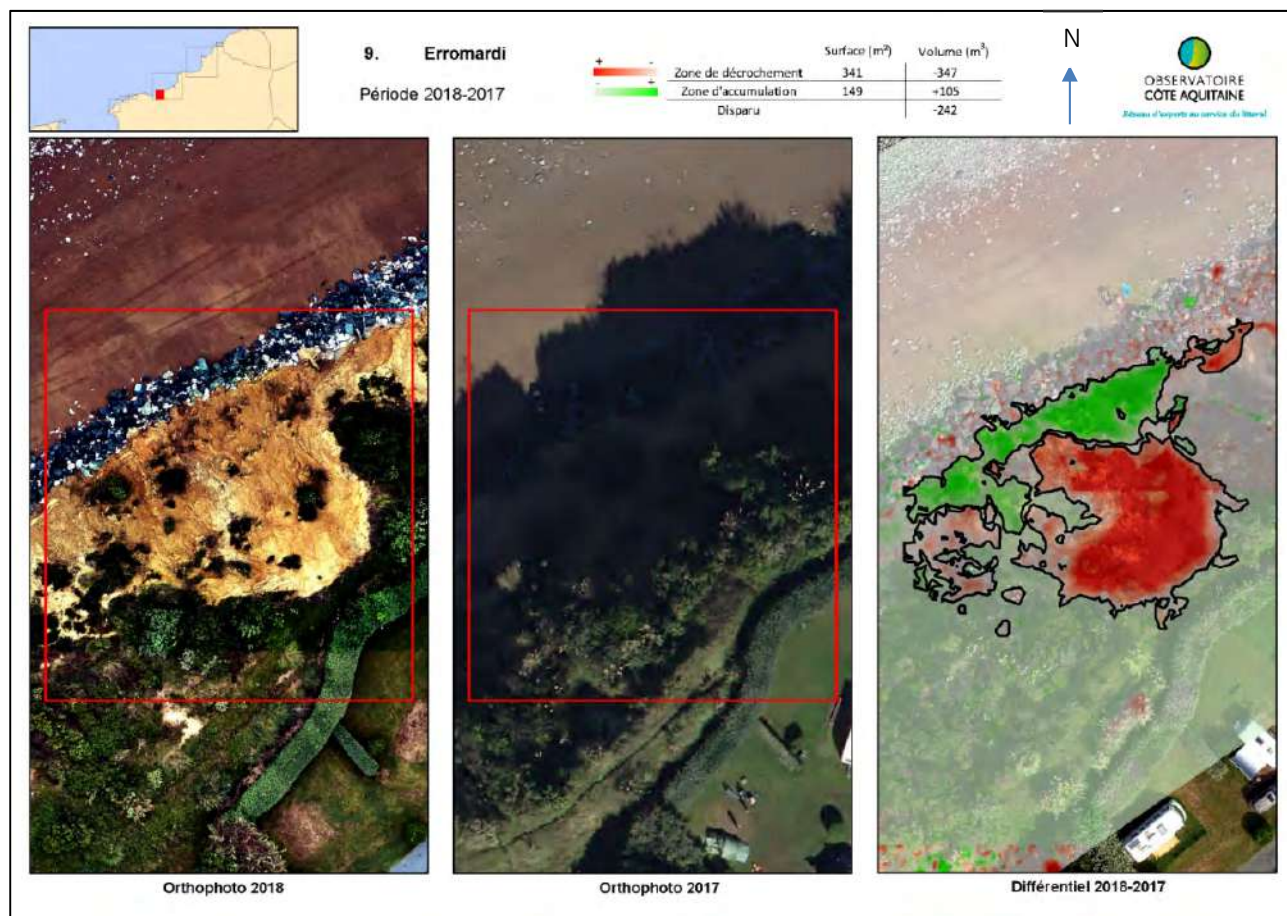


Illustration 40 - Zone de glissement (quatrième zone) à l'extrémité ouest du camping de bord de mer, à Erromardie ouest. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 41 -Zones en glissement (troisième zone à gauche et quatrième zone à droite), au droit du camping de bord de mer, dans le secteur d'Erromardie ouest (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2018)

Les cinquième et sixième zones sont situées à l'extrémité ouest d'Erromardie, secteur dans lequel le versant voit sa hauteur augmenter sensiblement, atteignant 30 à 40 m (cf. illustration 45).

La première de ces deux zones (cf. illustrations 42) se trouve au droit d'un rejet d'eaux pluviales se déversant en partie haute de falaise, contribuant ainsi fortement à l'activité sur le site depuis des années. Le différentiel LiDAR 2019/2017 permet d'évaluer à près de 90 m³ le volume de matériaux glissés (flyschs altérés) au cours de cette période, sur une surface d'incision d'une largeur proche de 30 m dans la partie supérieure. De façon analogue aux sites évoqués précédemment, les dépôts sont en grande partie assez rapidement repris par l'océan (50 % du volume glissé remobilisé lors du levé 2019).

La superposition du différentiel LiDAR 2019/2017 sur les orthophotos montre l'impact de la niche d'arrachement sommitale sur la voie Vélodyssée (illustrations 42 et 43).

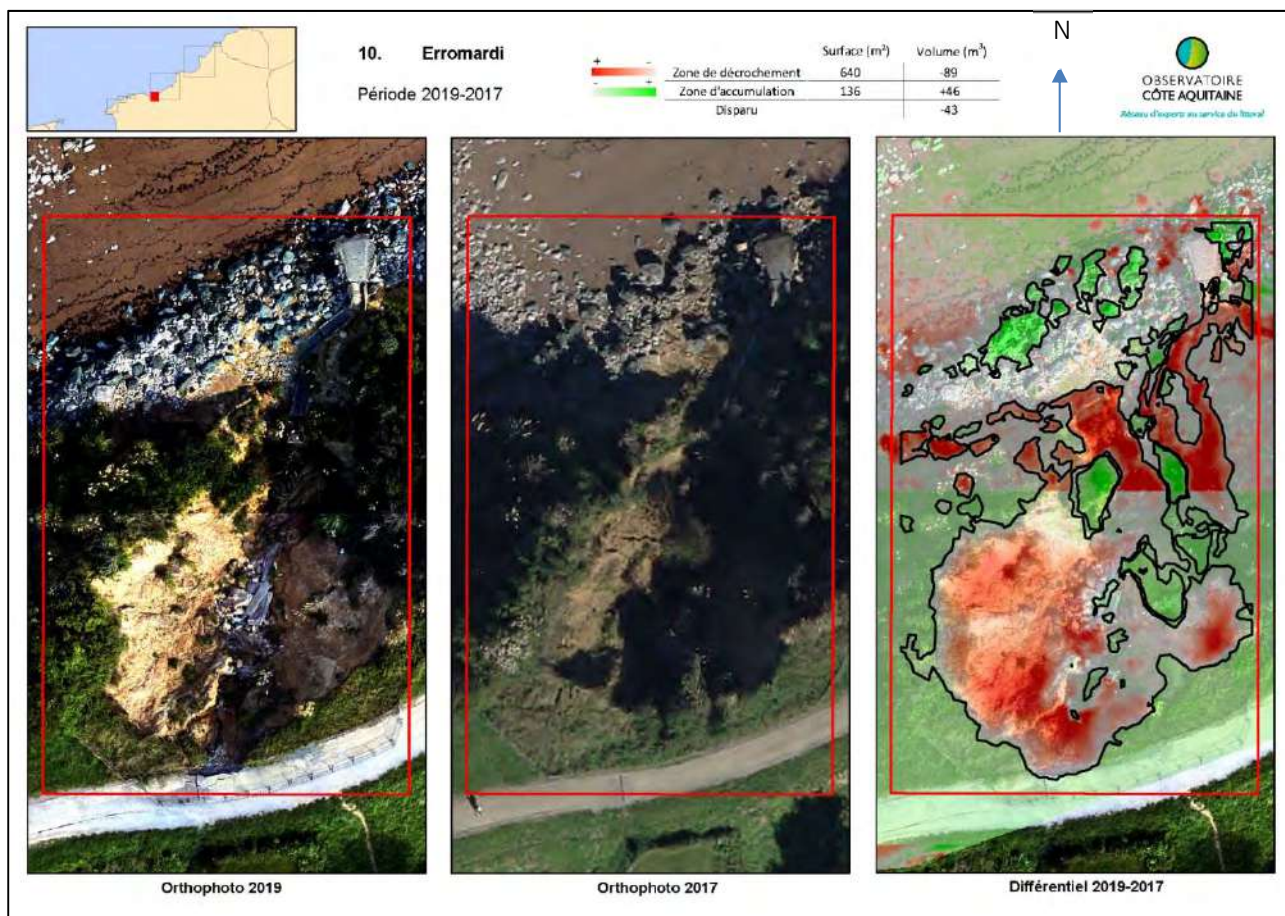


Illustration 42 - Zone de glissement (cinquième zone) en partie ouest d'Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2019 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 43 - Impact sur la Vélodyssée de la cinquième zone de glissement, à Erromardie ouest (clichés datés de février 2019, à gauche, et avril 2019, à droite)

La sixième zone se situe à une soixantaine de mètres environ plus à l'ouest (cf. Illustration 44). Comme la zone précédente, l'activité dans ce site est identifiée depuis plusieurs années. L'analyse LiDAR permet de quantifier à 93 m³ le volume de matériaux glissés pour la période 2017/2018. La niche d'arrachement

sommitale s'est rapprochée sensiblement du sommet de falaise au cours de la période. Contrairement au site précédent, la masse glissée, en stabilité précaire dans la pente, n'avait pas été reprise lors du levé 2019 par l'océan.

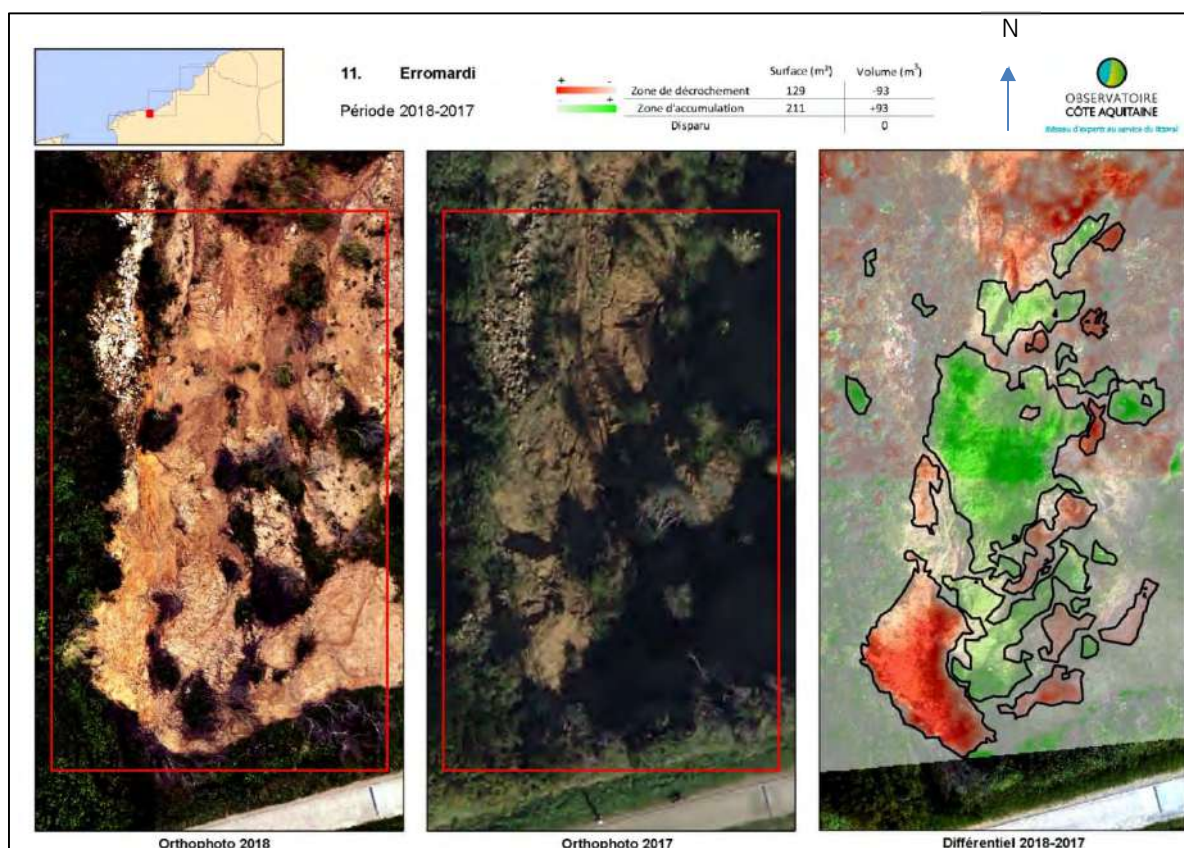


Illustration 44 - Zone de glissement (sixième zone) à l'extrémité ouest d'Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 45 - Cinquième (à droite) et sixième (à gauche) zones de glissement à l'extrémité ouest d'Erromardie (Orthophotos 2019 © Observatoire de la Côte Aquitaine)

4.3.6. Secteur d'Archilua

L'illustration suivante montre le résultat du différentiel LiDAR, sur l'ensemble du secteur d'Archilua, pour la période 2017/2019. Une seule zone est identifiée comme ayant connu sur cette période une activité significative (cf. illustrations 46 à 48). A partir de deux zones de décrochement distinctes situées sur un linéaire côtier de 20 m de large environ (l'une en partie haute de versant, la seconde en partie intermédiaire et partie basse), un départ de 140 m³ de matériaux au total s'est produit entre 2017 et 2018. Lors du levé de 2018, près d'un tiers de ce volume avait été remobilisé par l'océan.

Le ratio entre surface de décrochement et volume mobilisé traduit une épaisseur de masse mobilisée inférieure à 1 m en moyenne.

