



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 2019 et 2020

BRGM/RP-70614-FR
Mars 2021

Auteurs : Ayache B., Garnier C., Fauny C.



Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2019 et 2020

BRGM/RP-70614-FR
Mars 2021

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM
Numéro du projet AP20BDX015

Vérificateur :

Nom : MALLET Cyril

Date : 15/03/2021

Signature :



Approbateur :

Nom : PEDRON Nicolas

Fonction : Directeur régional du BRGM
Nouvelle-Aquitaine

Date : 30/03/2021

Signature :

Le Directeur Régional
du BRGM Nouvelle - Aquitaine
Nicolas PEDRON



Auteurs : Ayache B., Garnier C., Fauny 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., Fauny C. (2021) - Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2019 et 2020. Rapport final. BRGM/RP-70614-FR, 70 p., 66 Ill., 4 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 (OCA) 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, le long des différents environnements côtiers du littoral régional.

C'est dans ce contexte que la ville de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées-Atlantiques) a sollicité le BRGM, à l'automne 2016 (cf. annexe 1), au titre de l'OCA 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 cette étude, l'OCA a mis en œuvre des méthodes de suivi de l'évolution du littoral plus adaptées à l'environnement étudié (côte rocheuse) par rapport aux levés régionaux, qu'il réalise régulièrement, notamment afin d'améliorer la précision qualitative et, autant que possible, quantitative des données mesurées. Pour cela, quatre levés lidar topographiques aéroportés ont été réalisés au droit des falaises de la commune (sur un linéaire total de 4 km environ, répartis en 7 tronçons), avec l'aide de la société Hélimap, en 2017, 2018, 2019 et 2020. L'une des particularités de ces acquisitions lidar aéroportées locales, à faible altitude, tient au fait que les visées sont orientées perpendiculairement aux falaises sub-verticales, ce qui leur confère une meilleure précision que les levés à visée nadirale (perpendicularire par rapport au géoïde), effectués à l'échelle régionale et à une altitude plus élevée.

La méthode d'analyse repose sur des outils SIG et géomatiques 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, 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.

Faisant suite à l'analyse des données acquises entre 2017 et 2019 (rapport RP-69865-FR), un levé complémentaire terrestre avait été demandé en 2020, afin d'améliorer la densité de points, dans certains secteurs présentant des dévers, en particulier sur les falaises d'Archilua, de la Pile d'Assiettes et de Sainte-Barbe. Cela s'est avéré pertinent et apporte une plus-value pour l'analyse des données et la mise en évidence de mouvements de terrain.

L'analyse diachronique des jeux de données de 2019 et 2020 a ainsi permis de quantifier des instabilités de terrain, de différentes amplitudes, et selon des contextes géomorphologiques variés, caractéristiques du littoral luzien. Cette analyse s'appuie également sur les photos aériennes obliques de 2019 et 2020, acquises par l'OCA auprès d'ULM Sud Bassin.

Il est à noter d'une part, que la résolution du MNT produit par ces acquisitions lidar « locales », bien supérieure à celle du MNT issu du levé régional (10 cm contre 1 m), permet une analyse plus précise et plus adaptée de l'activité des mouvements de terrain de ce littoral, souvent marquée par des phénomènes de faible intensité (encoches érosives superficielles dans les altérites, rupture de dalles rocheuses de faible extension, etc.) ; et d'autre part, que la visée du lidar oblique permet de disposer d'un nuage de points 3D détaillant finement les parois des falaises.

Une nouvelle acquisition à l'automne 2021 permettra de poursuivre l'observation des instabilités des falaises de la commune de Saint-Jean-de-Luz.

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"	17
3. Présentation des méthodes d'acquisition et données disponibles	21
3.1. METHODE	22
3.1.1. La 3D par photogrammétrie	22
3.1.2. La 3D à partir de levés lidar	22
3.2. LIVRABLES	23
3.3. CONTROLE "QUALITE"	25
3.3.1. Contrôle "qualité" réalisé par les prestataires	25
3.3.2. Contrôle "qualité" réalisé par le BRGM.....	25
4. Exploitation des données.....	29
4.1. INTERFACE POTREE	29
4.2. PRESENTATION DES CAVITES DANS LES FALAISES DE PILE D'ASSIETTES ET DE SAINTE-BARBE	30
4.2.1. Pile d'Assiettes.....	31
4.2.2. Sainte-Barbe	35
4.3. ANALYSE DIACHRONIQUE	40
4.3.1. Méthode.....	40
4.3.2. Secteur de Sénix	41
4.3.3. Secteur de Mayarko.....	43
4.3.4. Secteur de Lafiténia	47
4.3.5. Secteur d'Erromardie	50
4.3.6. Secteur d'Archilua	54
4.3.7. Secteur de la Pile d'Assiettes	60
4.3.8. Secteur de Sainte-Barbe	62
5. Conclusion.....	65
6. Bibliographie	67
7. Glossaire.....	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 22/09/2016).....	12
Illustration 2 - Secteur de la Pile d'Assiettes (Commune de Saint-Jean-de-Luz ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2018)	13
Illustration 3 - Types de morphologie côtière dans 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 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, 2018).....	15
Illustration 6 - Coupe schématique d'un profil d'altération-type, dans des calcaires marneux (cliché du haut ; Genna et al., 2004) et illustration (cliché du bas) dans le secteur de la Pile d'Assiettes, délimitation approximative entre altérites et flyschs « sains » (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018).....	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 rapport BRGM/RP-63588-FR) 18	
Illustration 8 - Glissement de terrain à l'Anse de Lafiténia (Aubié et Mathon, 2006 ; extrait rapport BRGM/RP-63588-FR)	19
Illustration 9 - Glissement de terrain de la Réserve, dans le secteur de la Pile d'Assiettes, en février 2016 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018).....	19
Illustration 10 - Glissement de terrain de la Promenade Feodor Chaliapine, le 03/12/2002, bordant l'ancienne route, et (cliché de droite) vue aérienne du confortement actuel de cette partie de falaise (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018)	20
Illustration 11 - Localisation des levés complémentaires terrestres, selon un classement par priorité d'acquisition (P1 : haute, P2 : moyenne, P3 : faible).....	21
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 la Pile d'Assiettes en 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	31
Illustration 17 - Vue 3D (Mesh) des 3 cavités de la Pile d'Assiettes en 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	31
Illustration 18 - Cavité a de la Pile d'Assiettes : dimensions en haut, vue de perspective à gauche, vue azimutale à droite	32
Illustration 19 - Cavité b de la Pile d'Assiettes : situation en haut, vue de perspective à gauche, vue azimutale à droite	33
Illustration 20 - Cavité c de la Pile d'Assiettes : situation en haut, vue de perspective à gauche, vue azimutale à droite	34
Illustration 21 - Vue 3D (Mesh) du site de Sainte-Barbe en 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	35

Illustration 22 - Vue 3D (Mesh) sur les cavités de Sainte-Barbe en 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)	35
Illustration 23 - Cavité a de Sainte-Barbe : vue d'ensemble en haut, vue de perspective à gauche, vue en profil à droite	36
Illustration 24 - Cavité b de Sainte-Barbe : vue d'ensemble en haut, vue de perspective à gauche, vue en profil à droite	37
Illustration 25 - Cavité c de Sainte-Barbe : vue d'ensemble en haut, vue de perspective à gauche, vue azimutale à droite	38
Illustration 26 - Cavité d de Sainte-Barbe : vue d'ensemble en haut ; vue de profil en bas	39
Illustration 27 - Exemple d'un différentiel de MNT sous SIG, sur une falaise sub-verticale (Sainte-Barbe).....	40
Illustration 28 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur de Sénix (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)	41
Illustration 29 - 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)	42
Illustration 30 - Zone de glissement dans le secteur de Sénix. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)	42
Illustration 31 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur de Maiarko (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)	43
Illustration 32 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2017 et 2018 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP).....	44
Illustration 33 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP).....	44
Illustration 34 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2019 et 2020).....	45
Illustration 35 - Zone de glissement en partie centrale du secteur de Mayarko (au droit du parking). Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)	45
Illustration 36 - Zone de glissement en partie centrale du secteur de Mayarko, ayant été traitée, en mars 2020, par revégétalisation (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2019 et 2020).....	46
Illustration 37 - Zone de glissement au droit du parking ; cicatrice ayant fait l'objet, en mars 2020, d'une action de revégétalisation (©Observatoire de la Côte Aquitaine, 2020).....	46
Illustration 38 - Différentiel lidar 2020-2019 dans le secteur de Lafiténia (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)	47
Illustration 39 - Zone de glissement à l'extrémité nord du secteur de Lafiténia. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP).....	48
Illustration 40 - Petite entaille érosive à l'extrémité nord du secteur de Lafiténia. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)	48
Illustration 41 - Zones d'érosion, à l'extrémité nord de la plage de Lafiténia (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2020)	49
Illustration 42 - Entaille érosive en partie centrale du secteur de Lafiténia. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP).....	49

Illustration 43 - Zones d'érosion, en partie centrale de la plage de Lafiténia ; à noter que la masse glissée visible sur l'illustration 42 n'est pas identifiable sur ce cliché daté du 25/07/2020, le glissement s'est vraisemblablement produit entre fin juillet et novembre 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2020)	50
Illustration 44 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur d'Erromardie (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	50
Illustration 45 - Zone de glissement en partie ouest d'Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2017 et 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	51
Illustration 46 - Traitement de la zone d'instabilité à l'extrémité ouest d'Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	52
Illustration 47 - Secteur ouest d'Erromardie après confortement et revégétalisation (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2020)	52
Illustration 48 - Zone de glissement à Erromardie Ouest, au droit du camping. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	53
Illustration 49 - Versants ouest d'Erromardie, en proie à une dynamique de glissement de terrain généralisée ; identification des deux sous-secteurs plus actifs au cours de la période 2019-2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2019 et 2020)	53
Illustration 50 - Analyse différentielle des données lidar au cours de la période de 2017 à 2020 ; évolution au droit d'Erromardie Ouest (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	54
Illustration 51 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur d'Archilua (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	55
Illustration 52 - Zone d'évolution en partie est du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	56
Illustration 53 - Zone d'évolution en partie est du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (en rouge : zones érodées ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	56
Illustration 54 - Zone d'évolution en partie est du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	57
Illustration 55 - Zone active en partie centrale du secteur d'Archilua (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2020)	57
Illustration 56 - Vue 3D de la zone d'évolution, en partie est du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (en rouge : zones érodées ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	58
Illustration 57 - Zone d'évolution, en partie ouest du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	59
Illustration 58 - Vue 3D de la zone d'évolution, en partie ouest du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (en rouge : zone érodée ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	59
Illustration 59 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur de la Pile d'Assiettes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	60
Illustration 60 - Zone d'évolution, en partie centrale du secteur de la Pile d'Assiettes. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	61
Illustration 61 - Vue sous Cloudcompare© de la zone d'évolution, en partie centrale du secteur de la Pile d'Assiettes ; les parties représentées en rouge correspondent aux zones d'ablation ; elles	

représentent un volume total de 172 m ³ , calculé par différences entre les nuages de point, à comparer aux 196 m ³ , évalués par différentiel lidar (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	61
Illustration 62 - Zone d'évolution à l'extrémité sud-ouest du secteur de la Pile d'Assiettes. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	62
Illustration 63 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur de Sainte-Barbe (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	63
Illustration 64 - Identification sous Cloudcompare© de la rupture d'un compartiment rocheux de 5 m ³ , en partie centrale du secteur de Sainte-Barbe, entre 2019 et 2020 (vue 2020, en rouge : zone érodée ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	63
Illustration 65 - Identification sous Cloudcompare© de la rupture de dalles rocheuses, en partie sud-ouest du secteur de Sainte-Barbe, entre 2019 et 2020 (vue 2020, en rouge : zone érodée ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap).....	64
Illustration 66 - Identification sous Cloudcompare© de la zone de départ, identifiée en partie sud-ouest du secteur de Sainte-Barbe, entre 2017 et 2019 (cf. rapport BRGM/RP-69865-FR) (vue 2019, en vert : zone érodée ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)	64

Liste des tableaux

Tableau 1 - Liste des livrables, réalisés par Hélimap, pour l'OCA (acquisition 2020)	24
Tableau 2 - Statistiques des écarts observés entre les modèles MNT lidar et les mesures terrain, pour les millésimes 2019 (avec et sans filtre) et 2020	27
Tableau 3 - Caractéristiques du site de la Pile d'Assiettes	31
Tableau 4 - Caractéristiques du site de Sainte-Barbe.....	35

Liste des annexes

Annexe 1 - Demande d'appui technique de la Ville de Saint-Jean-de-Luz	71
Annexe 2 - Consultation de prestataire pour la mission 2020	75
Annexe 3 - Comptes-rendus de mission de Hélimap (2020)	95

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 (OCA) 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 le BRGM, à l'automne 2016 (cf. annexe 1), au titre de l'OCA 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 aéroportées 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 (e.g. voiries). 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 lidar aéroportés 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). L'une des particularités de ces acquisitions lidar aéroportées locales, à faible altitude, tient au fait que les visées sont orientées perpendiculairement aux falaises sub-verticales, ce qui leur confère une meilleure précision que les levés à visée nadirale (perpendiculaire par rapport au géoïde), effectués à l'échelle régionale et à une altitude plus élevée.