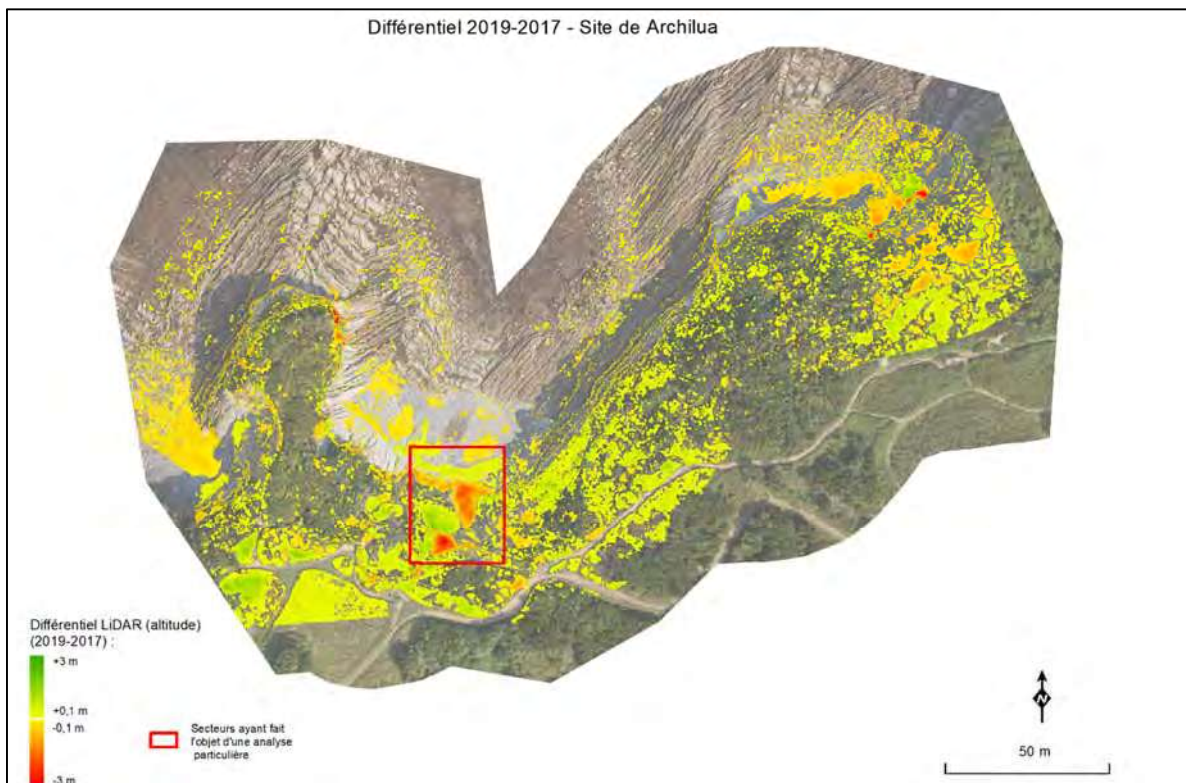


Illustration 46 - Différentiel LiDAR 2019-2017, dans le secteur d'Archilua (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

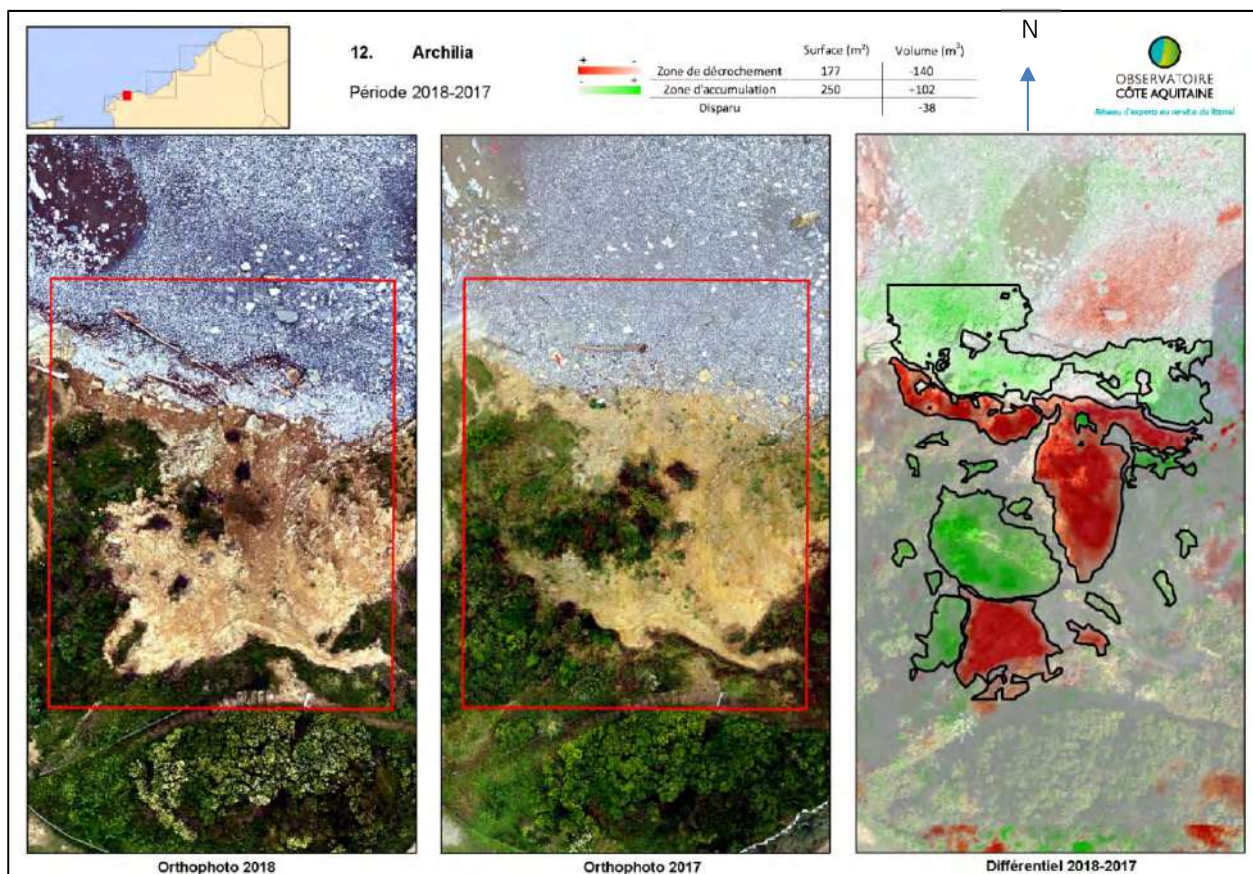


Illustration 47 - Zone de glissement dans le secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données LiDAR des campagnes 2017 et 2018 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 48 - Vue MESH 3D de la zone en glissement (période 2017/2019) dans le secteur d'Archilua - épaisseur croissante du vert au rouge (© Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

4.3.7. Secteur de la Pile d'Assiettes

L'illustration suivante montre le résultat du différentiel LiDAR, sur l'ensemble du secteur de la Pile d'Assiettes, pour la période 2017/2019. Le secteur ciblé sur l'illustration 49 n'a pas connu de mouvement d'ampleur, mais a néanmoins été analysé sous CloudCompare®.

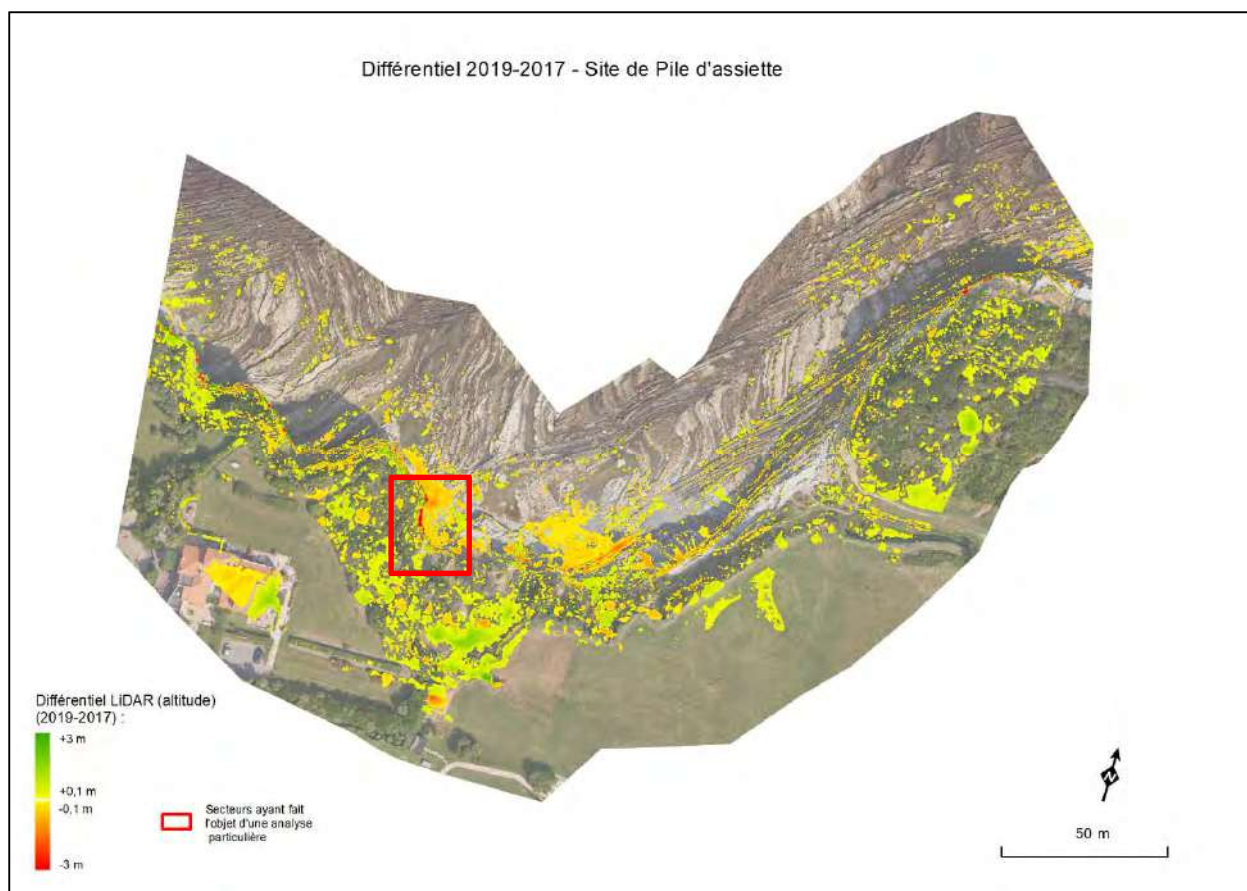


Illustration 49 - Différentiel LiDAR 2019-2017, dans le secteur de la Pile d'Assiettes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

Le secteur correspond à une cavité située en partie inférieure de falaise, latéralement à distance modérée de la zone touchée par le glissement de la Réserve, en février 2016. Il s'agit de la principale zone de surplomb identifiée sur le linéaire de la Pile d'Assiettes ; deux autres zones surplombantes, de moindre importance, étant présentes à faible distance au nord-ouest (cf. illustration 50). La partie supérieure de falaise, à forte pente, voire subverticale, abrite un couvert végétal assez dense. Celui-ci réduit le nombre de points LiDAR sur la roche. D'autre part, le levé n'a permis de couvrir que partiellement l'entrée de la cavité (pour des raisons de distance et/ou orientation). Ainsi, le nombre de points levés s'est avéré trop limité pour effectuer une analyse fine de ces surplombs et pour en donner une estimation fiable du volume.

A l'avenir il conviendra de prévoir un levé plus fin dans ces zones.



Illustration 50 - Cavités de la Pile d'Assiettes : à gauche, celle discutée dans ce chapitre. Vue du nuage de points 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

L'exploitation du MNT à partir du SIG offre une représentation « aplatie » de la falaise au droit de ce surplomb. Néanmoins, le différentiel LiDAR présente une perte de volume qui peut être considérée comme représentative d'un réel départ de matériaux (Illustration 51).

La zone considérée étant d'une taille de 2 m² environ, elle est trop réduite pour permettre de poursuivre l'analyse à partir des jeux de données LiDAR. Les orthophotographies de 2017 et 2019 ne permettent pas non plus de quantifier plus précisément cette observation, le décalage observé peut en effet, à cette échelle-là, provenir d'un défaut d'orthorectification.

En considérant cette surface réelle, pour une épaisseur de roche en surplomb de 1 m, le volume perdu serait alors de 2 m³. Ce volume pourrait correspondre à un accroissement de la zone surplombante (chute de dalles au toit). Ce point mérite une attention particulière, notamment à l'occasion du prochain levé, dans la mesure où la poursuite de ce processus pourrait être de nature à entraîner une déstabilisation plus large des terrains sus-jacents.

Cet exemple, montre que l'approche présentée dans cette étude peut mettre en avant des suspicions d'indices de mouvements de terrain de faible emprise, qui nécessitent une visite de terrain pour être confirmés, dans l'éventualité où le site est accessible. Un survol photo par drone peut également apporter des éléments d'observations complémentaires au diagnostic.

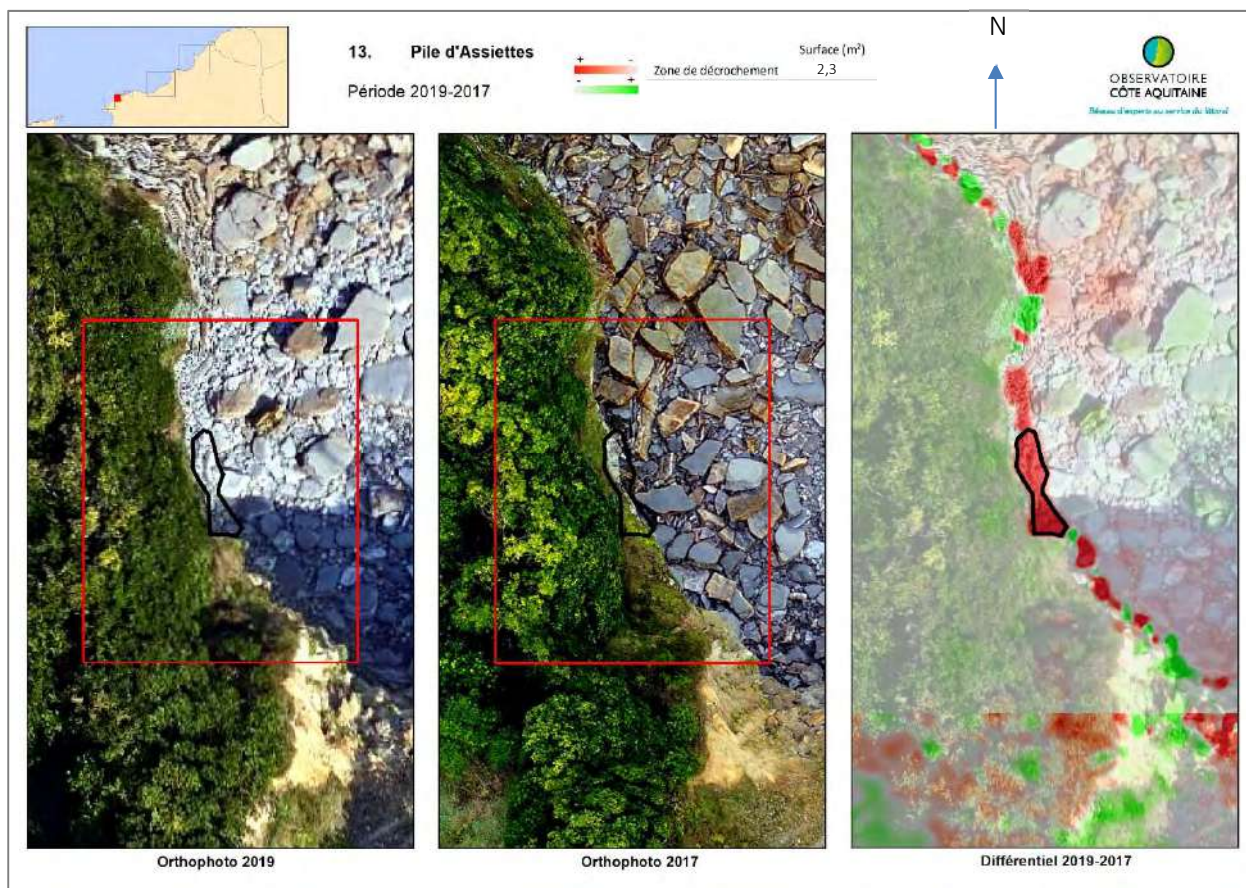


Illustration 51 – Analyse, couplant la photo-interprétation des orthophotos et le différentiel LiDAR, du surplomb d'une cavité de la Pile d'Assiettes (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

4.3.8. Secteur de Sainte-Barbe

L'illustration suivante montre le résultat du différentiel LiDAR, sur l'ensemble du secteur de Sainte-Barbe, pour la période 2017/2019. Deux zones sont identifiées comme ayant connu, au cours de cette période, une activité significative : l'une vers la Pointe Sainte-Barbe et la seconde plus au nord (cf. illustration 50).

Dans la 1^{ère} zone (cf. illustrations 52, à gauche), les données font apparaître le départ de 73 m³ à partir de bancs rocheux (flyschs peu altérés, fracturés) constitutifs de la partie haute de la falaise. L'analyse des photographies obliques et orthophotos disponibles met en valeur la rupture de dalles calcaires situées en tête de paroi verticale, à une dizaine de mètres de hauteur environ, pour un volume de 59 m³. Le décrochement s'est produit sur environ 10 m de large. Il est vraisemblable que cette instabilité ait été favorisée par les discontinuités affectant les dalles calcaires de flyschs et possiblement par la rupture d'un surplomb.

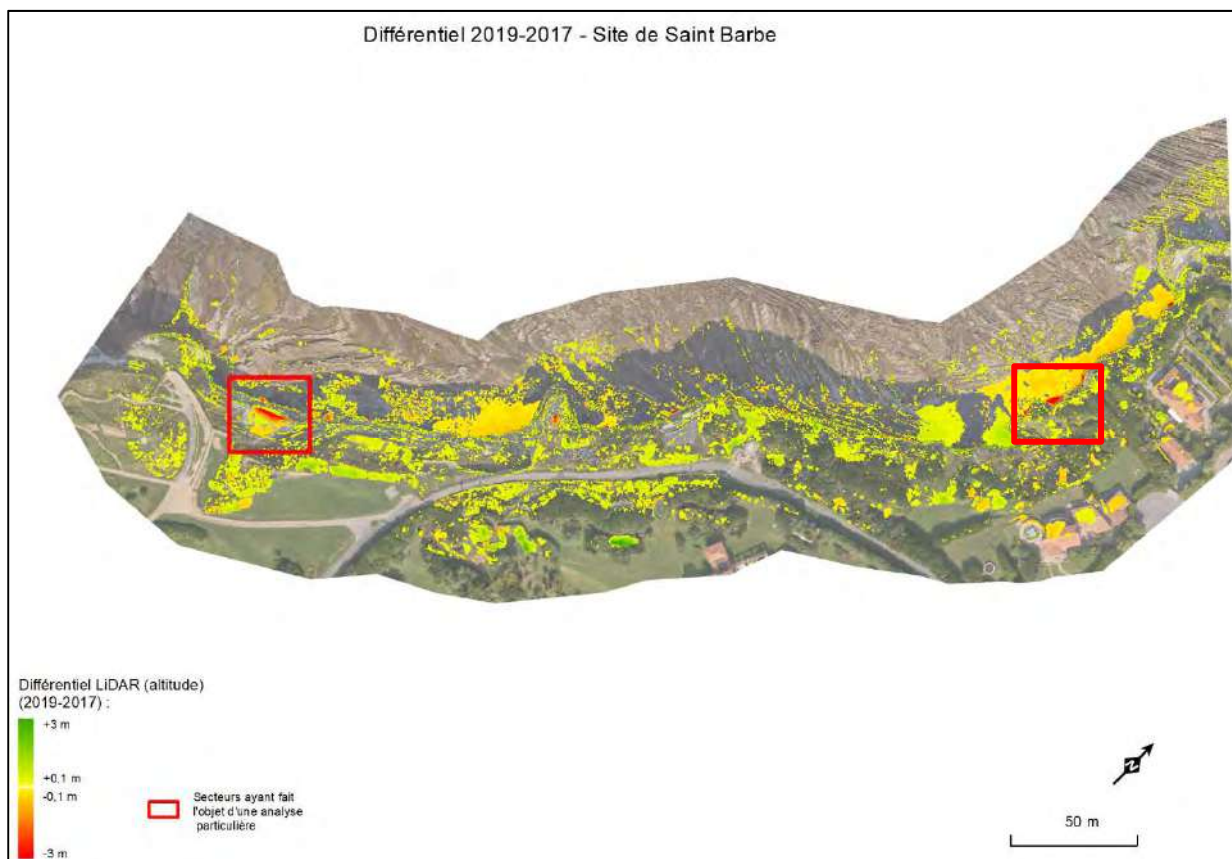


Illustration 52 - Différentiel LiDAR 2019-2017, dans le secteur de Sainte-Barbe (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

En contrehaut de cette rupture, dans une zone de moindre pente, l'analyse des données fait également apparaître un départ de matériaux pour un volume de 14 m^3 . Ce mouvement de terrain pourrait correspondre au « déblaiement » et à la remobilisation de blocs et dalles rocheuses fracturées situés sur le replat, associés à des matériaux d'altération (cf. illustrations 53 à 55).

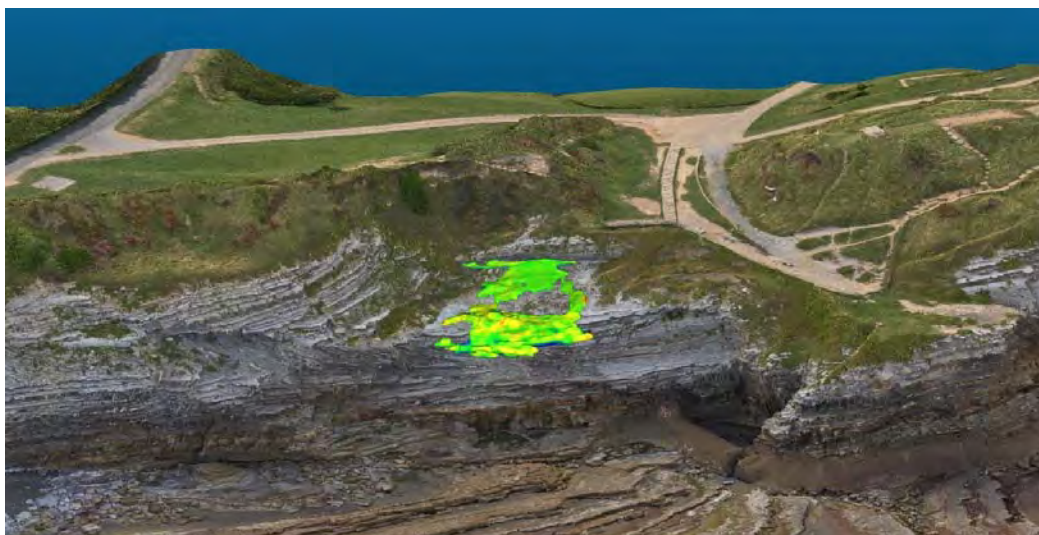


Illustration 53 - Vue MESH 3D de la zone identifiée à l'ouest du secteur de Sainte-Barbe, pour la période 2017/2019 - épaisseur croissante du vert au rouge (©Observatoire de la Côte Aquitaine)

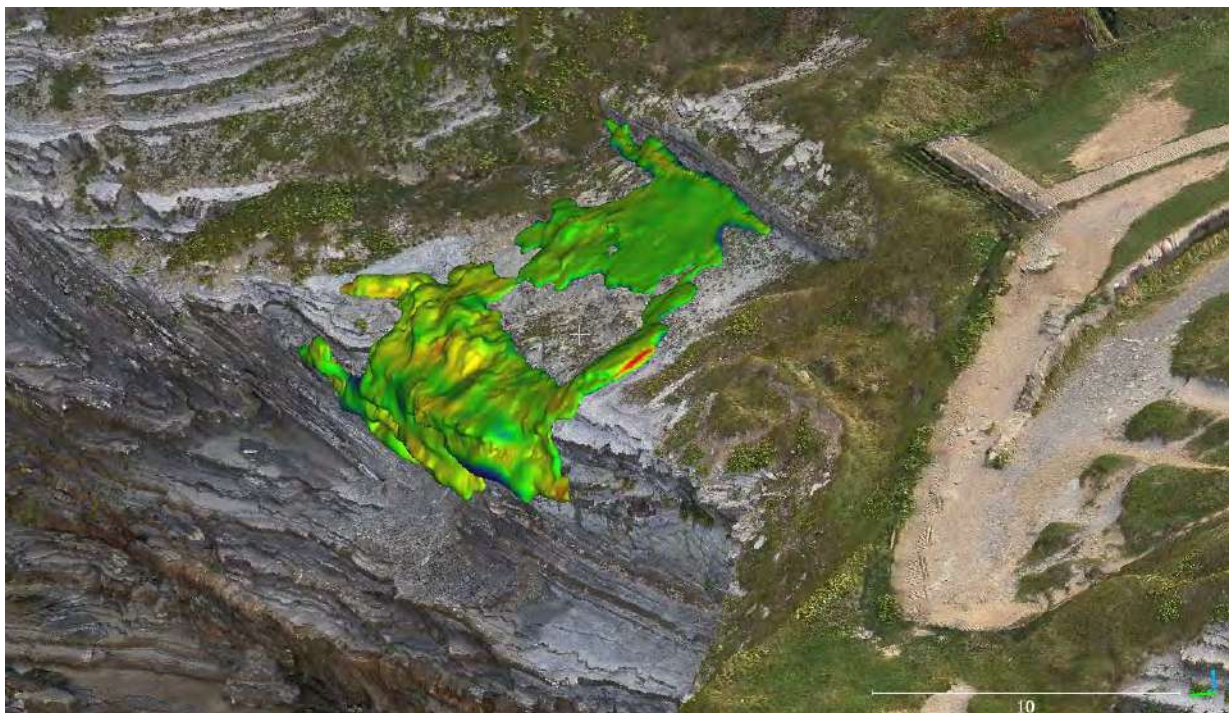


Illustration 54 - Vue MESH 3D (zoomée) de la zone identifiée à l'ouest du secteur de Sainte-Barbe, pour la période 2017/2019 - épaisseur croissante du vert au rouge (©Observatoire de la Côte Aquitaine)

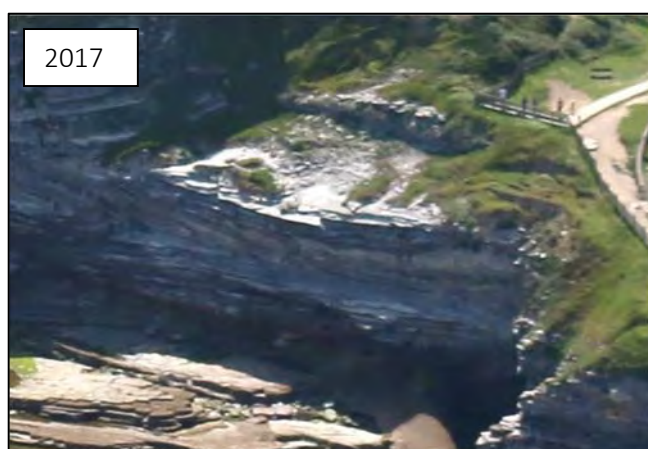


Illustration 55 - Rupture de dalles de flyschs, survenue entre 2017 et 2019, pour un volume de 59 m^3 , dans le secteur de Sainte-Barbe (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2017 et 2019)



Illustration 56 - Dalles concernées par la rupture survenue entre 2017 et 2019, pour un volume de 59 m³, dans le secteur de Sainte-Barbe (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2016)

La seconde zone, plus au nord (cf. illustrations 52 à droite et 57), fait apparaître un départ de matériaux de 25 m³ sur une surface de décrochement de 90 m². La très faible épaisseur mobilisée par l'instabilité et sa localisation suggèrent le décrochement de bancs rocheux en tête de paroi subverticale, associé au départ de matériaux altérés en arrière-plan.