Une première campagne de levés topographiques par lidar et par photogrammétrie a ainsi été initiée par l'Observatoire, en novembre 2017, en testant deux vecteurs d'acquisition différents (hélicoptère et drone). Une analyse des données acquises a été faite et rapportée dans la note OCA NT_AQI_2018_007 (2018). Deux autres campagnes d'acquisition, héliportées cette fois, ont été réalisées en mai 2018, puis en août 2019. Cette dernière a conduit à une analyse diachronique entre 2017 et 2019, dont les résultats sont présentés dans le rapport BRGM/RP-69865-FR (2020).

Faisant suite aux recommandations émises dans ce rapport, une nouvelle acquisition aéroportée a été réalisée le 2 novembre 2020, de 10h45 à 12h20, et a été complétée par un levé terrestre lidar, réalisé les 16 et 17 novembre 2020. Les résultats de ces acquisitions et leur exploitation vis-à-vis de la dynamique

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

"mouvement de terrain", sur littoral de Saint-Jean-de-Luz, entre 2019 et 2020, sont présentés dans le présent rapport.

Le périmètre d'étude s'étend sur environ 4 km et comprend une bande incluant la falaise, une distance d'au moins 30 m en arrière du sommet de falaise et l'estran rocheux (ou la plage). Les falaises étudiées appartiennent, d'est en ouest, aux secteurs suivants (Illustration 1) :

1. Senix
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 22/09/2016)*

Dans le présent rapport, le premier chapitre présente le secteur de l'étude et son contexte géomorphologique ; le deuxième chapitre décrit les données acquises et leur analyse "qualité" ; et le troisième chapitre est consacré à l'analyse diachronique de certains secteurs étudiés en particulier.

Note : les termes affichés avec le sigle * sont expliqués dans le glossaire, situé en fin de document.

2. Présentation du secteur d'étude

Les paragraphes suivants sont extraits du rapport BRGM/RP-69865-FR, daté de mai 2020.

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 caractérisé par une succession de plages de poche (ou plages de fond de baies) plus ou moins fermées, alternant avec des pointes rocheuses et des falaises dont les hauteurs et pentes varient de façon assez marquée (Illustration 2). Une typologie de la côte rocheuses basque a été définie par Genna *et al.* en 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 (Illustration 3) : le linéaire étudié appartenant 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 (Commune de Saint-Jean-de-Luz ; ©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 Razin en 1989, puis complétée et modifiée par Peter-Borie en 2008, dans le cadre de travaux de recherche menés au sein de l'OCA (Illustration 4), représente les grandes unités stratigraphiques de la partie sud du territoire littoral basque.

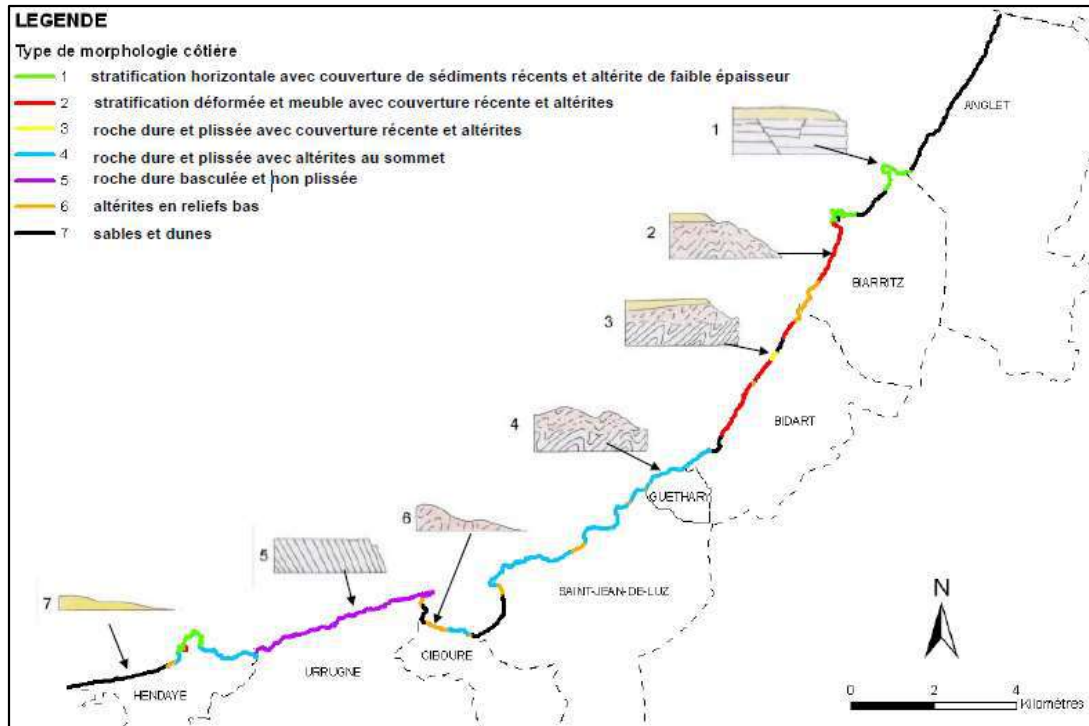


Illustration 3 - Types de morphologie côtière dans les communes littorales basques (Genna et al., 2004)

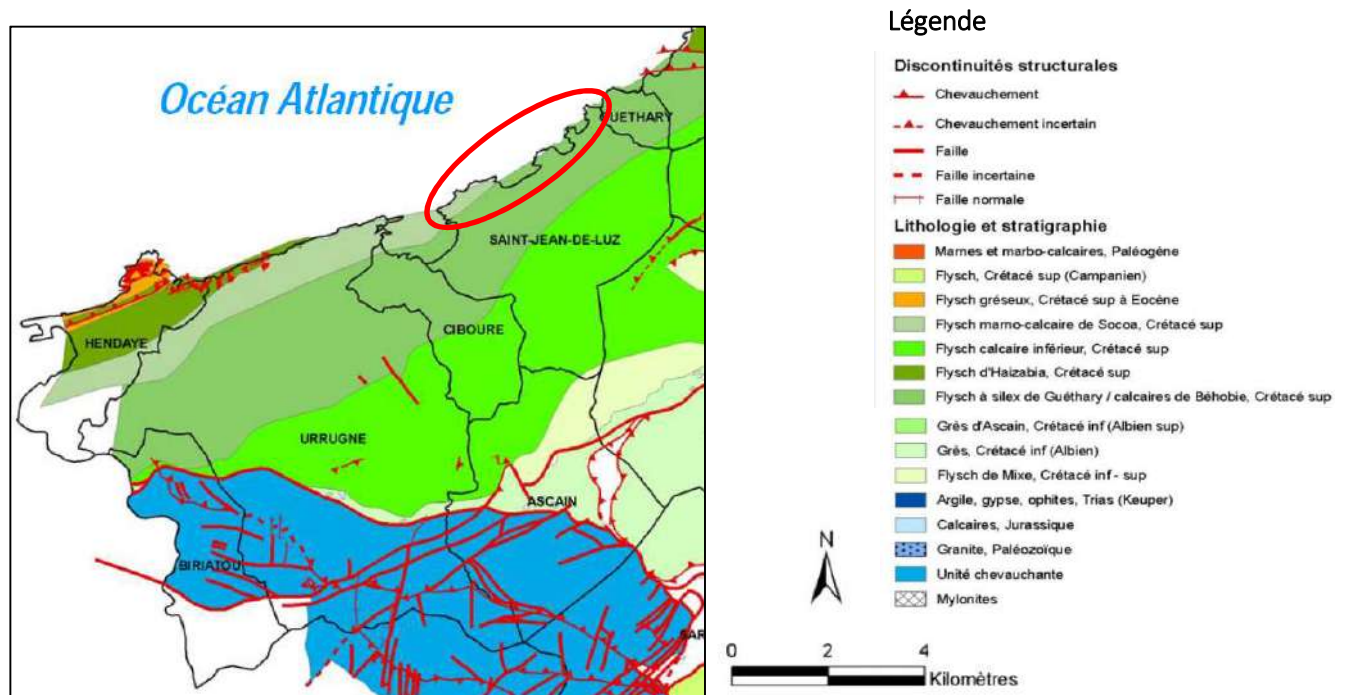


Illustration 4 - Extrait de la carte géologique du Labourd. Carte des unités stratigraphiques majeures (modifiée par Peter-Borie, 2008, d'après Razin, 1989) et identification de la zone d'étude

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, 2018)

- 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 rapport 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 **formation d'altération**. Les altérites sont des formations superficielles, résultant de l'altération et de la fragmentation sur place du substratum (Illustration 6). Elles se développent au-dessus de 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.

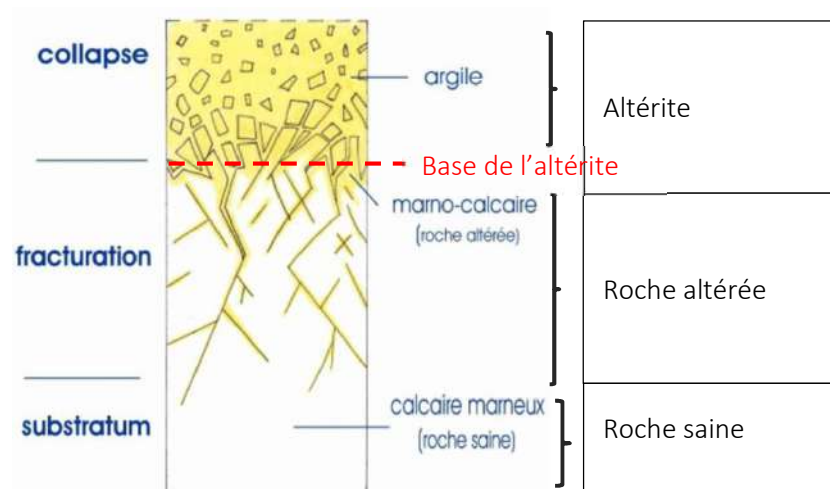


Illustration 6 - Coupe schématique d'un profil d'altération-type, dans des calcaires marneux (cliché du haut ; Genna et al., 2004) et illustration (cliché du bas) dans le secteur de la Pile d'Assiettes, délimitation approximative entre altérites et flyschs « sains » (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018)

de **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, avec 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 mise 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, survenues ces dernières années, le long de la frange côtière de Saint-Jean-de-Luz (Illustration 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 rapport BRGM/RP-63588-FR)



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



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



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

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. La résolution du modèle produit s'en trouve améliorée, pouvant aller jusqu'à quelques centimètres. Ceci offre en outre une plus grande flexibilité pour couvrir l'ensemble du linéaire des falaises en adaptant le plan de vol. 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, 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.

Pour la mission 2020 (cf. cahier des charges en annexe 2), un levé complémentaire terrestre a été réalisé afin d'améliorer la représentation générale des falaises de la Pile d'Assiettes et de Sainte-Barbe, dont la géométrie et la rugosité (due à l'empilement des bancs de flyschs) nuisent à la bonne qualité de la prise de vue aérienne.

Ces levés terrestres ont été faits 1/ dans deux secteurs, en recul des falaises, de façon à augmenter la densité de points sur la paroi, et 2/ dans 12 secteurs en ciblant des cavités ou des zones présentant des surplombs, pour lesquelles la densité de points acquise par voie aérienne était insuffisante (Illustration 11).

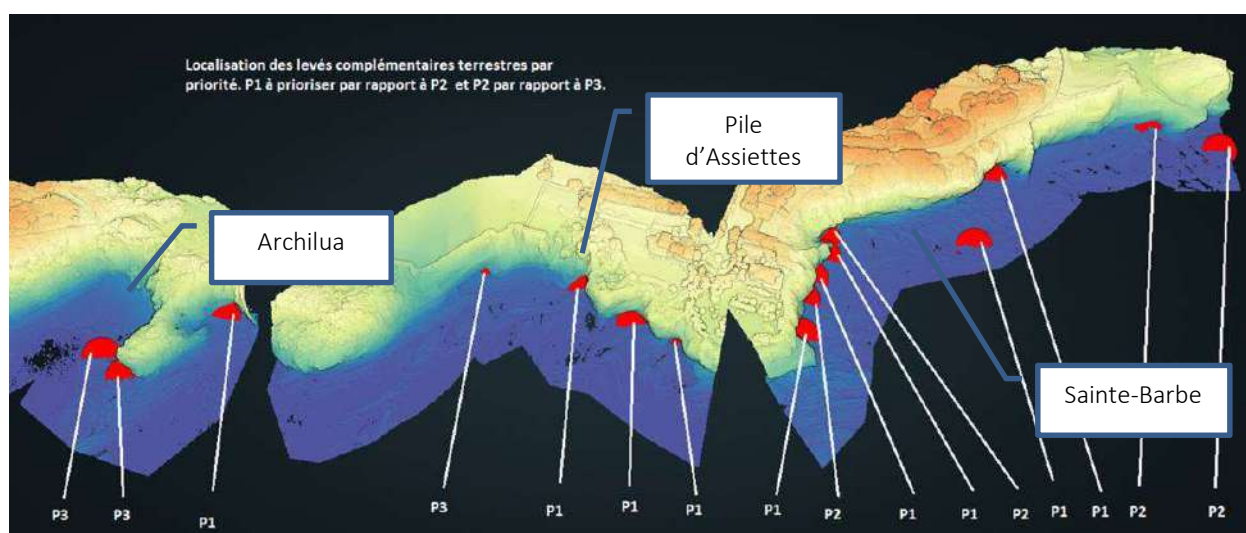


Illustration 11 - Localisation des levés complémentaires terrestres, selon un classement par priorité d'acquisition (P1 : haute, P2 : moyenne, P3 : faible)

Les 2 secteurs, en priorité P3 à Archilua, n'ont pas pu être levés, du fait de contraintes de temps de mission et de la marée.