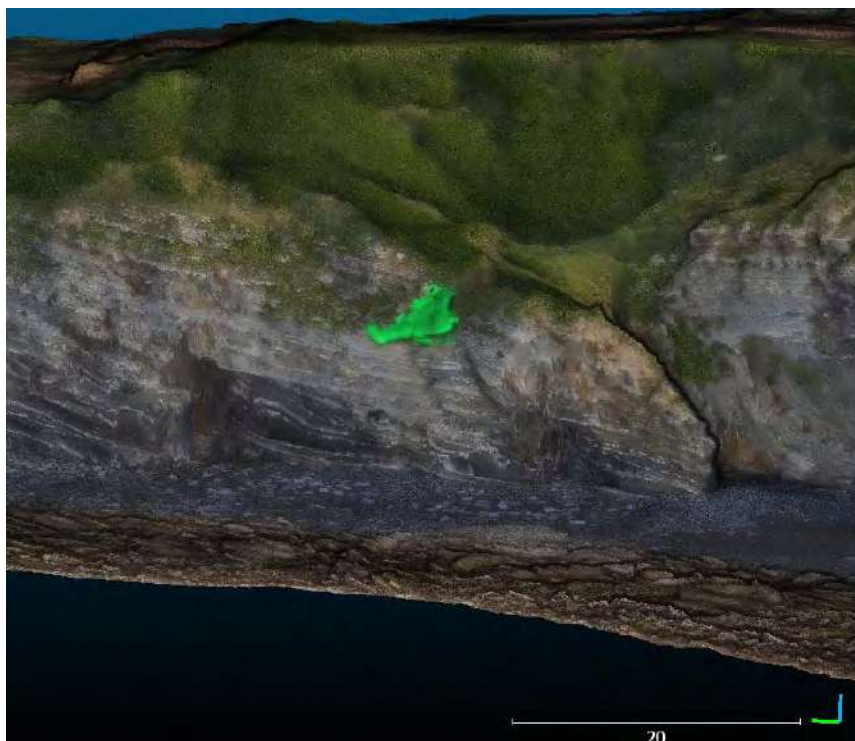


Illustration 57 - Vue MESH 3D de la zone identifiée au nord du secteur de Sainte-Barbe, pour la période 2018/2019 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap 2019)

5. Conclusion

Le présent rapport porte sur l'analyse des données LiDAR (et MESH 3D), acquises par moyens héliportés depuis 2017, sur la partie « côte rocheuse » du littoral de Saint-Jean-de-Luz (de Sénix à la Pointe Sainte-Barbe). Ces données ont été acquises par l'Observatoire de la Côte Aquitaine en réponse à une demande d'appui de la Ville de Saint-Jean-de-Luz exprimée à l'automne 2016.

L'analyse diachronique de ces jeux de données a permis de montrer la capacité d'identifier des instabilités de terrain, d'ampleur plus ou moins importante, dans les contextes dissemblables caractérisant le littoral luzien. Cette analyse nécessite idéalement de pouvoir associer données LiDAR et MESH 3D d'une part et photographies obliques d'autre part, pour faciliter à la fois l'identification des instabilités, leur interprétation et pouvoir en donner une estimation quant aux volumes mobilisés. De ce point de vue, la résolution du MNT produit par ces acquisitions « locales », bien supérieure à celle du MNT issu du levé régional (10 cm contre 1 m) permet une finesse accrue intéressante au regard de l'activité enregistrée sur le littoral, souvent marquée par des phénomènes de faible intensité (encoches érosives superficielles dans les altérites, rupture de dalles rocheuses de faible extension, etc.).

Sur la base de l'analyse des données 2017 à 2019, il est recommandé de poursuivre le suivi opéré en renouvelant l'acquisition, avant la saison hivernale 2020 / 2021. On conseillera de procéder à une nouvelle acquisition LiDAR oblique par hélicoptère (couplée à la réalisation d'un MESH 3D et à la prise d'orthophotographies), pour les secteurs compris entre Sénix et Archilua. Pour les secteurs de la Pile d'Assiettes et de Sainte-Barbe (marqués par la subverticalité des profils côtiers et par la présence de surplombs), on recommandera de procéder à une acquisition par drone. Ce vecteur offre une plus grande souplesse dans le plan de vol, permettant d'optimiser la prise de points sur les singularités topographiques tels que les cavités et autres rentrants caractérisant les flyschs.

La poursuite de ce suivi topographique, qui permet d'identifier et de quantifier l'évolution du trait de côte et dont la fréquence au-delà du levé 2021 recommandé ci-dessus devra être précisée sur la base de l'analyse qui en sera faite, doit être considérée comme un maillon essentiel, mais non suffisant, dans l'optique de la mise en place d'un protocole de suivi du recul du trait de côte, en particulier en contexte de falaise rocheuse. Il doit idéalement s'inscrire dans une stratégie d'acquisition plus large, associant différentes méthodes dont la complémentarité et la souplesse de mise en œuvre doivent permettre de s'adapter aux différentes situations (par exemple déclenchement non programmé d'une acquisition à la suite d'un événement tempétueux) et à la diversité des caractéristiques du littoral luzien à suivre (secteurs accessibles / non accessibles, zones fortement végétalisées / peu végétalisées, zones fortement aménagées / naturelles, etc.). Ce protocole doit ainsi pouvoir s'appuyer sur d'autres types d'acquisition, tels que les reconnaissances pédestres, la prise de clichés photographiques (depuis le sol, prises de vues obliques par moyens aériens, notamment drone), levés topographiques ponctuels au DGPS, levés scanner 3D en cas par exemple d'impact aux ouvrages, etc.

Par ailleurs, on notera qu'en parallèle de l'acquisition des données topographiques, des données infrarouges et thermiques avaient été acquises en 2018 lors du levé Hélimap. Non réalisé à ce jour, l'exploitation de ces données devra être réalisée de façon à apprécier leur potentiel vis-à-vis de la problématique d'érosion des falaises rocheuses de Saint-Jean-de-Luz, en compléments des autres moyens et outils déployés, et ce à travers la capacité de ces données à mettre en évidence des arrivées d'eau continentale.

6. Glossaire

Aérotriangulation : méthode permettant de déterminer la position et l'orientation dans l'espace d'un ensemble de clichés en recouvrement* d'une prise de vues photogrammétrique, à l'aide de mesures de points homologues* identifiés sur des images différentes et d'un nombre réduit de points d'appui* visibles sur les images et mesurés aussi sur le terrain (*définition IGN – Descriptif de contenu de la BD Ortho® v2.0 et de l'Ortho HR® v1.0*).

Classification : méthode permettant de regrouper sous forme de classes des éléments ayant les mêmes caractéristiques ou des caractéristiques proches (pas de regroupement spatial). S'applique à des nuages de points ou à des images. Diffère de la segmentation*.

Corrélation : en photogrammétrique*, technique consistant à mettre en correspondance les différents points communs d'un couple ou d'un bloc d'images.

Indice : en télédétection, méthode permettant d'associer des calculs entre les bandes spectrales (par exemple, visibles, infra-rouges) d'une image à des caractéristiques environnementales. Il existe de nombreux indices sur la végétation, le sol, la présence d'eau. Par exemple, l'indice NDVI (indice de végétation par différence normalisé) indique la densité de végétation ; il utilise les canaux Rouge et Proche-Infra-Rouge d'une image : $NDVI = \frac{(PIR - R)}{(PIR + R)}$

LAS : format d'échange standard appliqué à un nuage de points, utilisé initialement lors de travaux LiDAR*, mais étendu à d'autres types d'acquisition. Le formalisme des données est décrit dans les documents de spécification de l'ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) : <https://www.asprs.org/committee-general/laser-las-file-format-exchange-activities.html>. Outre les coordonnées x, y et z des points et leur temps GPS, il contient entre autres des informations sur l'intensité du retour de l'impulsion laser, le numéro du retour.

LiDAR : Light Detection and Ranging; technique permettant de récupérer rapidement et précisément des mesures en trois dimensions de la surface de la Terre à partir de l'étude du retour (ou des retours) d'un faisceau lumineux émis par un système laser.

MESH 3D : représentation en trois dimensions sous forme de sommets, d'arêtes et de faces réalisée à partir d'un nuage de points obtenu par différentes techniques d'acquisition (LiDAR*, photogrammétrique*). Il peut être texturé avec plaquage des images si une acquisition photogrammétrique a été effectuée.

MNS : Modèle Numérique de Surface : représentation de la topographie du sol et des éléments présents en surface, comme la végétation, le bâti, ...

MNT : Modèle Numérique de Terrain : représentation topographique du terrain correspondant au sol uniquement (végétation et bâti écartés).

Modèle 3D texturé : modèle 3D sur lequel sont plaquées les images obtenues par une acquisition photogrammétrique, rendant le modèle 3D plus réaliste par la présence des vraies couleurs en chaque point du modèle.

Orthophotographie : image photographique numérique du terrain, prise de haut, déformée de telle sorte qu'on ait une relation affine entre la colonne (resp. la ligne) de tout pixel et la coordonnée X (resp. Y) du détail terrain correspondant à ce pixel dans un système de projection donné. Les déformations correspondent à des modifications dues au relief du terrain, à l'inclinaison de l'axe de prise de vues et à la distorsion de l'objectif. Une orthophotographie peut toutefois présenter des déformations résiduelles et des manques de couverture d'autant moins négligeables que les pentes du terrain sont plus fortes et

les superstructures plus nombreuses et élevées (*définition IGN – Descriptif de contenu de la BD Ortho® v2.0 et de l'Ortho HR® v1.0*).

Orthorectification : traitements appliqués à une image dans le but de corriger les déformations liées au relief du terrain, à l'inclinaison de l'axe de prise de vue et à la distorsion de l'objectif.

Photogrammétrie : technique permettant de reconstituer une scène en 3D à partir de l'assemblage de nombreuses images acquises sur un territoire. Se base sur le principe de la stéréoscopie*.

Points d'appui : éléments naturels ou artificiels (cibles) clairement identifiables sur le terrain et sur des prises de vue, mesurés au DGPS sur le terrain et intervenant dans le calcul de modèles pour le géoréférencement des nuages de points et modèles.

Points de contrôle : éléments naturels ou artificiels (cibles) reconnaissables sur des photos servant uniquement à la vérification du modèle calculé.

Points homologues : points correspondants d'un objet présents sur au moins deux images différentes.

Précision : liée au matériel utilisé, elle donne une information sur le décalage entre une valeur mesurée par l'appareil et la valeur réelle.

Radiométrie : correspond au contenu colorimétrique des images, retranscrivant l'énergie physique reçue par les capteurs. Des traitements radiométriques peuvent être appliqués au moment de l'élaboration d'orthophotographies* afin de gommer ou d'atténuer des défauts liés aux conditions de la prises de vue (reflets, ombres, nuages,...) et s'approcher des couleurs naturelles et homogénéiser le rendu sur l'ensemble des images.

Recouvrement : partie commune à deux prises de vue. Est exprimé en pourcentage. On parle de recouvrement longitudinal pour désigner un recouvrement entre deux images consécutivement appartenant à un même axe de vol. Le recouvrement transversal désigne lui le taux de recouvrement entre deux images appartenant à deux axes de vol voisins.

Résolution : taille équivalente sur le terrain du côté d'un pixel d'un raster (image numérique, modèle numérique de terrain*, orthophotographie*).

Segmentation : séparation des objets spatialement selon des caractéristiques comme l'intensité de retour d'un faisceau laser (nuages de points), la couleur d'un pixel (image). S'applique à des nuages de points ou à des images. Différent de la classification*.

Stéréoscopie : technique permettant de reconstituer le relief d'un objet pris sur deux clichés sous deux angles différents à hauteur ou distance constante de cet objet. Elle se base sur le fait que la perception humaine du relief se forme dans le cerveau lorsqu'il reconstitue une seule image à partir de la perception des deux images planes et différentes provenant de chaque œil.

7. Bibliographie

Ulvoas B., Garnier C., Mallet C. (2018). Modélisation 3D des falaises pour l'analyse et le suivi de secteurs stratégiques du littoral de Saint-Jean-de-Luz. Note de l'Observatoire de la Côte Aquitaine, NT_AQI_2018_007 en date du 10/04/2018

Garnier C., Millescamps B. (2014) – Agglomération Sud Pays Basque : Evaluation de l'aléa érosion côtière en 2023 et 2043 dans le cadre de la stratégie locale de gestion de la bande côtière. Rapport final. BRGM/RP-63588-FR, 116 p., 63 fig., 2 tableaux, 3 ann.

Fernandez-Diaz, J.C., Carter, W.E., Shrestha, R.L., Glennie, C.L., (Octobre 2014), Now You See It... Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica, in Remote Sens., 6, p.9951-10001, doi:10.3390/rs6109951

Peter-Borie M. (2008) - Les massifs rocheux crétacés supérieurs du Labourd occidental : processus d'altération et instabilités littorales. Bordeaux. Université Bordeaux 1, Doctorat spécialité Géoressources, Patrimoines et Environnements : 369 p.

Aubié S., Mathon C. (2006a) - Mission d'assistance à maître d'ouvrage pour la commune de Saint- Jean-de-Luz. Avis sur les sites de la Pointe Sainte-Barbe, la baie d'Erromardie et de l'anse de Lafitenia, rapport intermédiaire BRGM/RP-54609-FR, 17 illus., 32 p.

Genna A., Capdeville J.P., Mallet C. et Deshayes L. (2004) - Observatoire de la Côte Aquitaine – Etude géologique simplifiée de la Côte Basque. Rapport BRGM/RP-53258-FR, 42 p.

Razin P. (1989) - Evolution tecto-sédimentaire alpine des Pyrénées Basques à l'ouest de la transformante de Pamplona. Doctorat, Université de Bordeaux III, 464 p.

Annexe 1 - Demande d'appui technique de la Ville de Saint-Jean-de-Luz



SAINT JEAN DE LUZ

BRGM Aquitaine	516
Courrier arrivé le:	21/09/16
A suivre par:	SGR
Copie pour Inf:	CC
N° de projet:	AP/11 AG/1015
Classement:	Traité A / SGR

Directeur Général
Affaire suivie par :
Emmanuel BRUZY
Tél. 05 59 51 64 42
Emmanuel.bruzy@saintjeandeluz.fr

Saint-Jean-de-Luz, le 22 septembre 2016

Observation de la Côte Atlantique
Service Géologique Régional
Aquitain du BRGM
Parc technologique Europarc
24 Avenue Léonard de Vinci
33600 Pessac

Objet : Mission d'expertise au titre de l'observatoire de la côte aquitaine
N/Réf : DGS /EB /CA/N°
V/Réf. :

Monsieur le Directeur,

Pour faire suite à l'entretien entre nos services, je vous confirme le souhait de la ville de Saint-Jean-de-Luz de bénéficier du soutien de l'observatoire de la côte aquitaine.

Nous souhaiterions que ce suivi porte :

- Analyse et évolution de certains secteurs stratégiques du littoral de Saint-Jean-de-Luz dont vous trouverez la cartographie jointe en annexe
- Suivi de l'évolution et préconisation envisagée en vue d'assurer la sécurité (définition du périmètre de sécurité, mesures de confortement etc.)

Afin de pouvoir mettre en avant ce suivi, la commune est bien entendu prête à mettre en place un partenariat comprenant des moyens humains et financiers si nécessaire.

Je vous prie de croire, Monsieur le Directeur, à l'expression de mes salutations distinguées.