Ces cavités sont présentées au paragraphe 4.2. D'éventuelles évolutions pour ces cavités ou surplombs pourront être observées à partir des résultats d'un prochain levé.

3.1. METHODE

3.1.1. La 3D par photogrammétrie

Le paragraphe suivant est extrait du rapport BRGM/RP-69865-FR, daté de mai 2020.

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 sur des mobiles, tels que des drones, et pas seulement à bord d'avion ou hélicoptère. Cette technique permet alors 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.

Après traitements des clichés et nuages 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 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.

Le système lidar* est souvent monté dans un avion ou hélicoptère et se compose (Illustration 12) :

-  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, cette dernière permet de produire des nuages de points cotés.

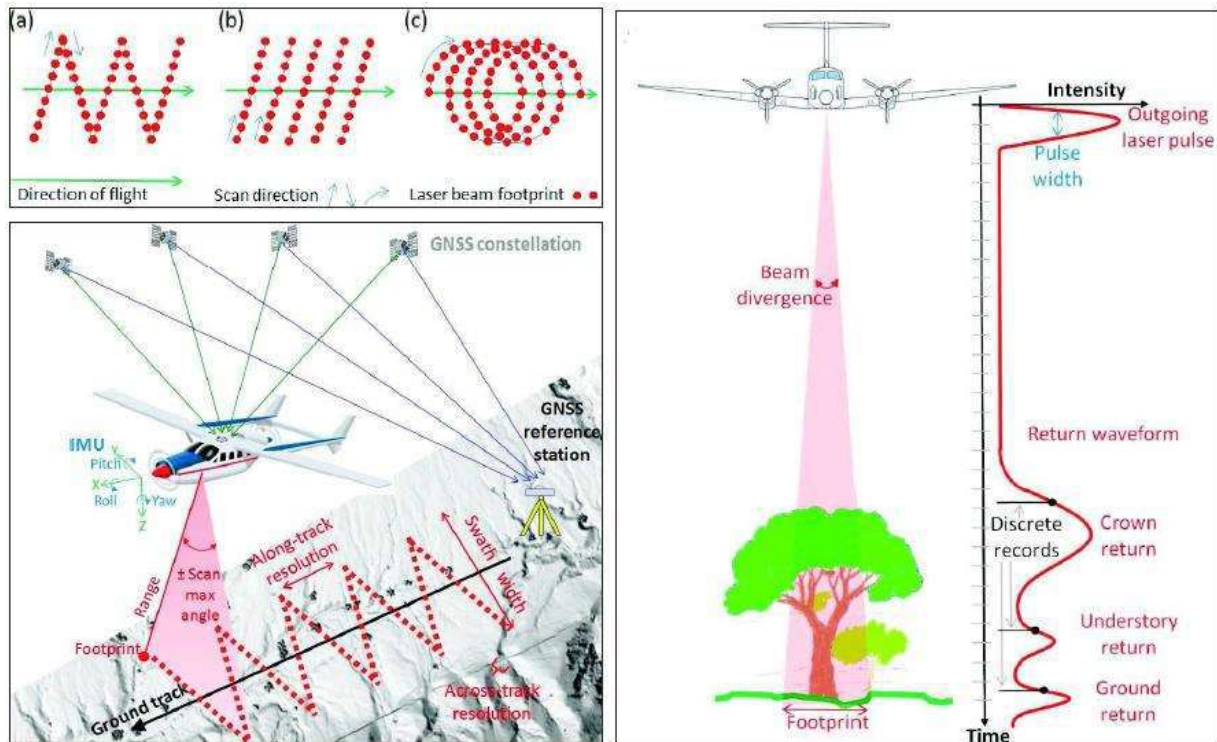


Illustration 12 - Acquisition lidar (par hélicoptère) (source : Fernander-Diaz. Et al., 2014)

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 récupérer alors des informations au sol.

Cette technique permet d'obtenir un nuage de points géoréférencé et classifié selon la nature de l'objet auquel il appartient (sol, végétation, bâti...), ainsi que 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 photogrammétrie*, les 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 : orthophotographies*, texturage de mesh 3D*.

3.2. LIVRABLES

L'objectif principal de la démarche 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 de 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 4 missions (2017 à 2020).

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 1.

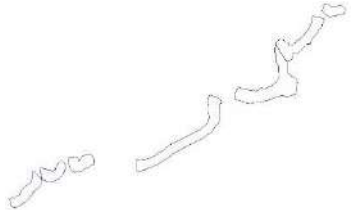
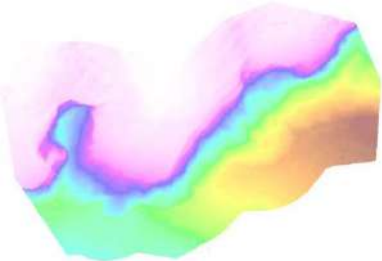
Livrables		Acquisitions par Hélimap (lidar + photogrammétrie)	Illustration
Données brutes	Nuages de points	X	
	Emprise	X	
Données traitées	MNT	X résolution 10 cm	
	Mesh3D texturé	X	
	Orthophotographie	X	
Rapport de mission		X	

Tableau 1 - Liste des livrables, réalisés par Hélimap, pour l'OCA (acquisition 2020)

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 du millésime 2020.

3.3.1. Contrôle "qualité" 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. Contrôle "qualité" 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 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, ont été répartis sur les sept sites, au sommet et au pied de falaise.

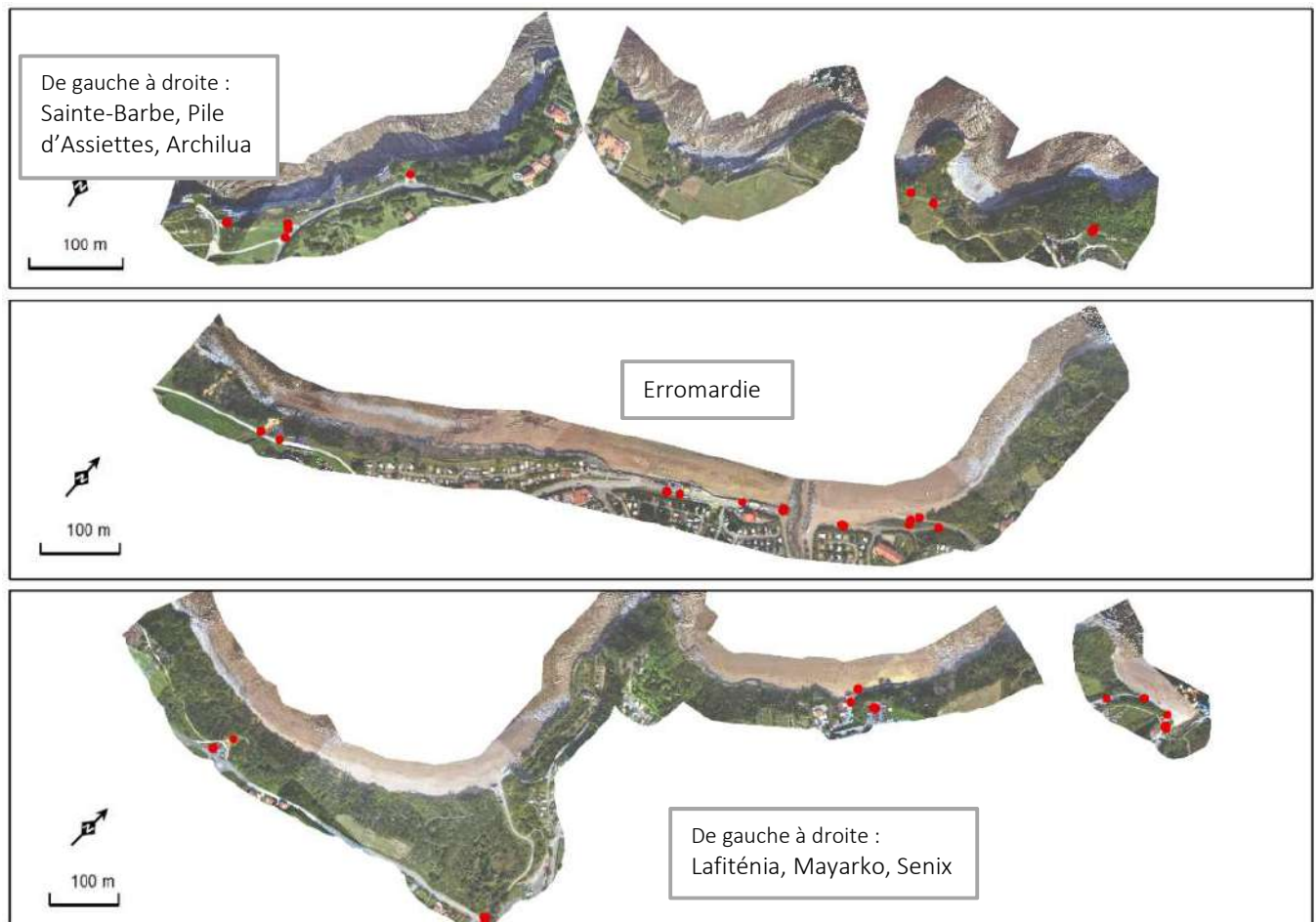


Illustration 13 - Localisation des points de contrôle topographiques, levés par le BRGM (Ortho-Express ©2017, Observatoire de la Côte Aquitaine, IGN)

Ces points, levés dans des secteurs fixes en 2017, sont considérés comme toujours pertinents pour l'analyse "qualité" 2020.

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

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

Les écarts calculés sont détaillés dans le Tableau 2. Quelques points de référence BRGM, faussant les statistiques, ont été écartés de l'analyse 2020 (filtre sur les points de contrôle situés à proximité d'escalier ou balustrade). Ce même filtre a été réappliqué sur le MNT 2019.

Millésime	2019 (rappel)	2019 (filtre)	2020 (filtre)
Nombre points de contrôle	37	24	26
EMQz	0,025	0,030	0,030
Ecart min	-0,057	-0,094	-0,088
Ecart max	0,063	0,031	0,039
Ecart min abs	0,001	0,001	0,002
Ecart max abs	0,063	0,094	0,088
Ecart moyen abs	0,019	0,018	0,027
Nb<0,01 m	13	10	5
Nb<0,05 m	35	22	22
Nb<0,1 m	37	24	26
%<0,01 m	35,135	41,7	19,231
%<0,05 m	94,595	91,7	84,615
%<0,1 m	100	100	100

Tableau 2 - Statistiques des écarts observés entre les modèles MNT lidar et les mesures terrain, pour les millésimes 2019 (avec et sans filtre) et 2020

L'écart altimétrique moyen calculé est de 3 centimètres, inférieur aux 5 centimètres annoncés par Hélimap, préalablement au levé. La qualité des données est donc considérée comme très satisfaisante.

A titre de comparaison, l'erreur quadratique altimétrique moyenne des levés lidar régionaux (réalisés par l'IGN pour l'OCA depuis 2014, aux spécifications différentes au regard de l'emprise du levé) est estimée à ~10 cm. La densité de point est notamment différente selon les deux approches. Le levé Hélimap, étant plus prêt de l'objet visé (100 à 180 m du sol ou de la falaise) que celui de l'IGN (altitude de vol : 1 500 m, vitesse 300 km/h), la densité du levé Hélimap est naturellement plus élevée (échelle locale : 70 points / m² ; échelle régionale : 8 à 16 points / m²).

4. Exploitation des données

Le millésime 2020 est diffusé sur le site internet de l'OCA, à l'URL suivante : http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/static-files/potree/StJDL_2020.html, grâce à l'utilitaire (opensource) [Potree](http://potree.org/), qui permet de convertir les nuages de points (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. En voici une rapide présentation des principales fonctionnalités (Illustration 14).