Peyuco Duhart
Maire de Saint-Jean-de-Luz
Président de l'Agglomération Sud Pays basque



Hôtel de Ville
Place Louis XIV
B.P. 229
64 502 Saint-Jean-de-Luz Cedex

Herriko Etxea
Luis XIV Plaza
B.P. 229
64 502 Donibane Cedex

www.saintjeandeluz.fr

Annexe 2- Consultation de prestataires pour la mission 2017

***Cahier des charges pour la réalisation d'un
modèle numérique de terrain (MNT) du littoral
de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées-Atlantiques)***

13 juillet 2017



Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2017

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs	3
2. Nature de la prestation demandée	3
3. Emprise	4
4. Méthode	6
5. Calendrier	7
6. Livrables	8

Liste des annexes

Photographies obliques des sites	9
Fiche simplifiée de saisie des métadonnées	15

1. Contexte et objectifs

De l'embouchure de l'estuaire de la Gironde au Nord, jusqu'à celui de la Bidassoa, au Sud, le littoral aquitain est un territoire d'exception, attractif, préservé, et confronté aux phénomènes d'érosion et de submersion marine, des phénomènes naturels qui peuvent parfois revêtir un caractère exceptionnel, comme ce fut le cas des tempêtes de l'hiver 2013-2014.

Créé en 1996, l'Observatoire de la Côte Aquitaine a pour rôle de mettre au service des acteurs du littoral un outil scientifique et technique d'aide à la décision, à la gestion et à la prévention des risques côtiers. Cet Observatoire, co-porté par le BRGM et l'ONF est chargé de suivre l'érosion et la submersion sur le littoral régional.

C'est dans ce cadre que la ville de Saint-Jean-de-Luz a sollicité le BRGM pour :

- l'analyse et l'évolution de quelques sites stratégiques de son littoral
- le suivi de l'évolution et préconisation envisagée en vue d'assurer la sécurité (définition du périmètre de sécurité, mesures de confortement).

L'Observatoire dispose de données topographiques issues de différentes campagnes d'acquisitions LIDAR et photogrammétriques sur l'ensemble du littoral aquitain, complétées par des levés DGPS sur la côte mais aussi à l'intérieur des terres (voirie), le but étant, d'une part de suivre l'évolution du littoral : volumes de sable déplacés, évolution du trait de côte, zones d'érosion et d'accrétion, d'autre part de comparer les différentes sources de données.

Afin d'obtenir des suivis plus précis sur quelques sites stratégiques, une campagne de levés topographiques haute-résolution par stéréoscopie (photogrammétrie) au moyen d'un appareil aéroporté type hélicoptère, ULM, drone,... est alors envisagée dans le courant de l'été 2017 sur le littoral luzien.

2. Nature de la prestation demandée

Le BRGM fait appel à un sous-traitant pour l'élaboration d'une représentation 3D de quelques sites stratégiques de la côte rocheuse de la commune de Saint-Jean-de-Luz. Le rendu attendu est un MNT haute-résolution accompagné d'un nuage de points. L'acquisition de ces données topographiques se fera par stéréoscopie (photogrammétrie) au moyen d'un appareil aéroporté type hélicoptère, ULM, drone.

Le choix du sous-traitant se fera après consultation de différentes entreprises de manière à définir la méthode d'acquisition en fonction des contraintes techniques (facilité de mise en œuvre, précision des mesures, etc.) et financières.

3. Emprise

Le périmètre d'étude concerne quelques portions stratégiques de la frange littorale de la commune de Saint-Jean-de-Luz, représentant un linéaire total d'environ 4km, et comprenant la falaise, au moins 30m en arrière de la tête de falaise et l'estran rocheux (ou la plage).

Les sites concernés sont, d'Ouest en Est :

- Sainte-Barbe (500ml)
- Pile d'assiettes (350ml)
- Archilua (300ml)
- Erromardie (1300ml)
- Lafitenia (700ml)
- Mayarko (550ml)
- et Senix (200ml).

Les linéaires approximatifs sont mentionnés entre parenthèses à titre indicatif.



Les falaises peuvent avoir une hauteur variable de quelques dizaines de mètres, allant jusqu'à une quarantaine de mètres.

A titre indicatif, voici une approximation de la hauteur maximale de la falaise sur le linéaire à prospecter :

Site	Linéaire	Elévation maximale
Sainte-Barbe	500m	40m
Pile d'assiettes	350m	20m
Archilua	300m	40m
Erromardie	1300m	40m
Lafitenia	700m	40m
Mayarko	550m	35-40m
Senix	200m	30m

Les cartes suivantes offrent un zoom plus important sur les zones à prospecter. Des photographiques aériennes obliques figurent également en annexe 1.

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2017



Secteurs de Sainte-Barbe, Pile d'assiettes et Archilua



Secteur d'Erromardie

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2017



Secteurs de Lafitenia, Mayarko et Senix

4. Méthode

Les acquisitions topographiques seront sous-traitées et produites par levé stéréoscopique aéroporté type hélicoptère, ULM, drone,....

Le vol s'effectuera à marée basse et dans la mesure du possible en période de gros coefficients (supérieurs à 70).

L'acquisition se fera par visées obliques afin d'avoir une vision précise du pan de falaise depuis son pied jusqu'à sa tête, en incluant l'estran et l'arrière de la falaise jusqu'à 30m.

Si nécessaire, celle-ci sera complétée par des prises de vue verticales afin d'observer précisément la limite estran-falaise, ainsi que l'estran et l'arrière de la falaise.

La méthode précise d'acquisition sera définie avec le prestataire en fonction des contraintes techniques et financières. Le MNT ainsi produit présentera une précision centimétrique et à minima une résolution minimale de 10 cm. Le nuage de points devra présenter une densité d'au moins 50 points/m². Ils seront réalisés dans le système géodésique RGF93 et avec la projection Lambert 93 ; le référentiel altimétrique sera le NGF IGN69.

En parallèle, le BRGM réalisera une analyse de la qualité des produits fournis en les comparant avec les données DGPS acquises sur le terrain à la même période (côte, milieu urbain).

Toute information ou traitement complémentaire optionnel permettant une meilleure interprétation des données acquises (ex. ; quantification des incertitudes, interprétation géologique, etc.) sera considéré lors de l'analyse des offres dans la mesure où le coût complémentaire reste marginal par rapport à la proposition générale.

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2017

5. Calendrier

La campagne d'acquisition devra être menée au plus tard en septembre 2017, en période de gros coefficient (coefficients >70) et à basse mer.

Ci-dessous, à titre informatif sont entourées les périodes correspondant à ces critères : <http://maree.info/141/calendrier>.

Les livrables (cf. paragraphe suivant) devront être remis au plus tard au 31/10/2017.

Calendrier des marées

43°24' N
1°39' W

Saint-Jean-de-Luz

← Juillet 2017	→ Août 2017	→ Septembre 2017	→ Octobre 2017 →
01 S Thierry	01 M Alphonse	01 V Gilles	01 D Thérèse...
02 D Marbrien	02 M Julien E.	02 S Ingrid	02 L Léger
03 L Thomas	03 J Lydie	03 D Grégoire	03 M Gérard
04 M Florent	04 V Jean-Marie V.	04 L Rosalie	04 M François
05 M Antoine	05 S Abel	05 M Reissa	05 J Fleur
06 J Mariette	06 D Transfiguration	06 M Bertrand	06 V Bruno
07 V Raoul	07 L Gaëtan	07 J Reine	07 S Serge
08 S Thibault	08 M Dominique	08 V Nativité	08 D Pélage
09 D Amandine	09 M Amour	09 S Alan	09 L Denis
10 L Union	10 J Laurent	10 D Inès	10 M Gilsan
11 M Benoît	11 V Cloire	11 L Adélaïde	11 M Finis
12 M Olivier	12 S Clémence	12 M Agelinaire	12 J Wilfried
13 J Henri Joël	13 D Hippolyte	13 M Aimé	13 V Gérard
14 V Fête Nationale	14 L Evard	14 J Croix Glorieuse	14 S Juste
15 S Donald	15 M Assomption	15 V Roland	15 D Thérèse...
16 D NO du M. Camé	16 M Arnel	16 S Edith	16 L Edvige
17 L Charlotte	17 J Hyacinthe	17 D Renaud	17 M Baudouin
18 M Frédéric	18 V Hélène	18 L Nodège	18 M Luc
19 M Arsène	19 S Jean-Eudes	19 M Emile	19 J René
20 J Marina	20 D Bernard	20 M Davy	20 V Adeline
21 V Victor	21 L Christophe	21 J Mathieu	21 S Céline
22 S Marie-Madeleine	22 M Fabrice	22 V Maurice	22 D Elodie
23 D Brigitte	23 M Rose de L.	23 S Astorre	23 L Jean...
24 L Christine	24 J Barthélémy	24 D Théo	24 M Florentin
25 M Jacques	25 V Louis	25 L Hermann	25 M Crépin
26 M Anne-Joachim	26 S Natacha	26 M Corne, Damien	26 J Dimitri
27 J Nathalie	27 D Monique	27 M Vincent de P.	27 V Eneline
28 V Samson	28 L Augustin	28 J Veneslas	28 S Jude
29 S Marthe	29 M Sabine	29 V Mich., Gab., Ray	29 D Narcisse
30 D Juliette	30 M Faivre	30 S Jérôme	30 L Bienvenu
31 L Ignace de L.	31 J Anatole		31 M Quentin

13 juillet 2017

7

6. Livrables

Les livrables attendus comporteront :

- des données brutes :
 - o images brutes accompagnées des métadonnées (résolution (en cohérence avec le produit ortho : 10 cm/px minimum), information sur la caméra, position GPS)
 - o plan de vol au format ESRI Shapefile
 - o un fichier contenant le nom des photos, leur position XYZ et orientations Omega, Phi, Kappa
- des données traitées :
 - o nuages de points 3D d'une densité de 50 points/m² au format LAS
 - o MNT maillé au pas d'au moins de 10 cm segmenté en dalles régulières au format GeoTIFF (32 bit float) avec fichier TFW associé et polygone d'emprise au format ESRI Shapefile et MapInfo TAB
 - o MNT ombré avec un éclaircissement 315/45 au format GeoTIFF (TIF + TFW) et polygone d'emprise au format ESRI Shapefile et MapInfo TAB
 - o couche de pente (en degré et pourcentage) au format GeoTIFF (TIF + TFW) et polygone d'emprise au format ESRI Shapefile et MapInfo TAB
 - o courbes de niveau au pas de 1m au format ESRI Shapefile et MapInfo TAB
 - o orthophotos (verticales) au format JPG (+JGW) mosaïquées à une résolution d'au moins 10 cm par pixel par dalles avec un plan d'assemblage au format ESRI Shapefile et MapInfo TAB
 - o orthophotos du pan de la falaise au format JPG (+JGW) mosaïquées à une résolution d'au moins 10 cm par pixel

Toutes les données seront géoréférencées en RGF93/Lambert 93 - NGF IGN69.

Elles seront accompagnées de leurs métadonnées saisies via le formulaire simplifié qui sera transmis au prestataire (voir annexe 2).

Un **compte-rendu de mission** est également attendu. Celui-ci devra présenter la méthode d'acquisition des données topographiques aéroportées et les méthodes de production des différents produits demandés : MNT, orthophotos, nuages de points 3D et produits dérivés.

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2017

Annexe 1

Photographies obliques des sites

© Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2016

13 juillet 2017

9

Annexe 2

Fiche simplifiée de saisie des métadonnées

<http://www.geocatalogue.fr/#!HelpCatalogue>

13 juillet 2017

15

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2017

GeoCatalogue / Fiche Métadonnée selon la norme 19115 pour les jeux de données cartographiques

  																													
Saisie des métadonnées d'une donnée géographique																													
* la saisie des informations marquées d'un astérisque est obligatoire dans le cas d'une donnée concernée par INSPIRE																													
Description																													
*Intitulé de la ressource :																													
*Résumé de la ressource :																													
*Identificateur de ressource unique :																													
*Catégorie thématique	(1) (2) (3)																												
*Thème INSPIRE :																													
*Rectangle de délimitation géographique : <table border="1"> <tr> <td colspan="4">Rectangle de l'emprise des données en degrés décimaux (par défaut, France métropolitaine)</td> </tr> <tr> <td>Région :</td> <td> </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Département :</td> <td> </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Commune (A-L) :</td> <td> </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Commune (L-Z) :</td> <td> </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lat N/S</td> <td> </td> <td>51.69</td> <td>41.36</td> </tr> <tr> <td>Long O/E</td> <td> </td> <td>-5.78</td> <td>9.50</td> </tr> </table>		Rectangle de l'emprise des données en degrés décimaux (par défaut, France métropolitaine)				Région :				Département :				Commune (A-L) :				Commune (L-Z) :				Lat N/S		51.69	41.36	Long O/E		-5.78	9.50
Rectangle de l'emprise des données en degrés décimaux (par défaut, France métropolitaine)																													
Région :																													
Département :																													
Commune (A-L) :																													
Commune (L-Z) :																													
Lat N/S		51.69	41.36																										
Long O/E		-5.78	9.50																										
*Référence temporelle																													
Date de la ressource (création) :	jj/mm/aaaa																												
Date de la ressource (publication) :	jj/mm/aaaa																												
Date de la ressource (dernière révision) :	jj/mm/aaaa																												
Étendue temporelle :	(début) jj/mm/aaaa (fin) jj/mm/aaaa																												
*Généalogie de la ressource																													
Contact(s)																													
*Contact sur les métadonnées																													
Organisme :																													
Adresse :																													
Ville :																													

Pour tout renseignement complémentaire : contact@geocatalogue.fr

V1.0 - Copyright BRGM

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2017

GeoCatalogue / Fiche Métadonnée selon la norme 19115 pour les jeux de données cartographiques

Code postal :		
e-mail :		
Responsable de la ressource		
Organisme :		
Adresse :		
Ville :		
Code postal :		
e-mail :		
Rôle :		
Contraintes en matière d'accès et d'utilisation de la ressource		
Limitations d'accès public		
Restrictions d'accès public au sens d'INSPIRE	Valeurs autorisées mais insuffisant à établir la base légale des limitations d'accès public	contraintes de sécurité
Les conditions d'accès et d'utilisation décrivent les conditions applicables à l'accès et à l'utilisation des séries et des services de données géographiques et, le cas échéant, les frais correspondants. Si aucune condition ne s'applique à l'accès à la ressource et à son utilisation, on utilisera la mention « aucune condition ne s'applique ». Si les conditions sont inconnues, on utilisera la mention « conditions inconnues ».		
Conditions applicables à l'accès et à l'utilisation de la ressource :		
Mots-clés décrivant la ressource		
Séparer les mots-clés par des ;		
Accès à la ressource		
	Adresse URL	Nom
Lien Internet		
Lien vers service de visualisation		
Lien vers le téléchargement		
Informations sur les métadonnées		
Langue des métadonnées :		
Type de ressource :	Série de données	
Limite d'utilisation des métadonnées :		
Informations complémentaires sur la ressource		
Langue décrivant la ressource :	français	
Jeux de caractères de la ressource :		

Pour tout renseignement complémentaire : contact@geocatalogue.fr

V1.0 - Copyright BRGM

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2017

GeoCatalogue / Fiche Métadonnée selon la norme 15115 pour les jeux de données cartographiques

Type de représentation spatiale :		
Référentiel de coordonnées :		
Encodage de la ressource :	Version du format :	
Système de référence temporelle :	gregorien	
Conférence topologique :		
Résolution spatiale		
Résolution indiquée en échelle : 1/		
OU Résolution indiquée en taille de pixels (mètres) :		
Autres organismes		
Autre contact sur la ressource		
Organisme :		
Adresse :		
Ville :		
Code postal :		
e-mail :		
Conformité INSPIRE		
Titre de la spécification :		
Date de publication :	jj/mm/aaaa	
La ressource est-elle conforme à la spécification? :		
Non évalué		

Pour tout renseignement complémentaire : contact@geocatalogue.fr

V1.0 - Copyright BRGM

Annexe 3- Comptes rendus de mission Hélimap (2017, 2018 et 2019)

BRGM
Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine
Parc Technologique Europarc
24, Avenue Léonard de Vinci
33600 Pessac



Rapport d'acquisition LiDAR/Photogrammetrique

Zone: Falaises de Saint-Jean-de-Luz

Référence : N° 32130

Date du relevé	07 Nov 2017 - 12:45-13:30
	Mardi 07 Novembre 2017 ST-JEAN DE LUZ 07/11/2017 12:45-13:30



Géoréférencement

Effectué sur la base d'une station de référence locale
Station(s) de rattachement : BIAZ et SGOA

Contrôle par 8 points de contrôle (GCP).



Système de coordonnées de livraison : Lambert 93 / IGN69 (EPSG : 2154)

Données Livrées selon variante 2 dans notre offre			
Dossier	Contenu	Format	Nom
D1_CAD	Polymétrie, emplacements blocs LIDAR et zones pour outputs MNT	DWG	SJLU_193_IQN69_Repartition.dwg
D2_LAS_BRUT	Nuage de points brut, classé (classe 2: sol, classe 19: falaise), partagé en blocs	LAS 1.2, zippé (LAZ)	SJLU_193_IQN69_000.laz
	Outil de décompression	.exe / .bat	laspowers decompress_LAZ.bat Reddme_LAS2P.txt
D3_DTM / D3-1_MNT_Thinned	MNT, dédensifié avec routine a thinning, reparté en 5 zones	ASCII XYZ	SJLU_193_IQN69_MNT_ZoneX.xyz
D3_DTM / D3-2_MNT_Grille	Grille régulière 10 cm	GEOTIFF 32bit (tif)	SJLU_193_IQN69_MNT_Grille_10cm_ZoneX.tif
D3_DTM / D3-3_Mesh3D	Mesh 3D, non texturé, reparté en 5 zones	PLY/OBJ+MTL	SJLU_193_IQN69_Mesh_3D_ZoneX.ply SJLU_193_IQN69_Mesh_3D_ZoneX.obj SJLU_193_IQN69_Mesh_3D_ZoneX.mtl
	Mesh 3D, texturé, reparté en 5 zones	OBJ+JPG+MTL (archive RAR)	SJLU_193_IQN69_Mesh_3D_ZoneX_textured.jpg SJLU_193_IQN69_Mesh_3D_ZoneX_textured.mtl SJLU_193_IQN69_Mesh_3D_ZoneX_textured.obj
Pour des raisons de taille, les fichiers sont parfois partagés en blocs / zones			
Procédures			
Méthode de filtrage des points	Les points ont été filtrés par des routines automatiques puis un contrôle manuel et correction a été apportée selon l'ordre suivant : • Elimination des points aberrants (sous le sol, air) • Extraction automatique du sol • Contrôle manuel du sol par édition du model ombré • Classification des falaises (surplombs) en classe 19 • Dé-densification des points du sol avec une routine de type thinning		
Extraction des GRID	Les grilles à maille régulière (MNT de type RASTER) sont obtenues par projection du maillage régulier sur le MNT triangulé		
Précision des données	La précision des données est donnée à l'issue du calcul GPS-Inertiel. Elle est au niveau des points au sol de ~5 cm en altimétrie et planimétrie.		

DU/07.12.2017



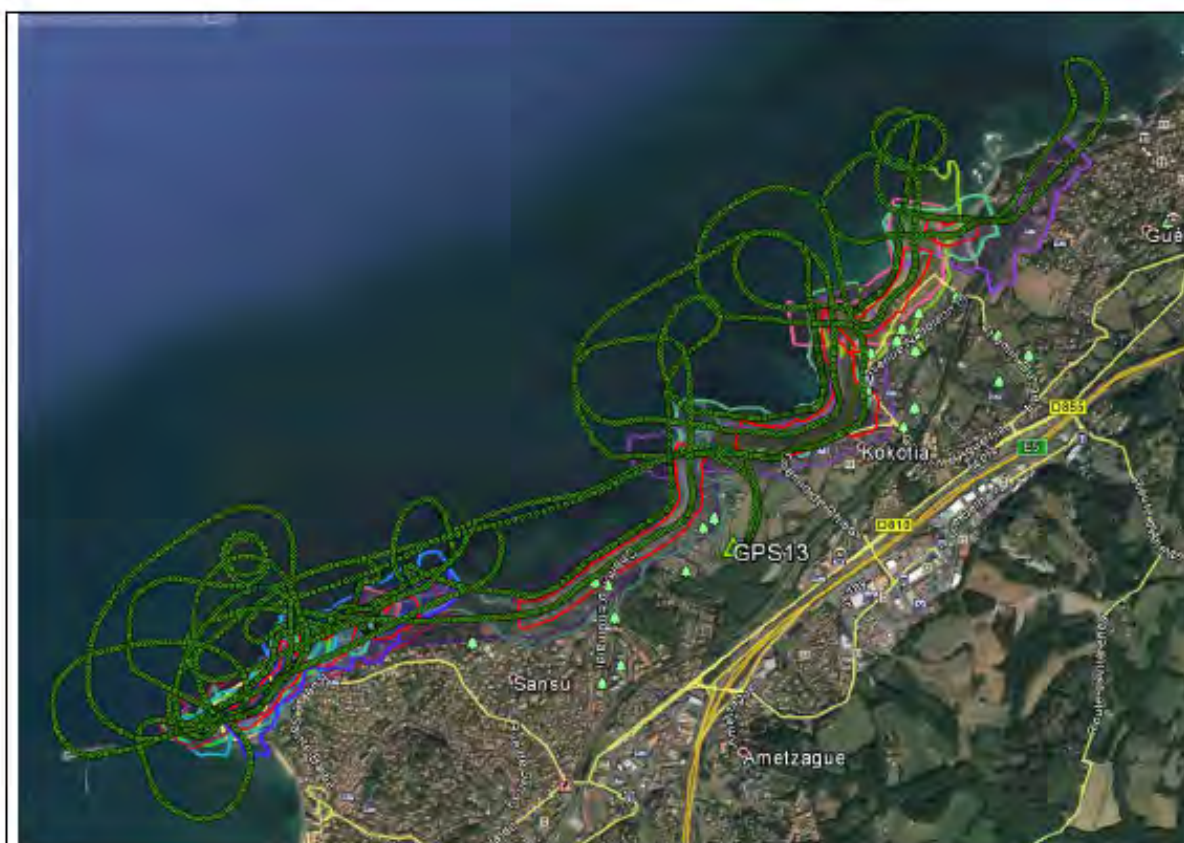
Rapport d'acquisition LiDAR

Zone: Saint Jean de Luz 2018

Référence : N°32358

J. Vallet, Helimap System SA

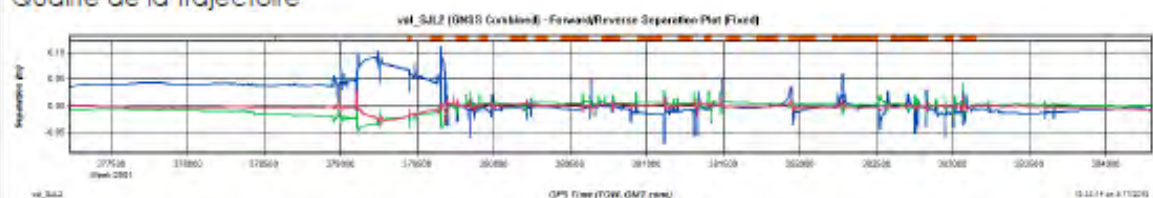
Date du relevé	17.05.2018 - 10:15 - 11:30
Météo	Couvert
Caractéristiques vol	Vol Vertical : à 180m/sol et oblique à ~100 m avec Helimap System IV Taille moyenne de pixel de ~2 cm pour RGB+NIR et 20-25cm pour le thermique Densité de points de ~70pts/m ² Précision (1 sigma) : <5 cm en altimétrie, ~5cm en planimétrie
Données Acquis	Nuage de point laser avec densité moyenne de ~80 pts/m ² Image numérique 100 Mpix RGB + NIR Nombre d'images: 735 images RGB + NIR Images thermiques : 2101 images thermiques
Système d'acquisition utilisé	Scannér Laser : Riegl VQ580 • PRR 380kHz, fréquence mesure 190'000 pts/sec • Angle de fauchée : 60 Camera Phase On IXUR1000 + IXURN1000 • Focale 51mm • 100Mpix Camera FLIR SC655 • Focale 13mm • 640x480 pixels
Périmètre d'étude en rouge et trajectoire en vert. Les autres polygones de couleur représentent la couverture LiDAR pour chaque ligne de vol	



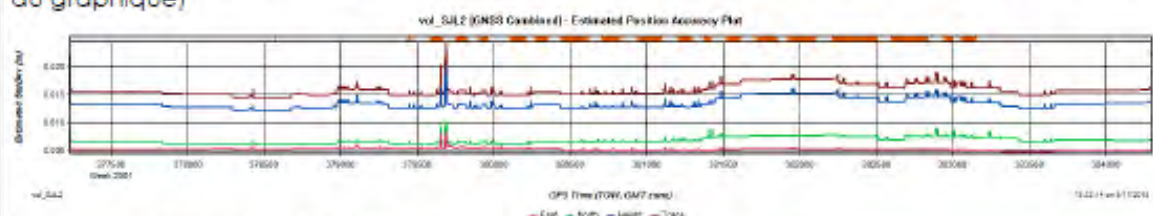
Géoréférencement

Effectué sur la base GPS13 basé dans le camping
 Station(s) de rattachement : RGP, BIAZ et SCOA
 Système de coordonnées de livraison : Lambert 93 – RAF09
 (IGN69)

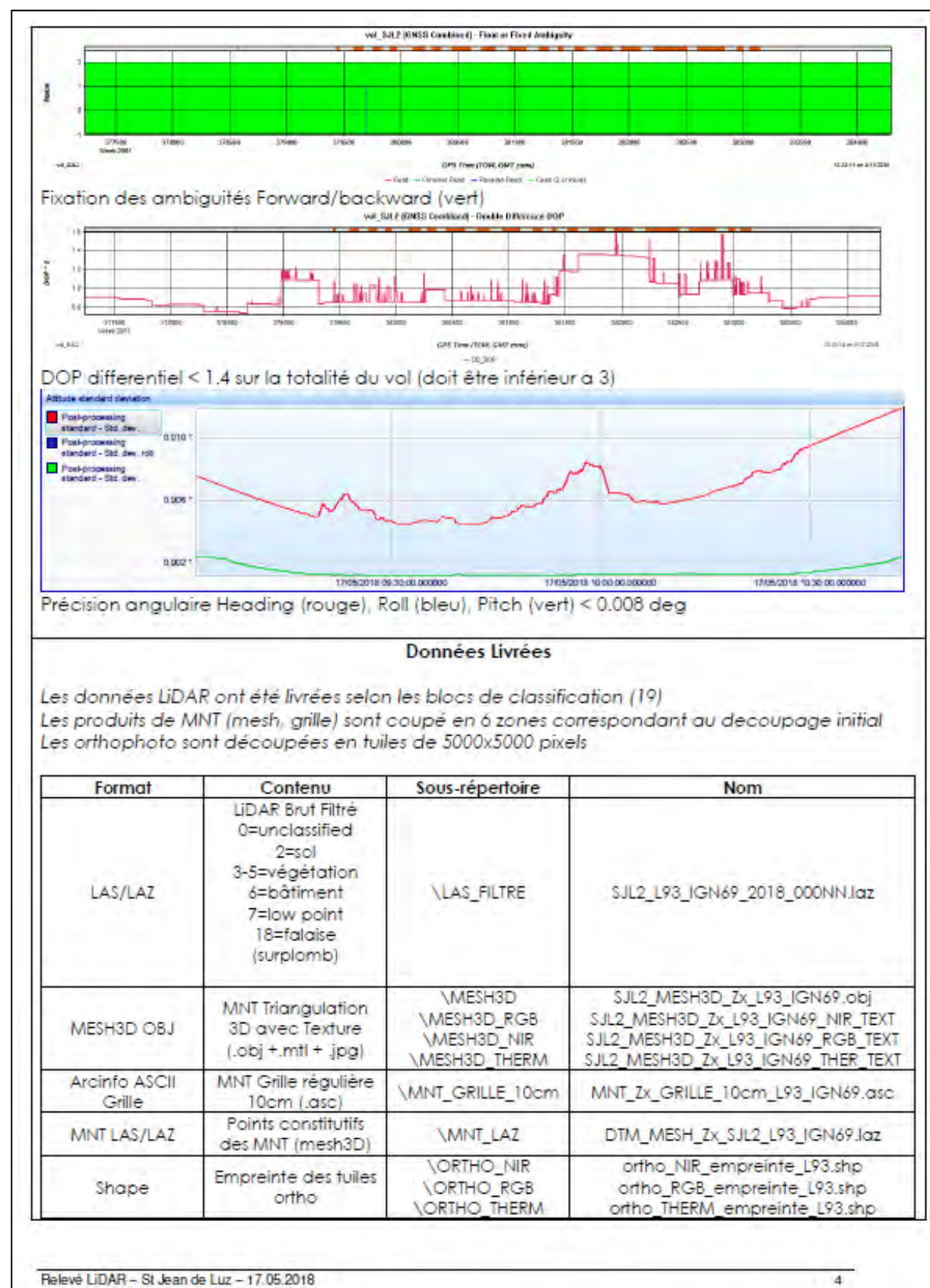
Qualité de la trajectoire



Séparation forward-backward du GNSS <5cm sur la totalité de l'acquisition (trait rouge en haut du graphique)