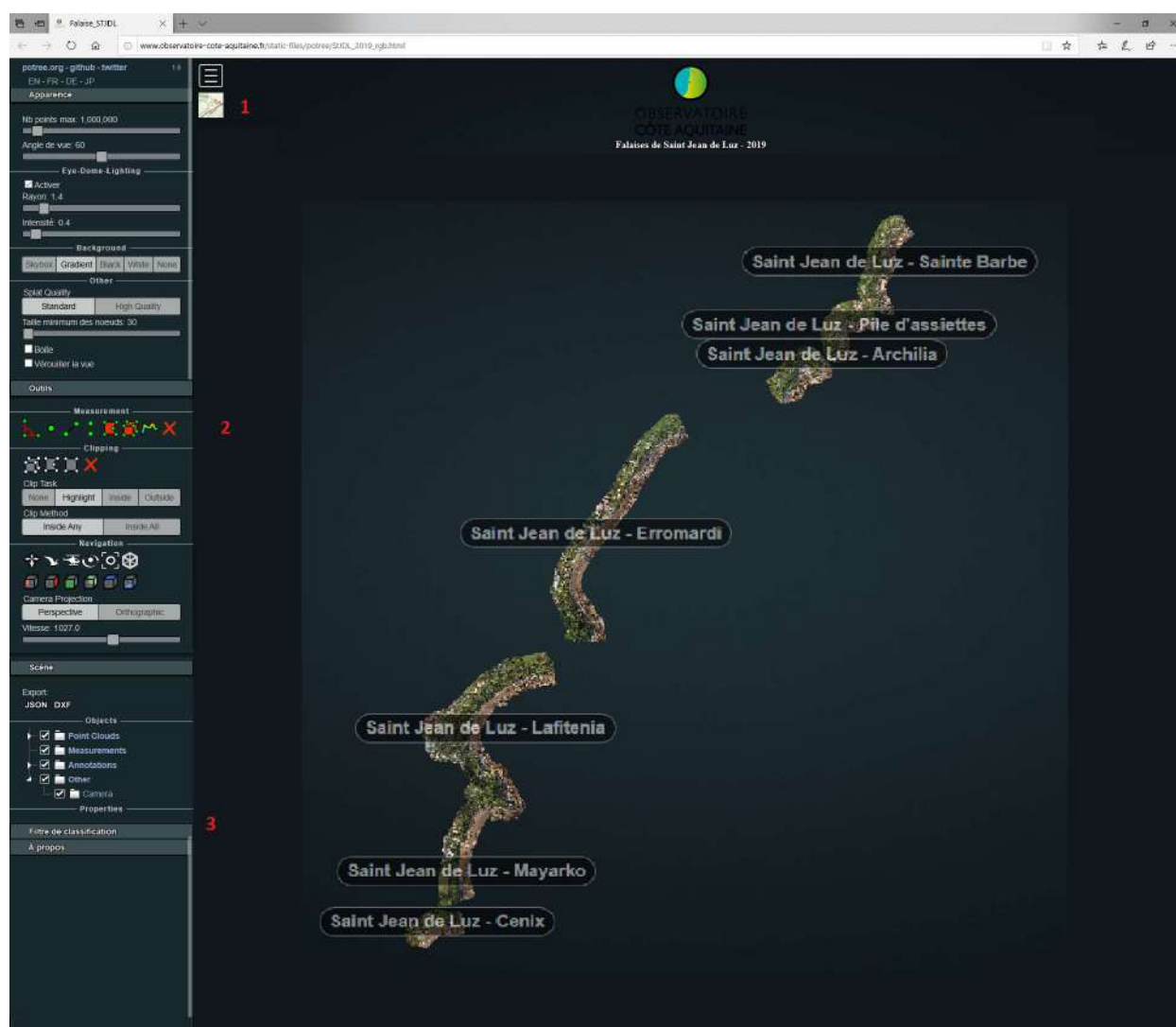


Illustration 14 - Interface Potree <http://potree.org/>

L'interface Potree est constituée de deux panneaux : le principal a une vocation cartographique et celui du bandeau à gauche offre différentes fonctionnalités décrites ci-après.

Dans le panneau principal, 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 souhaitée(s) et de cliquer sur le bouton D (download) pour les télécharger.

La principale fonctionnalité du panneau de gauche concerne les outils de mesure (2) et en particulier celui permettant de faire des profils topographiques . 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. Ce dernier s'affiche alors sous le panneau cartographique. A noter qu'il est dynamique avec la carte. Le « nuage de points » sélectionné est alors exportable au format csv ou Las.

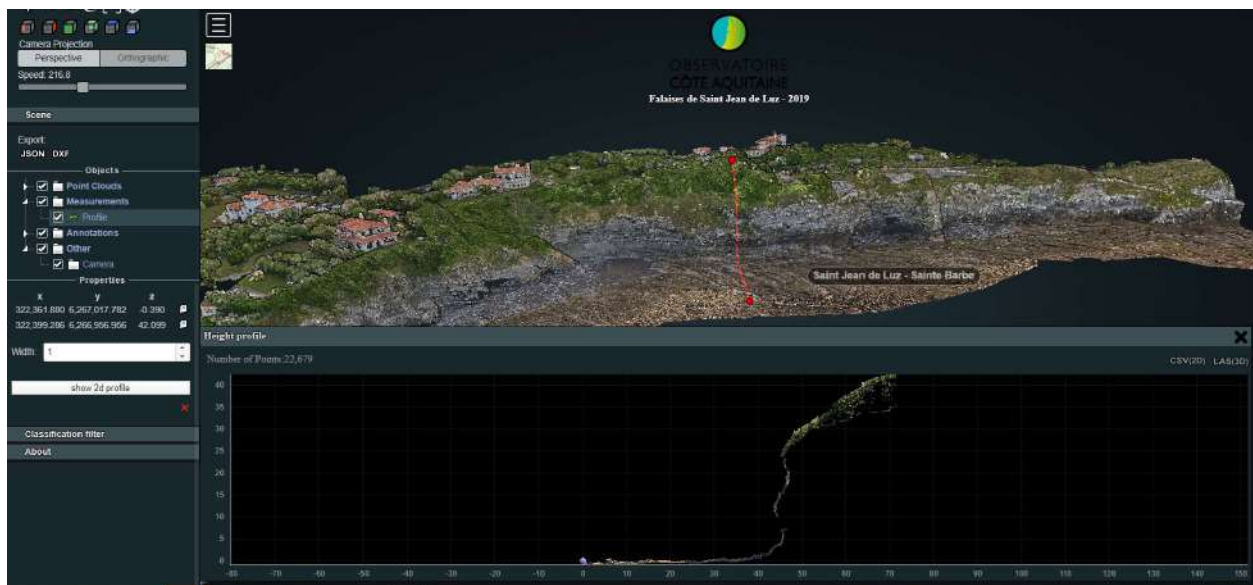


Illustration 15 - Profil sous Potree <http://potree.org/>

La fonctionnalité de profil peut être détournée pour sélectionner et télécharger le nuage de points, correspondant à un périmètre d'étude souhaité.

4.2. PRESENTATION DES CAVITES DANS LES FALAISES DE PILE D'ASSIETTES ET DE SAINTE-BARBE

Dans le rapport BRGM/RP-69865-FR, les différents secteurs de falaises de Saint-Jean-de-Luz étudiés sont présentés sous forme de cartes d'identité. Les cavités, existantes dans les secteurs de la Pile d'Assiettes et de Sainte-Barbe, sont présentées selon le même modèle, à partir des levés complémentaires terrestres réalisés en 2020, afin d'améliorer la densité de points et leur représentation. La détection d'éventuelles marques d'érosion, chutes de blocs, etc., pourra ainsi être réalisée dans le futur, par comparaison à partir des données issues d'un prochain levé.

4.2.1. Pile d'Assiettes

L'Illustration 16 représente la zone d'étude de la Pile d'Assiettes, dont les principales caractéristiques sont synthétisées dans le Tableau 3.



Illustration 16 - Vue 3D (Mesh) du site de la Pile d'Assiettes en 2020 (©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 zones peu pentues, non pour les parties sub-verticales
Présence de cavité	Oui
Présence de surplomb	Oui

Tableau 3 - Caractéristiques du site de la Pile d'Assiettes

Les 3 cavités, ou zones surplombantes, sont représentées sur les Illustration 17 à 20.

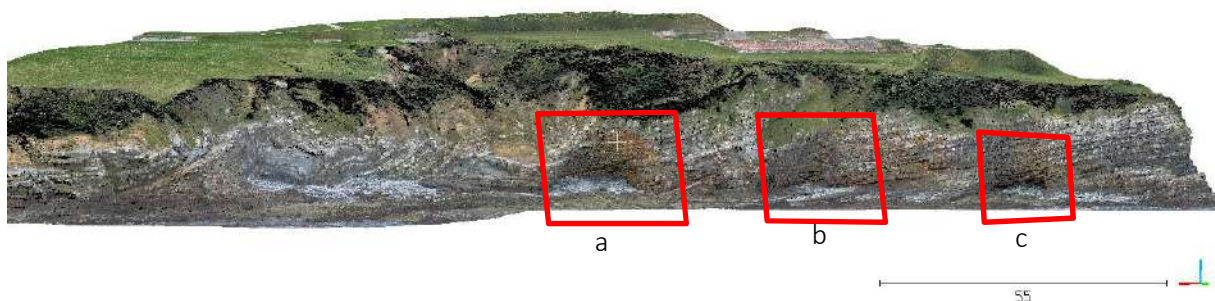


Illustration 17 - Vue 3D (Mesh) des 3 cavités de la Pile d'Assiettes en 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

Cavité a

Coordonnées : RGF93 : 322602, 6267118

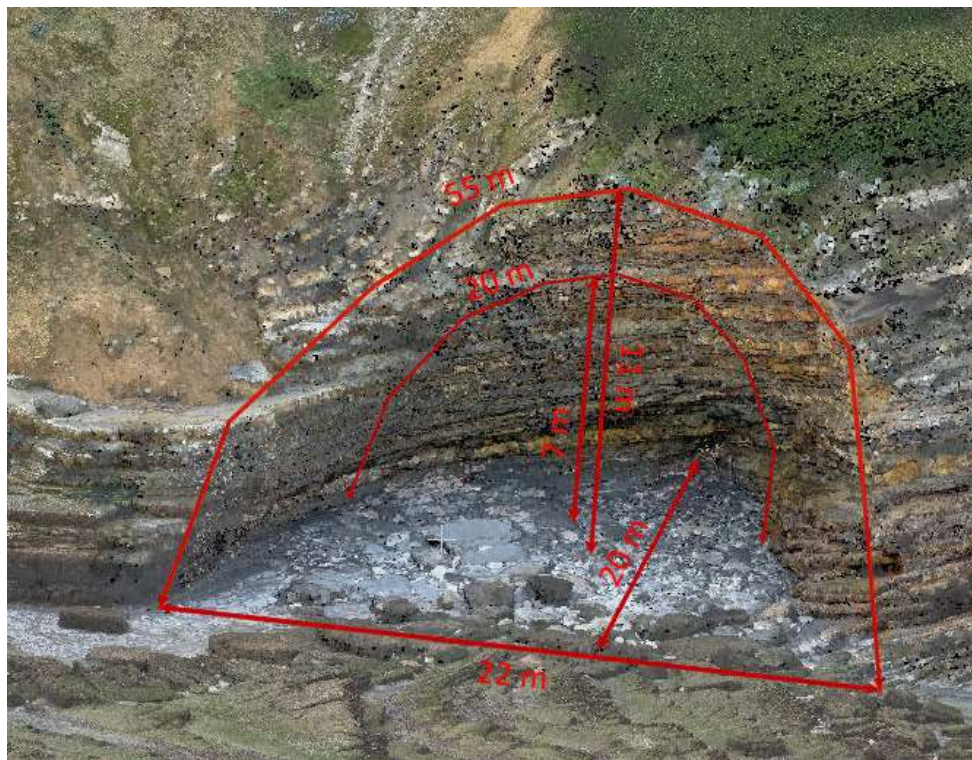


Illustration 18 - Cavité a de la Pile d'Assiettes : dimensions en haut, vue de perspective à gauche, vue azimutale à droite

Cavité b

Coordonnées : RGF93 : 322557, 6267133

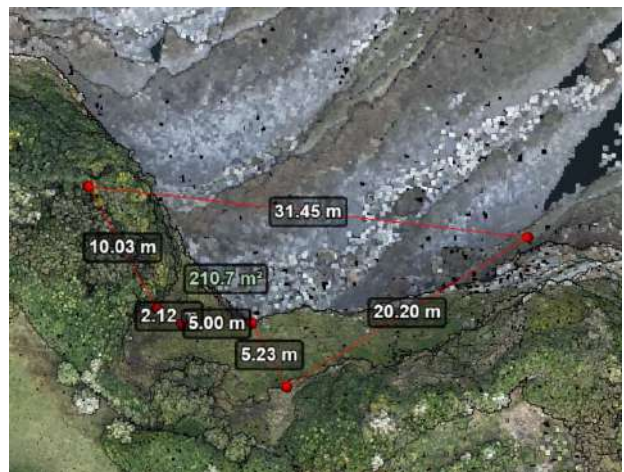


Illustration 19 - Cavité b de la Pile d'Assiettes : situation en haut, vue de perspective à gauche, vue azimutale à droite

Cavité c

Coordonnées : RGF93 : 322521, 6267138



Illustration 20 - Cavité c de la Pile d'Assiettes : situation en haut, vue de perspective à gauche, vue azimutale à droite

4.2.2. Sainte-Barbe

L'Illustration 21 représente la zone d'étude de Sainte-Barbe, dont les principales caractéristiques sont synthétisées dans le Tableau 4.