Précision de la position XYZ du capteur <3cm sur la totalité du vol



JPG/JGW	Orthophoto NIR, RGB, THERMIQUE Pixel 5cm NIR+RGB Pixel 25cm pour Thermique	\\ORTHO_NIR \\ORTHO_RGB \\ORTHO_THERM	ortho_SJL2_5cm_NIR_L93_-X-Y.jpg ortho_SJL2_5cm_RGB_L93_-X-Y.jpg ortho_SJL2_25cm_THERM_L93_-X-Y.jpg												
Procédures															
Méthode de filtrage des points	Les points ont été filtrés par des routines automatiques puis un contrôle manuel et des corrections ont été apportés selon l'ordre suivant : • Elimination des points aberrants (sous le sol, air) • Extraction automatique du sol • Contrôle manuel du sol par édition du model ombré • Dé-densification des points du sol avec une routine de type thinning (grille de 10cm et tolérance de 10m)														
Extraction des GRID	Les grilles à maille régulière (MNT/MNS de type RASTER) sont obtenues par projection du maillage régulier sur le MNT triangulé en 2.5D (sans surplomb).														
Précision des données	La précision absolue a été estimée sur les points de calage placés en 2017. sur les 6 points posés, 1 n'était plus visible (peinture effacée). Sur les 5 points restant, les écarts résiduels ne dépassaient pas 3.9cm en Z. Mais le plus important est la précision relative par rapport au modèle de 2017. Afin de garantir le meilleur calage relatif, nous avons identifié (Ortho + LiDAR) et mesuré environ 70 points de liaison altimétrique où le terrain est resté a priori invariant. Sur les 70 points mesurés (dont les 5 points de calage), la statistique de différence altimétrique est : <table> <tr> <td>Average dz</td> <td>+0.007</td> </tr> <tr> <td>Minimum dz</td> <td>-0.030</td> </tr> <tr> <td>Maximum dz</td> <td>+0.060</td> </tr> <tr> <td>Average magnitude</td> <td>0.014</td> </tr> <tr> <td>Root mean square</td> <td>0.019</td> </tr> <tr> <td>Std deviation</td> <td>0.018</td> </tr> </table> Nous avons alors créé un modèle de déformation altimétrique 2018-->2017 Ci-dessous figure le modèle de déformation appliqué à 2018:			Average dz	+0.007	Minimum dz	-0.030	Maximum dz	+0.060	Average magnitude	0.014	Root mean square	0.019	Std deviation	0.018
Average dz	+0.007														
Minimum dz	-0.030														
Maximum dz	+0.060														
Average magnitude	0.014														
Root mean square	0.019														
Std deviation	0.018														

Relevé LiDAR – St Jean de Luz – 17.05.2018

5

	Number	Easting	Northing	2017	2018	Dz
	TCP01	322226.170	6266786.760	21.214	21.220	+0.006
	TCP02	322219.610	6266781.820	21.360	21.350	-0.010
	TCP03	322292.440	6266842.040	28.880	28.890	+0.010
	TCP04	322287.480	6266900.250	-0.280	-0.290	-0.010
	TCP05	322208.850	6266849.510	-0.150	-0.150	+0.000
	TCP06	322171.690	6266846.090	-0.580	-0.580	+0.000
	TCP07	322342.350	6266909.130	33.010	33.020	+0.010
	TCP08	322372.780	6266953.050	35.460	35.470	+0.010
	TCP09	322337.050	6266964.180	0.280	0.280	+0.000
	TCP11	322479.590	6267022.510	32.620	32.630	+0.010
	TCP12	322467.490	6267087.440	26.330	26.340	+0.010
	TCP13	322431.940	6267100.530	0.530	0.540	+0.010
	TCP15	322497.620	6267160.670	3.770	3.780	+0.010
	TCP16	322518.200	6267084.400	26.700	26.720	+0.020
	TCP17	322565.330	6267089.340	28.300	28.310	+0.010
	TCP18	322559.460	6267156.510	0.000	-0.010	-0.010
	TCP19	322645.780	6267143.260	0.050	0.040	-0.010
	TCP20	322704.210	6267215.700	-0.250	-0.270	-0.020
	TCP21	322698.730	6267208.930	-0.240	-0.240	+0.000
	TCP22	322829.340	6267272.040	-0.460	-0.470	-0.010
	TCP23	322818.150	6267266.380	-0.120	-0.130	-0.010
	TCP24	322879.400	6267199.550	24.030	24.080	+0.050
	TCP25	323019.940	6267338.360	0.170	0.170	+0.000
	TCP26	323009.150	6267331.000	0.160	0.180	+0.020
	TCP27	322983.300	6267226.370	35.850	35.860	+0.010
	TCP30	323580.680	6267200.999	33.622	33.600	-0.022
	TCP31	323792.230	6267259.630	25.460	25.470	+0.010
	TCP32	323718.850	6267226.030	22.540	22.510	-0.030
	TCP34	324038.990	6267418.460	6.220	6.220	+0.000
	TCP35	324075.780	6267452.660	5.680	5.680	+0.000
	TCP36	324059.910	6267466.840	7.440	7.430	-0.010
	TCP37	323947.160	6267360.160	15.640	15.660	+0.020
	TCP38	323938.980	6267431.160	1.670	1.680	+0.010
	TCP39	324271.930	6267576.810	7.390	7.380	-0.010
	TCP40	324270.780	6267574.820	7.370	7.360	-0.010
	TCP41	324224.260	6267510.060	4.450	4.450	+0.000
	TCP42	324168.790	6267519.760	6.370	6.370	+0.000
	TCP43	324337.490	6267607.330	6.660	6.670	+0.010
	TCP44	324385.780	6267633.970	10.350	10.340	-0.010
	TCP45	324455.750	6267700.470	17.690	17.670	-0.020
	TCP46	324400.420	6267815.340	1.400	1.390	-0.010
	TCP47	324402.360	6267943.930	1.110	1.110	+0.000
	TCP48	324423.080	6267991.680	2.450	2.460	+0.010
	TCP49	324744.940	6268062.390	2.570	2.580	+0.010
	TCP50	324859.070	6268042.530	2.210	2.230	+0.020
	TCP51	325008.080	6267999.720	31.870	31.870	+0.000
	TCP52	325208.400	6268121.440	22.070	22.080	+0.010
	TCP54	325212.800	6268391.410	11.790	11.790	+0.000
	TCP56	325157.330	6268541.060	2.550	2.580	+0.030
	TCP57	325189.610	6268579.940	3.520	3.510	-0.010
	TCP58	325252.190	6268563.730	1.210	1.200	-0.010
	TCP59	325473.030	6268591.810	19.650	19.670	+0.020
	TCP60	325504.350	6268648.320	9.590	9.630	+0.040
	TCP61	325550.710	6268684.800	20.870	20.900	+0.030
	TCP62	325551.160	6268684.170	20.870	20.900	+0.030
	TCP63	325570.360	6268849.960	0.970	1.020	+0.050
	TCP64	325581.920	6268877.500	0.780	0.840	+0.060
	TCP65	325694.120	6268992.780	2.530	2.560	+0.030
	TCP66	325762.700	6268916.610	14.950	14.980	+0.030
	TCP67	325769.210	6268924.600	14.480	14.480	+0.000
	TCP68	325854.620	6268951.070	6.910	6.940	+0.030
	TCP69	325854.420	6268948.720	6.910	6.930	+0.020



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1086 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0208
<http://www.helimap.ch>

**Projet Nr 32715
Saint Jean de Luz 2019**

Relevé LiDAR-Photogrammétrique : Rapport

10.10.2019

Remo Ackermann
Helimap System SA



Saint Jean de Luz – 30.08.2019



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1086 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0209
<http://www.helimap.ch>

Table des matières

1. Données de base	3
1.1 Objectif du relevé	3
1.2 Points de Référence et système de coordonnées	3
2. Acquisition de données	3
2.1 Paramètres de l'acquisition	3
2.2 Géoréférencement des vols	3
3. Traitement des données	4
3.1 Calcul de trajectoire	4
Session 1 :	4
4. Précision des données	6
4.1 Précision LiDAR	6
4.2 Précision images	8
5. Données Livrées	9



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0209
<http://www.helimap.ch>

1. Données de base

1.1 Objectif du relevé

Le projet a pour but d'établir un Modèle Numérique de Terrain (MNT) haute densité du site, un maillage 3D, ainsi que de fournir une orthophoto haute résolution (5 cm) de Saint Jean de Luz.

1.2 Points de Référence et système de coordonnées

Les données ont été requises et fournies dans le système de coordonnées suivant :

Projection: RGF 93 Lambert 93 (EPSG: 2154)

Altimétrie: NGF/IGN69

2. Acquisition de données

2.1 Paramètres de l'acquisition

Les caractéristiques du vol sont les suivantes :

- Vol Vertical à ~180 m sur sol avec Helimap System® IV
- Vol oblique à ~100 m de distance de la falaise
- Fréquence d'acquisition : PRR=400kHz, Mesure=200kHz
- Vitesse d'acquisition : ~12m/s
- Taille moyenne de pixel de ~2 cm
- Densité de points de ~70 pts/m² à 180 m altitude de vol
- La largeur couverte par passage (vol vertical) est de ~200 m
- Précision (1 sigma sur surface dure) : <5 cm en altimétrie, ~5 cm en planimétrie

Les vols ont été réalisés en hélicoptère Ecureuil AS350 B2 de la société JET SYSTEMS.

Système d'acquisition utilisé : HELIMAP SYSTEM® IV

- **Scanner Laser** : Riegl ☐ VQ480i, ☐ VQ580, ☒ VQ480U, ☐ VUX1-LR, ☐ PUCK
- **Centrale Inertielle** : ☒ IXSEA AirINS, ☐ iMAR FSAS, ☐ AP20, ☐ APX15
- **Camera** : ☐ H1D22-35mm, ☒ iXM100-35mm, ☐ iXUR1000-50mm, ☐ EOS5DSR-24mm
☐ H3D50-35mm, ☐ H4D50-35mm, ☐ Sony A6000-16mm

2.2 Géoréférencement des vols

Les vols ont été réalisés en 1 jour et une session de vol résumées dans le tableau 2 :

Session ID	Date	Heure locale	Stations RPG utilisées pour le vol	Nb Images
V01	30.08.2019	09 :57 – 11 :57	SCOA, BIAZ	532

Tableau 1 : Sessions de vol et stations RPG associées



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0209
<http://www.helimap.ch>

3. Traitement des données

3.1 Calcul de trajectoire

Les trajectoires ont été calculées en mode couplage lâche : dans un premier temps, un calcul de trajectoire GNSS avec GrafNAV8.6, puis un couplage de la trajectoire GNSS avec les données Inertielles dans IXBLUE APPS.

Les résultats sont présentés ci-dessous.

Session 1 :

La localisation de la trajectoire est représentée sur le graphique 1.



Figure 1 : Trajectoire de la session. Les chiffres représentent les images.



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH 1086 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0208
<http://www.helimap.ch>

Les résultats du calcul de trajectoire GNSS sont illustrés au travers des graphiques 2a – 2c.

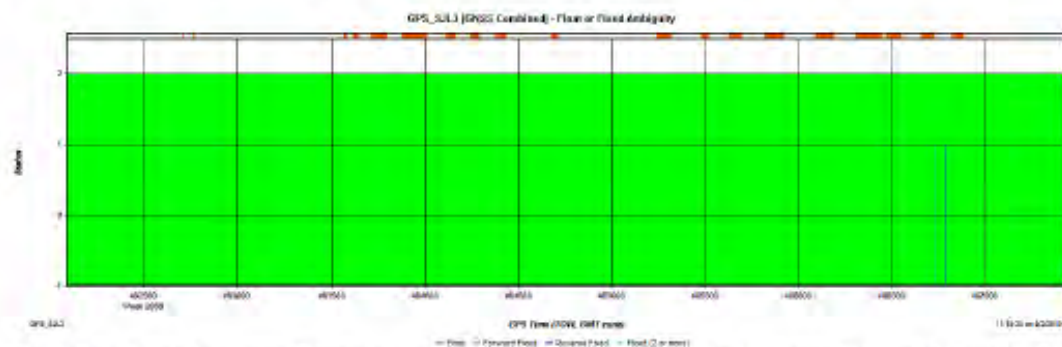


Figure 2a : Statut des ambiguïtés au cours du vol. La valeur 2 indique que les ambiguïtés sont fixées dans les 2 sens de calcul (chronologique et anti-chronologique). Les barres rouges en haut du graphique illustrent la position temporelle de chaque prise de vue (images) et donc caractérisent les lignes de vol.

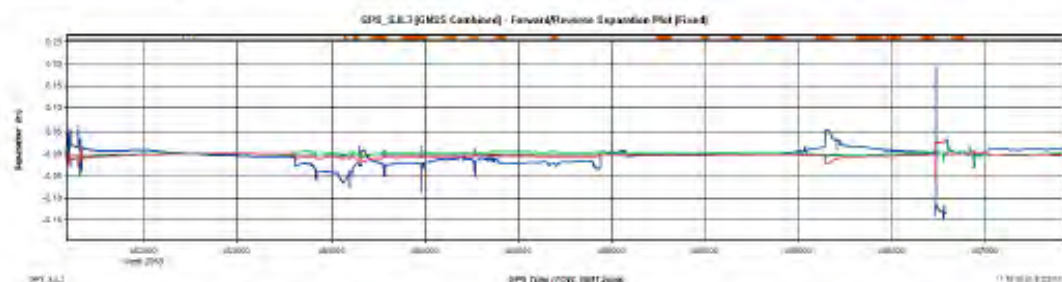


Figure 2b : Ce graphique illustre la différence entre la solution chronologique et la solution anti-chronologique. Une différence inférieure à 5-10cm est garante d'une bonne qualité de la trajectoire.