Illustration 21 - Vue 3D (Mesh) du site de Sainte-Barbe en 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

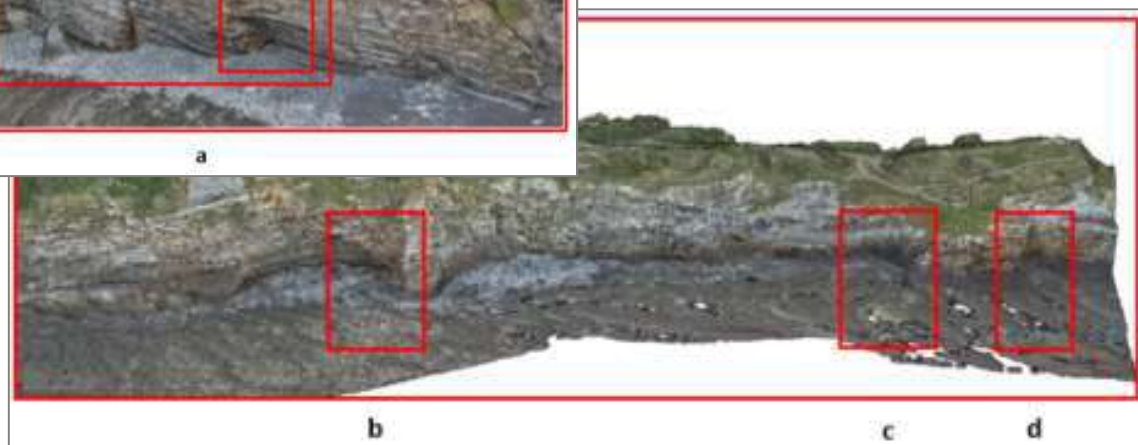
Linéaire côtier	580 m
Hauteur falaise min / max	7* / 33* m
Pente falaise min / max	36* / 89°
Hauteur plage min / max	-1 / 2m
Falaise végétalisée	non
Présence de cavité	oui
Présence de surplomb	oui

Tableau 4 - Caractéristiques du site de Sainte-Barbe

Les 4 cavités repérées ci-dessous sont présentées sur les Illustration 22 à 26.



Illustration 22 - Vue 3D (Mesh) sur les cavités de Sainte-Barbe en 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Cavité a

Coordonnées : RGF93 : 322448, 6267063

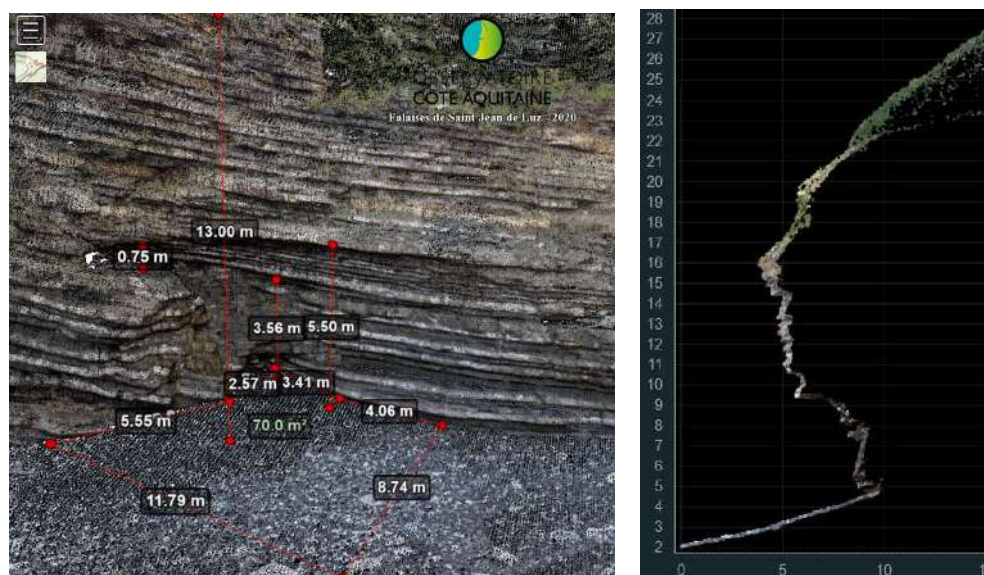


Illustration 23 - Cavité a de Sainte-Barbe : vue d'ensemble en haut, vue de perspective à gauche, vue en profil à droite

Cavité b

Coordonnées : RGF93 : 322331, 6266920

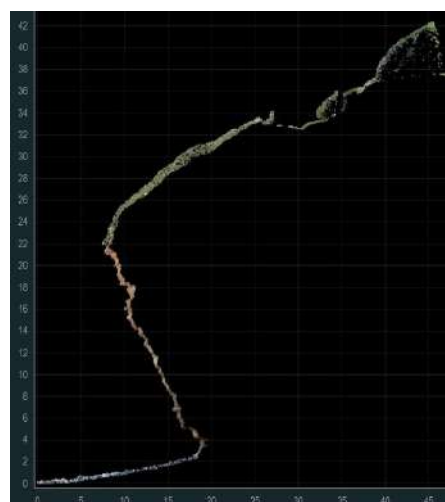
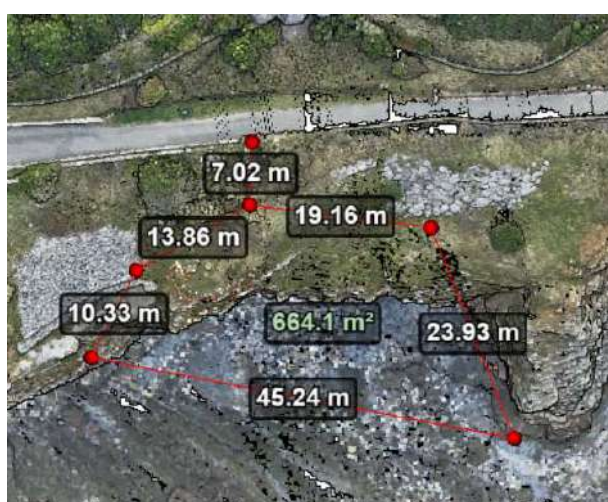


Illustration 24 - Cavité b de Sainte-Barbe : vue d'ensemble en haut, vue de perspective à gauche, vue en profil à droite

Cavité c

Coordonnées : RGF93 : 322202, 6266824

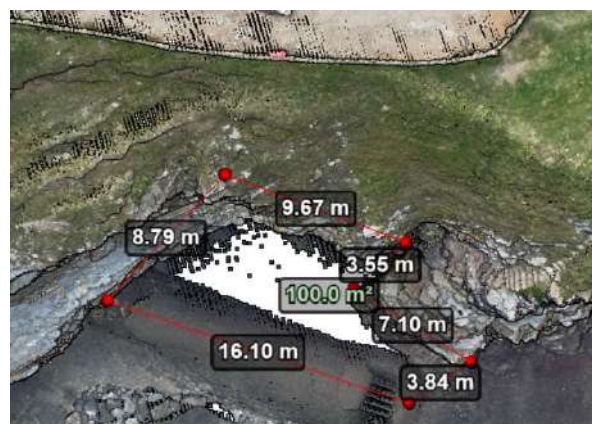
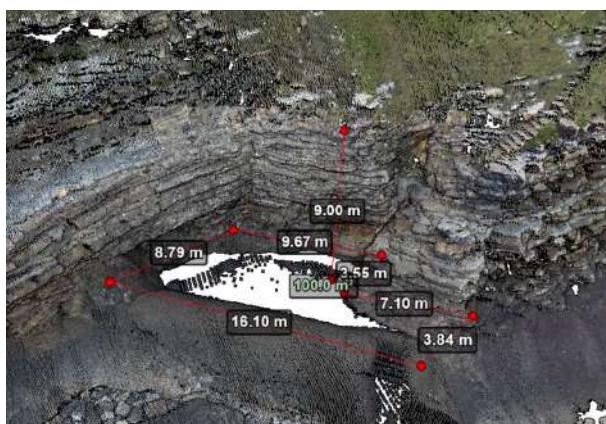


Illustration 25 - Cavité c de Sainte-Barbe : vue d'ensemble en haut, vue de perspective à gauche, vue azimutale à droite

Cavité d

Coordonnées : RGF93 : 322167, 6266805

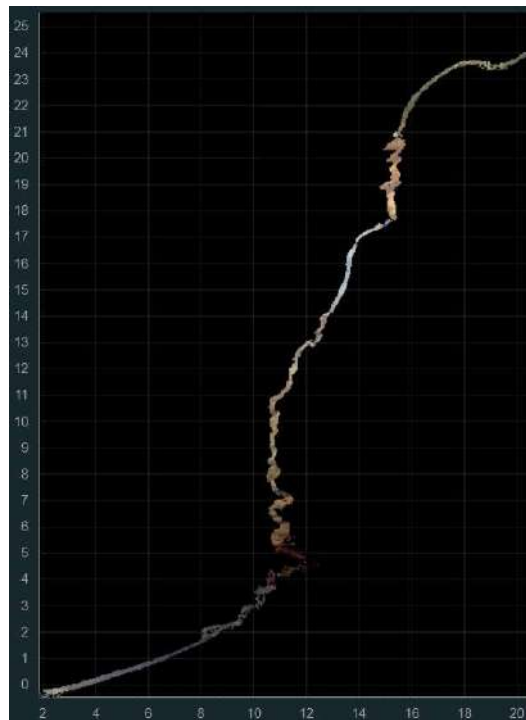
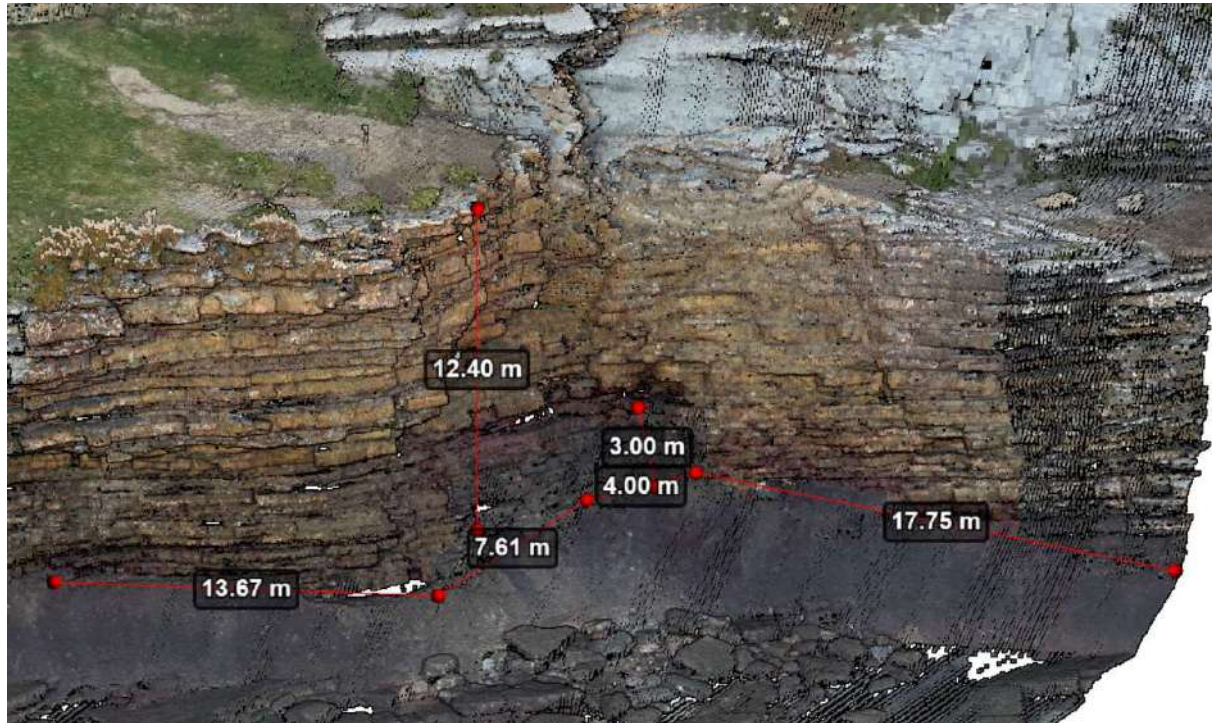


Illustration 26 - Cavité d de Sainte-Barbe : vue d'ensemble en haut ; vue de profil en bas

4.3. ANALYSE DIACHRONIQUE

Une analyse diachronique a été réalisée pour la période 2019-2020, à partir des données produites par HéliMAP. La méthode, rappelée ci-dessous, est la même que lors de l'analyse 2017-2019 (rapport BRGM/RP-69865-FR). Elle propose deux approches différentes selon la configuration des falaises ; qu'il s'agisse selon les cas de versants plus ou moins végétalisés, à pentes modérées à fortes, ou de falaises généralement nues (couvert végétal nul, voire faible), abruptes avec présence localisée de surplombs et/ou de cavités. En suivant, sont présentées les principales zones d'instabilité, pour la période précitée, dans chaque secteur étudié.

4.3.1. Méthode

La caractérisation des mouvements de terrain sur les falaises de Saint-Jean-de-Luz a été opérée selon une approche géomatique, à partir des données produites par HéliMAP (millésimes 2019 et 2020).

Pour l'essentiel des mouvements observés et analysés dans les chapitres suivants, une analyse sous SIG a été réalisée, à partir des logiciels ArcGis ou Qgis. Ces outils géomatiques sont en effet adaptés à la manipulation d'orthophotographies ou de MNT. Cette analyse, couramment utilisée, peut être effectuée sur des falaises peu pentues. L'étude de l'évolution des sites au cours du temps est facilitée par la disponibilité des différentiels d'altitude entre les quatre millésimes, puisqu'ils font partie des livrables produits (Tableau 1).

Afin de prendre en compte la précision des données (5 cm en Z sur le MNT) et de limiter le « bruit » dans l'analyse, les différences de moins de 15 cm, en valeur absolue, ont été écartées de façon à se concentrer sur les évolutions d'ampleurs jugées significatives.

En revanche, pour les falaises plus pentues, l'analyse à partir des nuages de points est nécessaire pour observer des évolutions. En effet, le traitement des données sous SIG, soit via une vue azimutale, conduit à avoir une représentation de la falaise « aplatie » sur une rangée de pixels (illustration 27).

C'est pourquoi dans le cas des falaises des secteurs de Sainte-Barbe et de la Pile d'Assiettes, les nuages de points 3D (fichiers Las) ont directement été utilisés. Les manipulations sont moins aisées qu'en traitant les MNT, mais elles permettent de quantifier les volumes des mouvements de terrain avec davantage de précision, compte tenu de la configuration des sites.

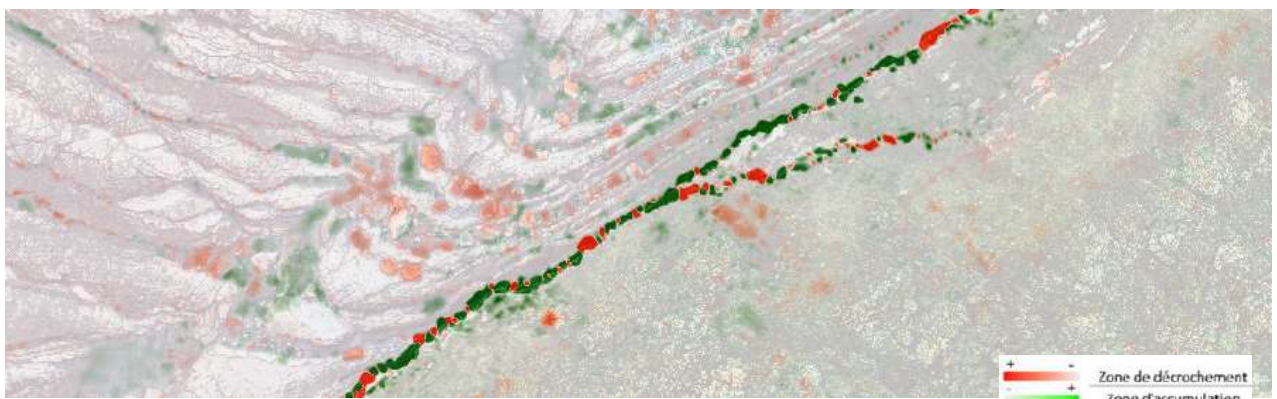


Illustration 27 - Exemple d'un différentiel de MNT sous SIG, sur une falaise sub-verticale (Sainte-Barbe)

Le logiciel (gratuit) Cloudcompare® a été utilisé pour le traitement des nuages de points au format Las. Il permet notamment de calculer les « distances » entre des points de deux millésimes différents et ainsi de caractériser les mouvements de terrain.

Lorsque les deux méthodes d'analyse précédemment décrites ont été utilisées pour une même zone d'évolution, des différences d'estimation des volumes sont possibles pour un même « objet » (mouvement de terrain), cependant les ordres de grandeurs sont similaires ($\pm 20\%$).

Les différents sites d'étude sont décrits, par la suite, à partir de fiches, présentant les principales caractéristiques des mouvements de terrain, constatés entre 2019 et 2020 (ex. : volumes), ainsi que des analyses plus détaillées de certaines zones, présentant des évolutions jugées significatives.

4.3.2. Secteur de Sénix

L'Illustration 28 montre le résultat du différentiel lidar, sur l'ensemble du secteur de Sénix, pour la période 2019-2020.



Illustration 28 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur de Sénix (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

L'analyse des données permet de mettre en évidence une seule zone, à l'extrémité ouest du secteur, ayant connu une évolution significative, pendant la période 2019-2020 (Illustration 28, Illustration 29). Cette zone est identique à celle relevée au cours de la période d'analyse précédente (2017-2018), au cours de laquelle un glissement de terrain, en partie basse de falaise, d'une soixantaine de m³, avait été identifié.

Pendant la période 2019-2020 (Illustration 30), les désordres se sont poursuivis, avec un décrochement actif de près de 70 m² (cicatrice d'arrachement de 9 m de large environ) et un volume glissé approchant 40 m³ (constitué de flyschs altérés) dont près de 40 % avaient déjà été repris par les vagues lors de la campagne d'acquisition 2020.

Le phénomène, bien qu'évolutif, reste à ce stade d'intensité limitée et sans conséquence notable sur les terrains adjacents à court terme, en l'absence d'enjeu immédiat dans la zone.

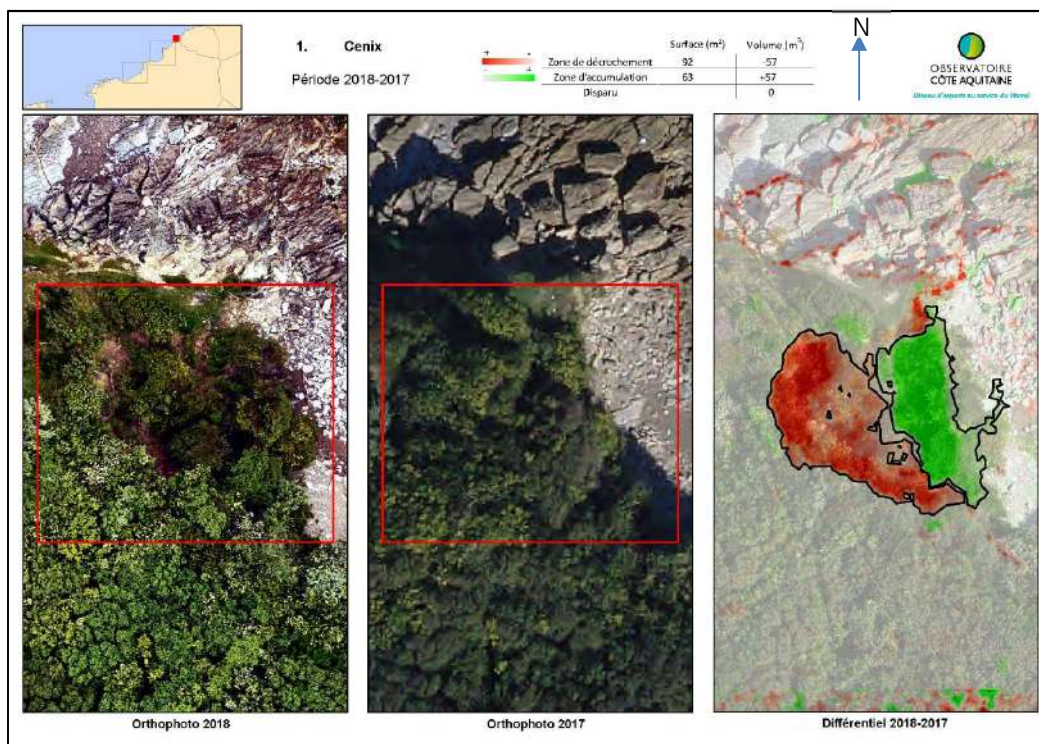


Illustration 29 - Zone de glissement dans le secteur de Sénix. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2017 et 2018 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMap)

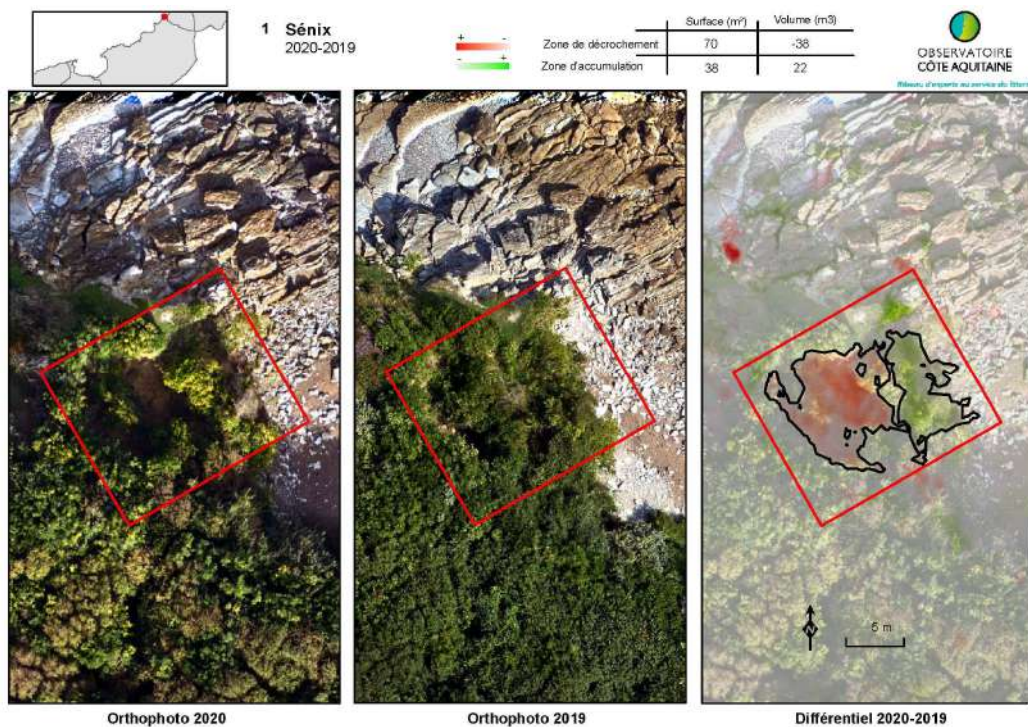


Illustration 30 - Zone de glissement dans le secteur de Sénix. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMap)

4.3.3. Secteur de Mayarko

L'illustration 31 montre le résultat du différentiel lidar, sur l'ensemble du secteur de Mayarko, pour la période 2019-2020.

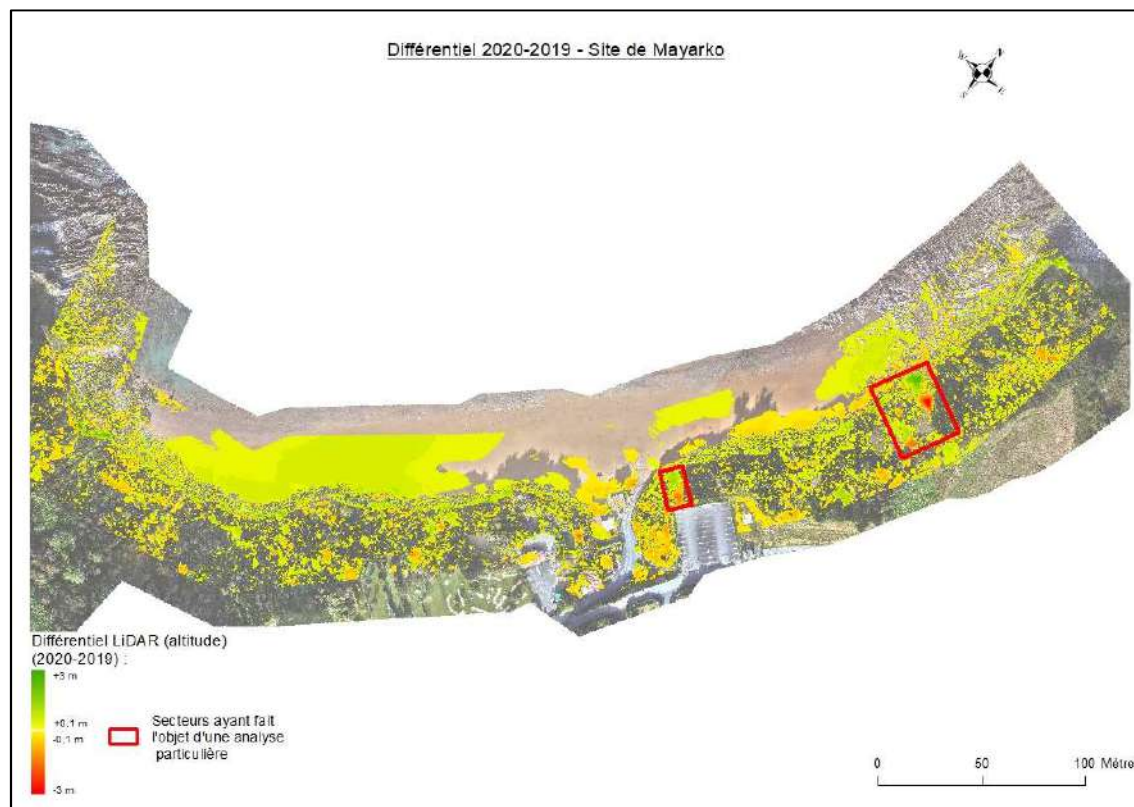


Illustration 31 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur de Mayarko (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

L'analyse des données au cours de la période 2019-2020 témoigne d'une évolution, concernant principalement deux zones décrites ci-après.

Zone est de la plage de Mayarko

Un glissement de terrain, ayant mobilisé, pendant la période 2017-2018, un volume d'environ 350 m³ (emprise de 380 m²), avait été caractérisé à partir des données lidar (Illustration 32). La niche d'arrachement d'une trentaine de mètres de large se situait sensiblement aux deux tiers supérieurs du versant. L'analyse des données des campagnes suivantes (Illustration 33) tend à indiquer que la zone de départ a peu évolué pendant la période 2018-2019 et a connu une faible dynamique au cours de la période 2019-2020. Cette dernière a été caractérisée par une reprise d'activité, pour un volume glissé total de l'ordre de 70 m³, provenant de deux petits décrochements en partie haute d'arrachement. Cette évolution est restée néanmoins assez marginale, sans extension latérale, ni régression significative, du glissement de terrain.

La faible évolution de cette zone est mise en évidence par les photographies obliques des campagnes OCA 2019 et 2020 (Illustration 34).