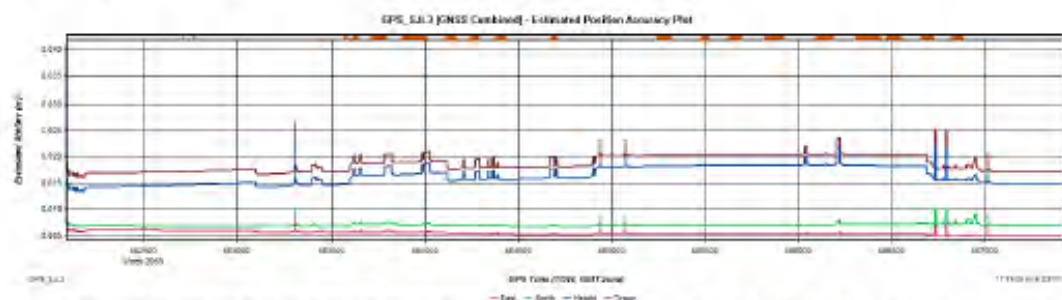


Figure 2c : Ce graphique illustre la précision estimée de la trajectoire en m. En vert et rouge sont représentées les composantes planimétriques, en bleu, la composante altimétrique.

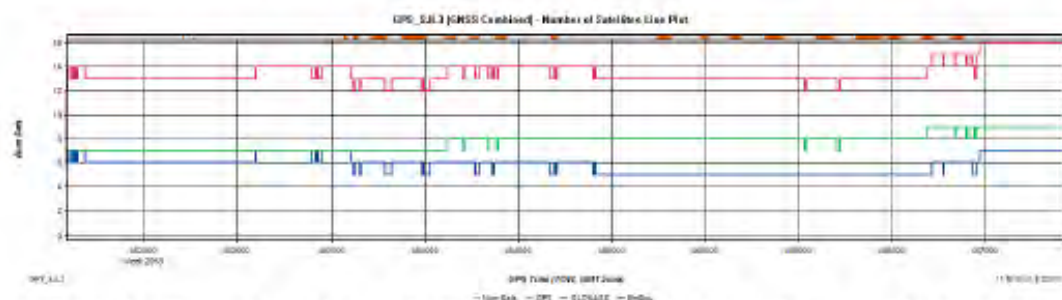


Figure 2d : Ce graphique illustre le nombre de satellites mesurés (GPS, GLONASS ou combiné) par le rover.



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH 1066 Epsalinges
T: +41 21 766 0202
F: +41 21 766 0208
<http://www.helimap.ch>

Les résultats de l'intégration GNSS-IMU sont illustrés dans le graphique 3. Ce graphique montre la précision angulaire de la trajectoire au cours du vol selon les 3 angles Roll, Pitch et Heading.



Figure 3 : Précision estimée des angles de la trajectoire : Heading, Roll, Pitch

4. Précision des données

4.1 Précision LiDAR

La précision absolue a été estimée sur les points de calage placés en 2017 et les sur les 70 points mesurés 2018 (où le terrain est resté a priori invariant).

Sur les 70 points mesurés (dont les 5 points de calage), la statistique de différence altimétrique est :

Average dz	+0.005
Minimum dz	-0.030
Maximum dz	+0.060
Average magnitude	0.015
Root mean square	0.020
Std deviation	0.020



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH 1086 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0208
<http://www.helimap.ch>

Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
TCP62	326162.760	6268617.760	1.390	removed	*
TCP65	326262.190	6268663.730	1.210	1.270	+0.060
TCP61	326670.360	6268999.960	0.970	1.030	+0.060
TCP68	325504.350	6268648.320	9.590	9.630	+0.040
TCP62	325581.920	6268877.500	0.780	0.820	+0.040
TCP27	323792.230	6267259.630	25.460	25.500	+0.040
TCP59	325551.160	6268684.170	20.870	20.910	+0.040
TCP48	325208.400	6268121.440	22.070	22.100	+0.030
TCP51	325212.800	6268391.410	11.790	11.820	+0.030
TCP13	322518.200	6267084.400	26.690	26.710	+0.020
TCD30	324098.990	6267418.460	6.220	6.240	+0.020
TCD69	326694.120	6268992.780	2.530	2.560	+0.020
TCD15	322497.620	6267160.670	3.770	3.790	+0.020
TCD44	324423.080	6267991.680	2.460	2.470	+0.020
TCD20	322818.180	6267266.380	-0.120	-0.100	+0.020
ICP47	326008.080	6267999.720	31.870	31.890	+0.020
ICP60	326660.710	6268684.800	20.870	20.890	+0.020
ICP28	323947.160	6267360.160	15.669	15.680	+0.011
ICP11	322467.490	6267087.440	26.330	26.340	+0.010
ICP31	324076.780	6267462.660	5.680	5.690	+0.010
ICP46	324859.070	6268042.530	2.210	2.220	+0.010
ICP54	325189.610	6268579.940	3.520	3.530	+0.010
TCD29	323938.980	6267491.160	1.670	1.680	+0.010
TCD45	324402.360	6267943.950	1.110	1.120	+0.010
TCP18	322698.730	6267208.950	-0.240	-0.230	+0.010
TCD38	324337.490	6267607.330	6.660	6.670	+0.010
TCD67	325854.620	6268951.070	6.910	6.920	+0.010
TCD21	322879.400	6267199.880	24.030	24.040	+0.010
CCD03	324118.982	6267485.802	6.463	6.470	+0.007
TCD05	322372.780	6266993.050	35.460	35.460	+0.000
ICD10	322479.690	6267022.810	32.620	32.620	+0.000
ICD12	322431.940	6267100.830	0.630	0.630	+0.000
ICP19	322704.210	6267215.700	-0.250	-0.250	+0.000
ICP34	324168.790	6267619.760	6.370	6.370	+0.000
ICP36	324270.780	6267674.920	7.370	7.370	+0.000
ICP45	324744.940	6268062.350	2.570	2.570	+0.000
ICP50	325199.460	6268317.750	1.480	1.480	+0.000
ICP66	325854.420	6268948.720	6.910	6.910	+0.000
GCP05	325502.129	6268651.915	9.096	9.090	-0.006
GCP04	325239.399	6268199.419	10.209	10.200	-0.009
TCP01	322218.800	6266781.930	21.340	21.330	-0.010
TCP04	322342.350	6266909.130	33.010	33.000	-0.010
TCD08	322292.440	6266842.040	28.880	28.870	-0.010
ICP37	324271.930	6267576.810	7.390	7.380	-0.010
ICD42	324400.420	6267818.940	1.400	1.390	-0.010
ICD64	325762.700	6268916.610	14.960	14.940	-0.010
ICD07	322287.480	6266900.250	-0.280	-0.290	-0.010
ICD02	322208.880	6266809.610	-0.160	-0.160	-0.010
ICD06	322337.080	6266964.180	0.280	0.270	-0.010
ICP32	324069.910	6267466.840	7.440	7.430	-0.010
ICP14	322666.330	6267089.340	28.300	28.290	-0.010
ICP03	322171.690	6266846.090	-0.590	-0.600	-0.010
GCP02	322702.210	6267161.919	10.122	10.110	-0.012
ICP40	324444.132	6267660.704	20.275	20.260	-0.015
GCP01	322200.471	6266811.333	18.736	18.720	-0.016
ICP16	322559.460	6267156.510	0.007	-0.010	-0.017
TCD41	324455.750	6267700.470	17.690	17.670	-0.020
TCD56	325473.030	6268591.810	19.650	19.630	-0.020
TCD22	322829.340	6267272.040	-0.460	-0.480	-0.020
TCP17	322645.780	6267143.260	0.050	0.030	-0.020
TCD09	322395.220	6267002.880	0.390	0.370	-0.020
ICD65	326769.210	6268924.600	14.480	14.450	-0.030
TCD26	323788.880	6267271.000	7.020	removed	*
ICD26	323718.880	6267226.030	22.540	removed	*
ICV23	323680.880	6267200.999	33.622	removed	*
ICD24	323680.447	6267200.723	33.622	slope	*
ICP35	324224.260	6267610.060	4.460	slope	*
ICP63	325167.330	6268991.060	2.550	slope	*

Figure 13 : Comparaison des hauteurs entre le sol triangulé et les points mesurés en 2017-2018.



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0209
<http://www.helimap.ch>

4.2 Précision images

506 images ont été acquises pendant le vol. Les images RAW ont été converties au format JPG, y compris les corrections radiométriques et la correction de distorsion symétrique radiale.

La position GPS-IMU et l'orientation des images ont été calculées en Lambert93-CC43 avec le logiciel CAMEO. La aérotriangulation a été effectuée sur 524 images à l'aide d'Agisoft Metashape afin d'améliorer l'orientation externe de l'image. Pour l'aérotriangulation, 16 points ont été sélectionnés, qui sont mesurables sur les images. Les GCP sont inclus dans le réseau en bloc et le logiciel essaie d'adapter le réseau avec un minimum de résidus aux GCPs. Le tableau montre la différence entre l'aérotriangulation par rapport aux mesures des GCP.

#Label	X/Easting	Y/Northing	Z/Altitude	Error_(m)	X_error	Y_error	Z_error
TCP05	1322559.012	2255059.612	35.460	0.0541	-0.0248	-0.0481	-0.0016
TCP13	1322703.885	2255191.403	26.690	0.0658	-0.0647	0.0101	0.0070
TCP27	1323976.575	2255371.041	25.460	0.0171	-0.0016	0.0113	0.0127
TCP28	1324131.063	2255472.061	15.669	0.0170	-0.0069	0.0145	0.0055
TCP30	1324222.636	2255530.653	6.220	0.0158	-0.0123	0.0088	0.0047
TCP31	1324259.284	2255564.963	5.680	0.0326	-0.0021	0.0303	0.0118
GCP03	1324296.898	2255598.22	6.463	0.0131	-0.0120	-0.0018	0.0049
TCP34	1324352.005	2255632.354	6.370	0.0100	0.0064	-0.0012	-0.0076
TCP35	1324407.479	2255622.855	4.450	0.0081	0.0032	0.0066	0.0034
TCP39	1324568.471	2255747.265	10.350	0.0172	0.0050	-0.0164	0.0012
GCP04	1325413.588	2256309.387	10.209	0.0425	0.0238	0.0260	-0.0238
TCP56	1325651.745	2256708.403	19.650	0.0670	0.0236	0.0583	0.0231
GCP05	1325680.616	2256768.577	9.096	0.0545	-0.0201	0.0162	-0.0481
TCP64	1325940.114	2257034.043	14.950	0.0082	0.0026	-0.0063	0.0045

Figure 10 : Comparaison des hauteurs entre le sol triangulé et le points mesuré en 2017-2018



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0209
<http://www.helimap.ch>

5. Données Livrées

Les données LiDAR ont été livrées selon les blocs de classification (19).

Les produits de MNT (mesh, grille) sont coupé en 6 zones correspondant au découpage initial.

Les orthophoto sont découpées en tuiles de 5000x5000 pixels.

Format	Contenu	Sous-répertoire	Nom
LAZ	LiDAR Brut Filtré 0=unclassified 2=sol	\01_LAZ	SJL3_L93_IGN69_2019_0000XX.laz
MESH3D OBJ	MNT Triangulation 3D avec Texture (.obj +.mtl + .jpg)	\02_MESH3D	SJL3_L93_Mesh3d_ZoneX.OBJ
GeoTIFF	MNT Grille régulière 10cm (.tiff)	\03_MNT_GRILLE_10cm	MNT_2019_Zx_GRILLE_10cm_L93_IGN69 .TIFF MNT_Zx_GRILLE_10cm_L93_IGN69_diff- 2019-2017.TIFF
MNT LAZ/XYZ	Modèle de terrain sur tout le périmètre, éclairci selon la méthode : - « Keypoints » avec une tolérance de 7 cm et les breaklines.	\04_MNT_LAZ	SJL3_2019_MNT_KPT_5cm.xyz SJL3_2019_MNT_KPT_5cm.laz
Shape	Empreinte des tuiles ortho, CAD	\05_VECTOR	SJL3_L93_2019_empreintes_ortho_5cm .shp SJL3_L93_IGN69_2019.dgn / .dwg
JPG/JGW	Orthophoto RGB Pixel 5cm	\06_ORTHO_RGB	Ortho_SJL3_2019_5cm_L93_X_Y

Méthode de filtrage des points	Les points ont été filtrés par des routines automatiques puis un contrôle manuel et des corrections ont été apportés selon l'ordre suivant : • Elimination des points aberrants (sous le sol, air) • Extraction automatique du sol • Contrôle manuel du sol par édition du model ombré • Dé-densification des points du sol avec une routine de type thinning (grille de 10cm)
Extraction des GRID	Les grilles à maille régulière (MNT/MNS de type RASTER) sont obtenues par projection du maillage régulier sur le MNT triangulé en 2.5D (sans surplomb).

		Helimap System SA Le grand chemin 73 CH-1066 Epalinges T: +41 21 785 0202 F: +41 21 785 0208 http://www.helimap.ch
Helimap system SA		
Remo Ackermann, 11/10/2019		
	Helimap System SA Le Grand-Chemin 73 CH-1066 Epalinges TVA 697819	
Rapport d'acquisition 32642 A/VCB – 11/10/2019 – Remo Ackermann		
10		



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

BRGM Nouvelle-Aquitaine
Parc Technologique Europarc
24, Avenue Léonard de Vinci
33600 Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70

A propos de l'Observatoire de la Côte Aquitaine

Véritable réseau d'experts au service du littoral, l'Observatoire de la Côte Aquitaine est chargé de suivre l'érosion et la submersion sur le littoral régional. Le BRGM ainsi que l'ONF sont les porteurs techniques du projet, financé par l'Europe (FEDER), l'État, la Région Nouvelle-Aquitaine, les départements de la Gironde, des Landes, des Pyrénées-Atlantiques, le Syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon (SIBA), le BRGM et l'ONF.

Le rôle de l'Observatoire est de mettre au service de l'ensemble des acteurs du littoral un outil scientifique et technique d'aide à la décision, à la gestion et à la prévention des risques côtiers. L'Observatoire de la Côte Aquitaine travaille en étroite collaboration avec le GIP Littoral et les universités de Bordeaux (unité mixte de recherche EPOC) et de Pau et des Pays de l'Adour (laboratoire SIAME) ainsi que le Centre de la mer de Biarritz (programme ERMMA), le Conservatoire du Littoral et le Cerema.

L'enjeu : accompagner les stratégies de développement durable de manière à prendre en compte l'évolution morphologique du littoral et les richesses de son patrimoine naturel tout en s'adaptant au changement climatique.

Les actions de l'Observatoire sont multiples : mesures, suivis, expertises, diffusion des données et information vers le grand public... www.observatoire-cote-aquitaine.fr