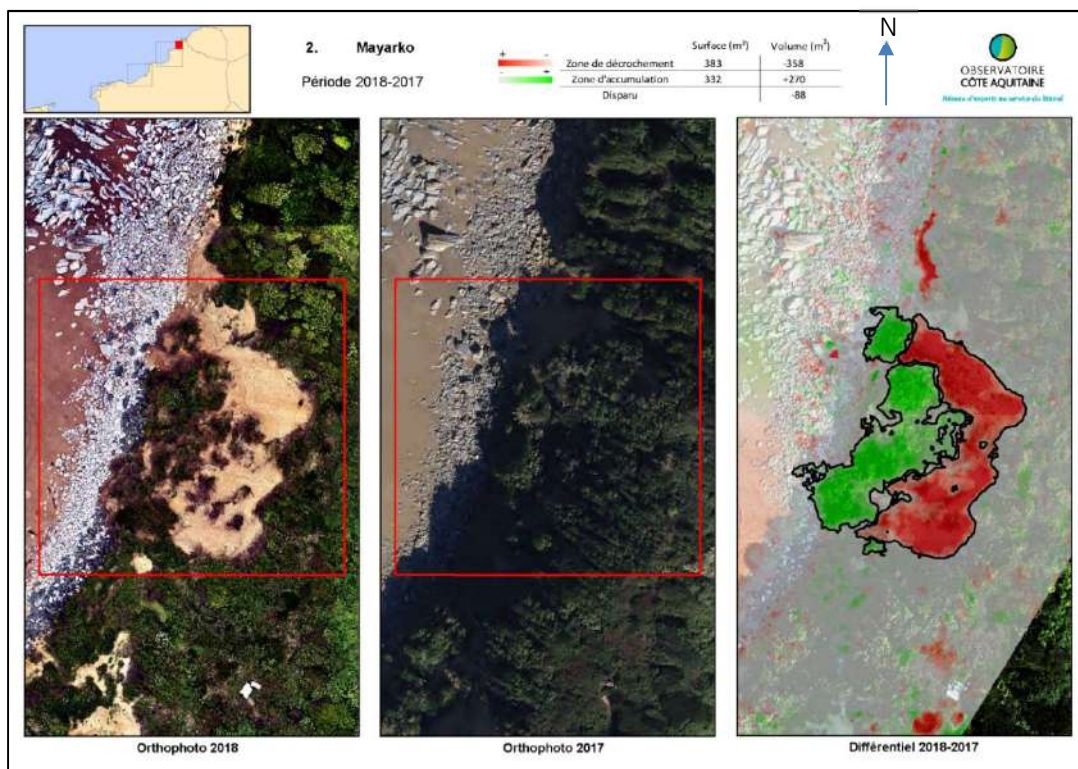


Illustration 32 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2017 et 2018 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

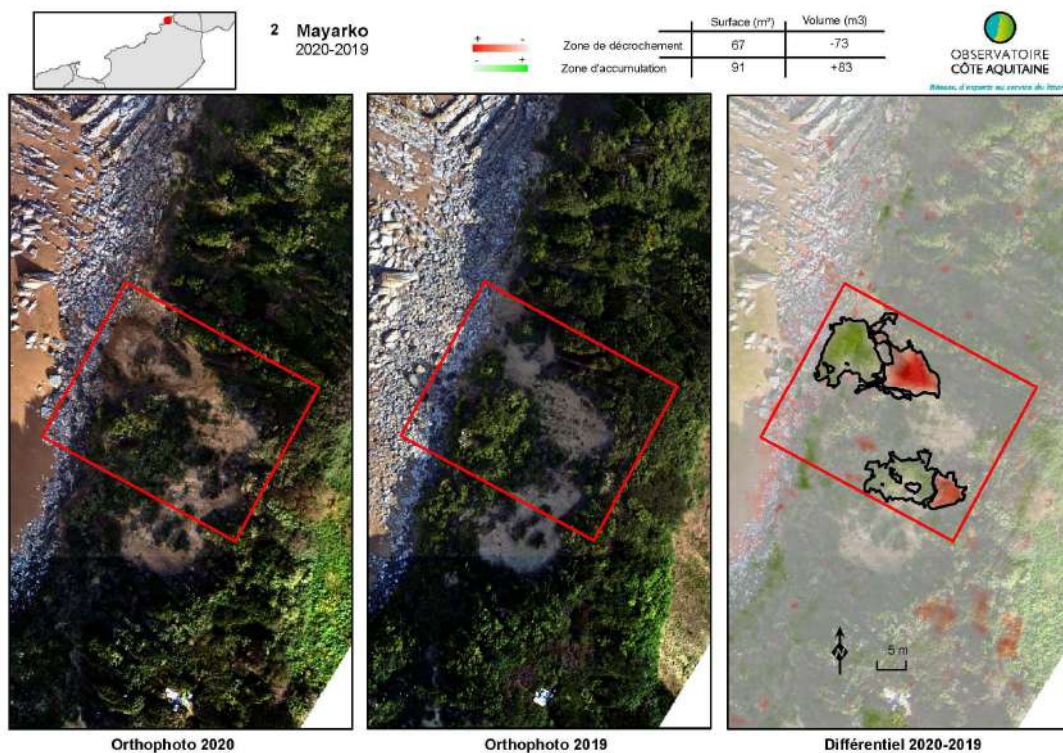


Illustration 33 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 34 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebass, ULM Sud Bassin, 2019 et 2020)

Zone centrale de la plage de Mayarko

La seconde zone d'évolution se situe en partie centrale de la plage, au droit du parking. Alors qu'aucune évolution significative n'avait été caractérisée à ce niveau, à partir des données 2017-2019, les données lidar récentes permettent d'identifier un glissement qui s'est amorcé sur près de 6 m de large, sur la quasi-totalité de la hauteur de falaise (de l'ordre d'une vingtaine de mètres) et qui a mobilisé un volume de 30 m³ environ (Illustration 35). La surface de décrochement est évaluée à 47 m², pour une zone d'accumulation de 54 m², suggérant une épaisseur glissée de l'ordre de 1 m.

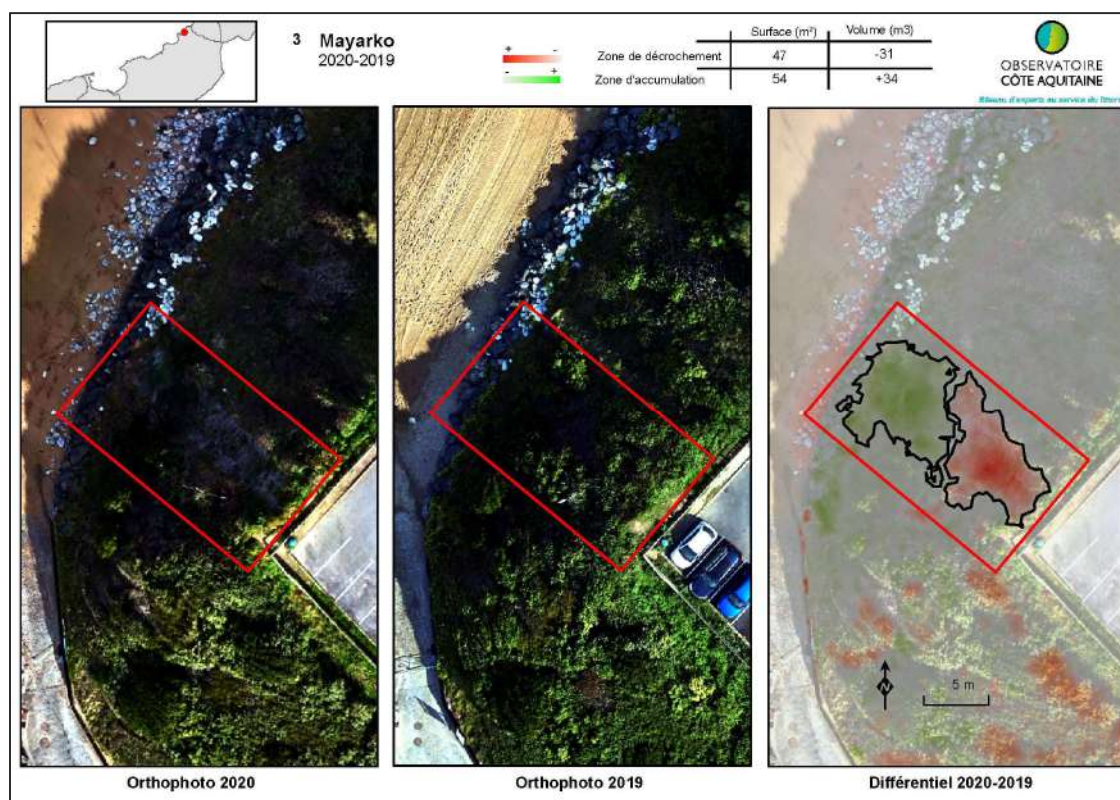


Illustration 35 - Zone de glissement en partie centrale du secteur de Mayarko (au droit du parking). Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (© Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

Cette instabilité correspond à la zone dans laquelle la Ville de Saint-Jean-de-Luz a mis en œuvre, en mars 2020, un procédé expérimental de revégétalisation (ensemencement fixé par ganivelles, Illustration 36 et Illustration 37).



Illustration 36 - Zone de glissement en partie centrale du secteur de Mayarko, ayant été traitée, en mars 2020, par revégétalisation (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2019 et 2020)

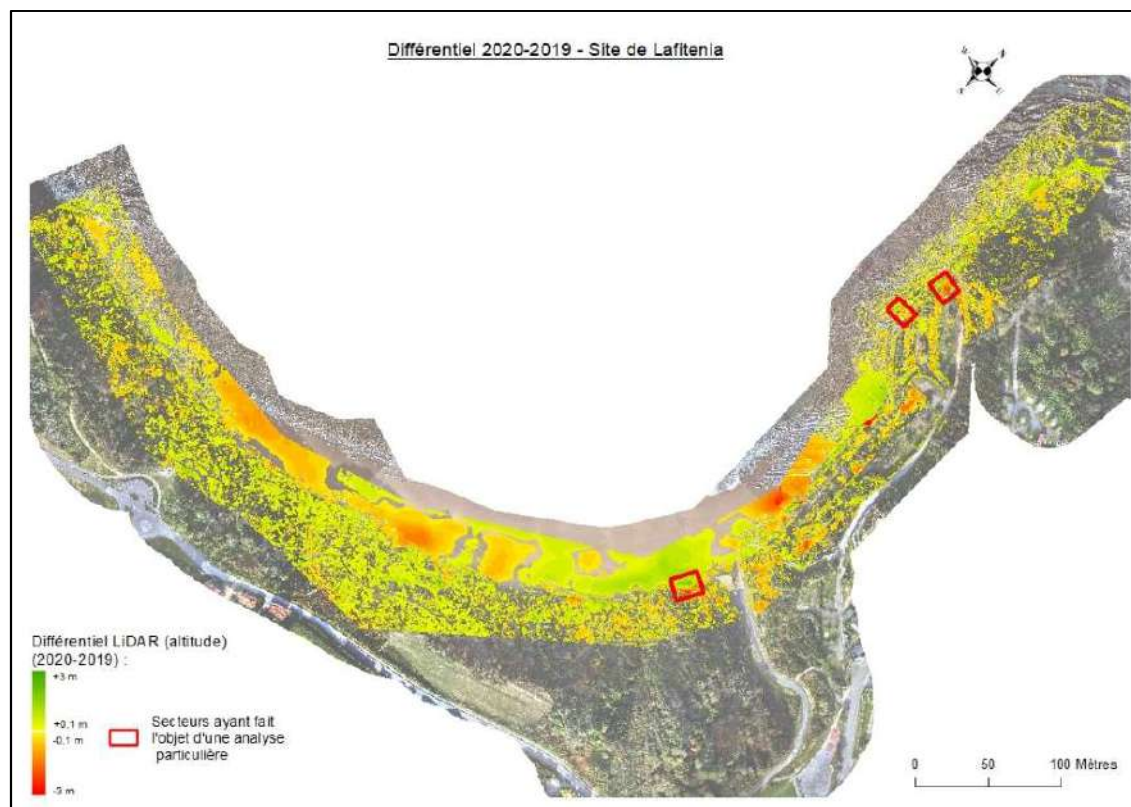


Illustration 37 - Zone de glissement au droit du parking ; cicatrice ayant fait l'objet, en mars 2020, d'une action de revégétalisation (©Observatoire de la Côte Aquitaine, 2020)

D'après les données lidar 2019 et 2020, la zone de glissement au droit du Bibambar (établissement situé à l'ouest du parking central) n'a pas connu d'évolution significative au cours de cette période.

4.3.4. Secteur de Lafiténia

L'illustration 38 montre le résultat du différentiel lidar, sur l'ensemble du secteur de Lafiténia, au cours de la période 2019-2020. Deux secteurs, dans la partie nord, et un secteur, dans la partie centrale du site, auraient connu, selon les données orthophotos et lidar, une évolution significative pendant cette période d'observation (Illustration 39 et Illustration 42). Aucune de ces zones n'avait été identifiée comme active lors de la période 2017-2019.



*Illustration 38 - Différentiel lidar 2020-2019 dans le secteur de Lafiténia
(©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)*

A l'extrémité nord de la plage de Lafiténia, deux zones d'érosion, d'emprise restreinte (respectivement 60 m² et 30 m² environ, pour une largeur d'une dizaine de mètres pour la plus importante des deux), sont identifiables en contrehaut immédiat de la plage. Des volumes d'une soixantaine de m³ et d'une quinzaine de m³ respectivement pour chacune d'elles ont été mobilisés au cours de la période 2019-2020 (Illustration 39 à Illustration 41).

La zone la plus importante correspond à un départ de dalles de flyschs fracturées et de terrains de couverture, tandis que la seconde zone concerne le départ de fragments de bancs rocheux, associés à des éléments constitutifs d'une maçonnerie ancienne, présente en haut de plage. Cette entaille dans l'ouvrage pourrait faciliter sa dégradation dans un avenir plus ou moins proche.

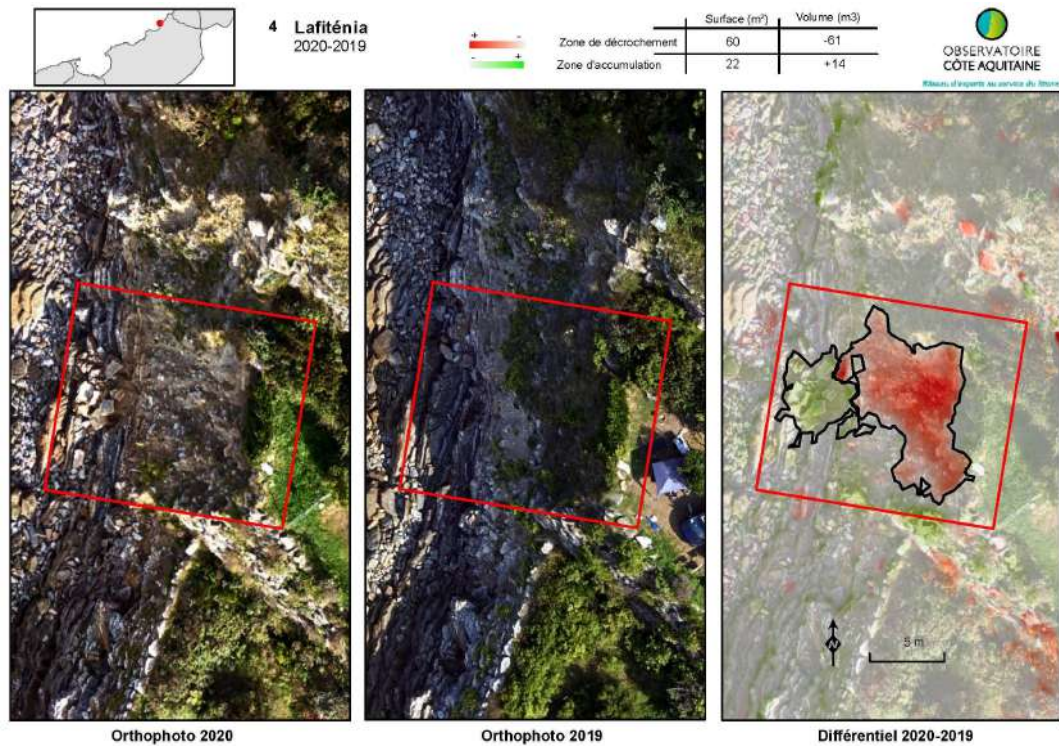


Illustration 39 - Zone de glissement à l'extrémité nord du secteur de Lafiténia. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

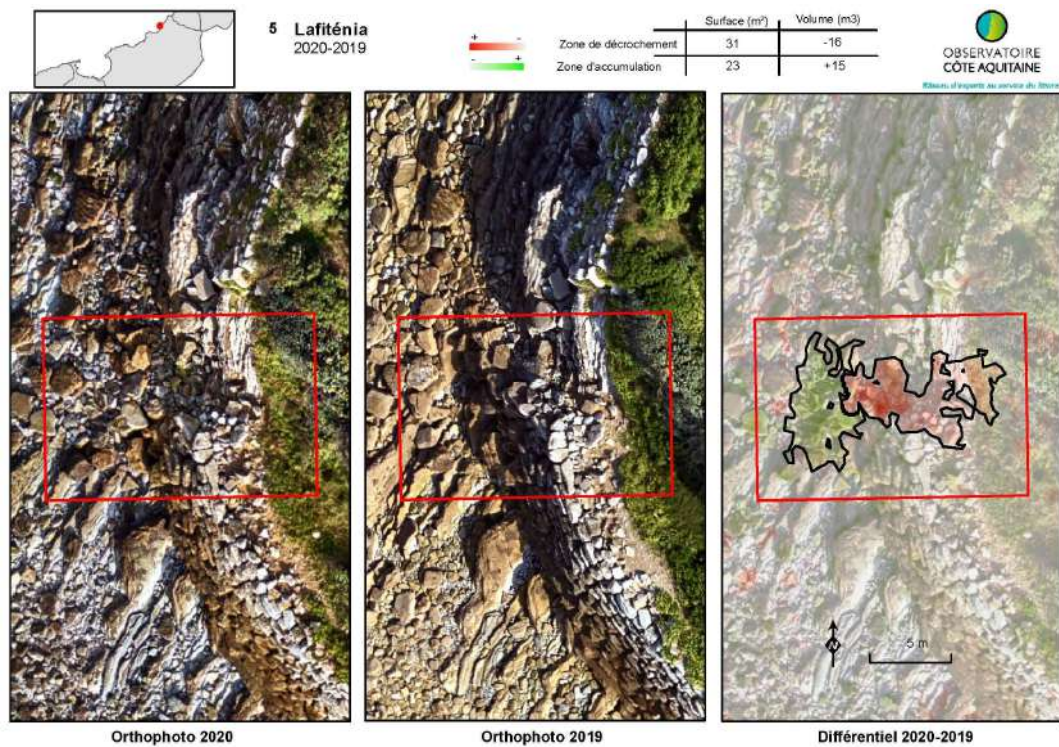


Illustration 40 - Petite entaille érosive à l'extrémité nord du secteur de Lafiténia. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 41 - Zones d'érosion, à l'extrémité nord de la plage de Lafiténia (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2020)

La troisième zone est située au sud immédiat du poste de secours de la plage et correspond à une érosion du pied de versant par la houle (Illustration 42 et Illustration 43). Déjà actifs au cours des années antérieures, ces processus érosifs se sont renforcés pendant la période 2019-2020, se concentrant principalement sur un linéaire d'une quinzaine de mètres (emprise de 53 m², soit une hauteur moyenne en pied de versant de l'ordre de 3,50 m). Les décrochements ont été quantifiés à près de 60 m³.

Cette évolution témoigne d'une érosion du pied de falaise, accompagnée d'une dynamique de glissement de la partie inférieure du versant, au sein de flyschs altérés. Au regard des éléments déclencheurs (pluviométrie, houle), une activité régressive plus ou moins importante est prévisible au cours des années à venir.

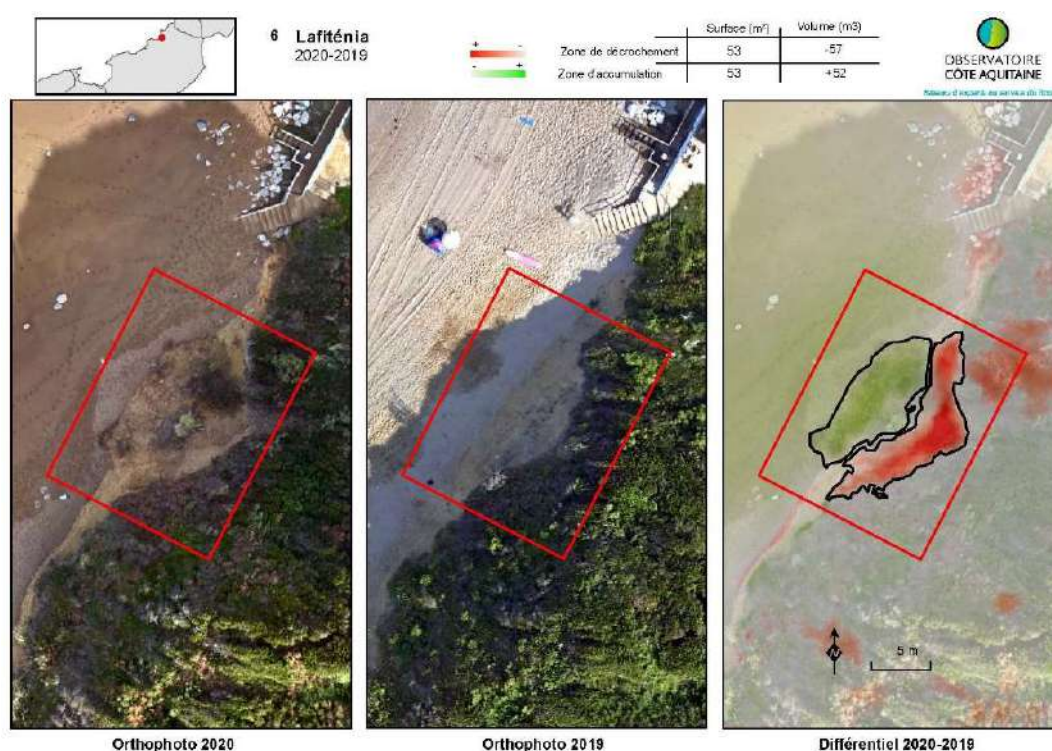


Illustration 42 - Entaille érosive en partie centrale du secteur de Lafiténia. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 43 - Zones d'érosion, en partie centrale de la plage de Lafiténia ; à noter que la masse glissée visible sur l'illustration 42 n'est pas identifiable sur ce cliché daté du 25/07/2020, le glissement s'est vraisemblablement produit entre fin juillet et novembre 2020 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebais, ULM Sud Bassin, 2020)

La zone active identifiée en partie sud-ouest de la plage, à partir des données 2017-2019, n'a pas connu d'évolution marquée pendant la période 2019-2020.

4.3.5. Secteur d'Erromardie

L'illustration 44 montre le résultat du différentiel lidar, sur l'ensemble du secteur de Erromardie, au cours de la période 2019-2020. L'analyse de ces données met en évidence deux zones d'activité significative dans la partie ouest de la plage (Illustration 44).

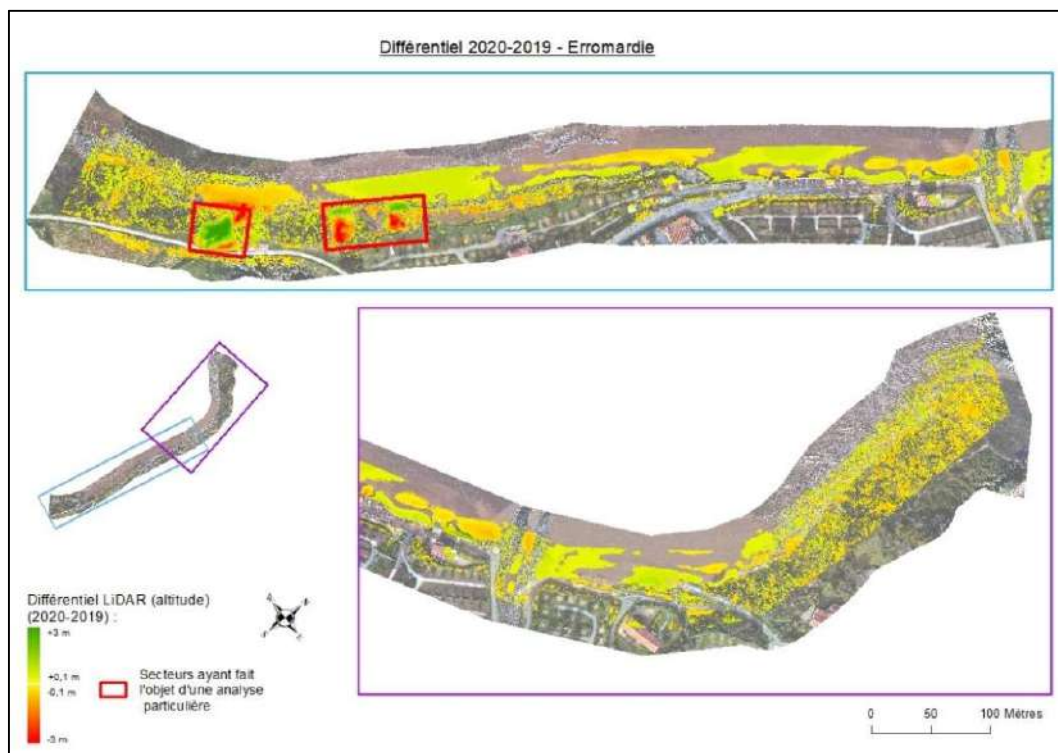


Illustration 44 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur d'Erromardie (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

La zone la plus occidentale correspond au glissement caractérisé pendant la période 2017-2019 (Illustration 45), situé au droit d'un point de rejet d'eaux pluviales, en partie haute de falaise, qui contribuait depuis des années à l'activité sur le site. Le différentiel lidar 2019-2020 témoigne des travaux opérés par la Ville de Saint-Jean-de-Luz, au début de 2020 : reprise de l'ouvrage EP (gestion des eaux pluviales), comblement de la masse perdue par enrochements, mise en place d'un masque drainant et revégétalisation de la partie haute de la cicatrice (Illustration 46 et Illustration 47).

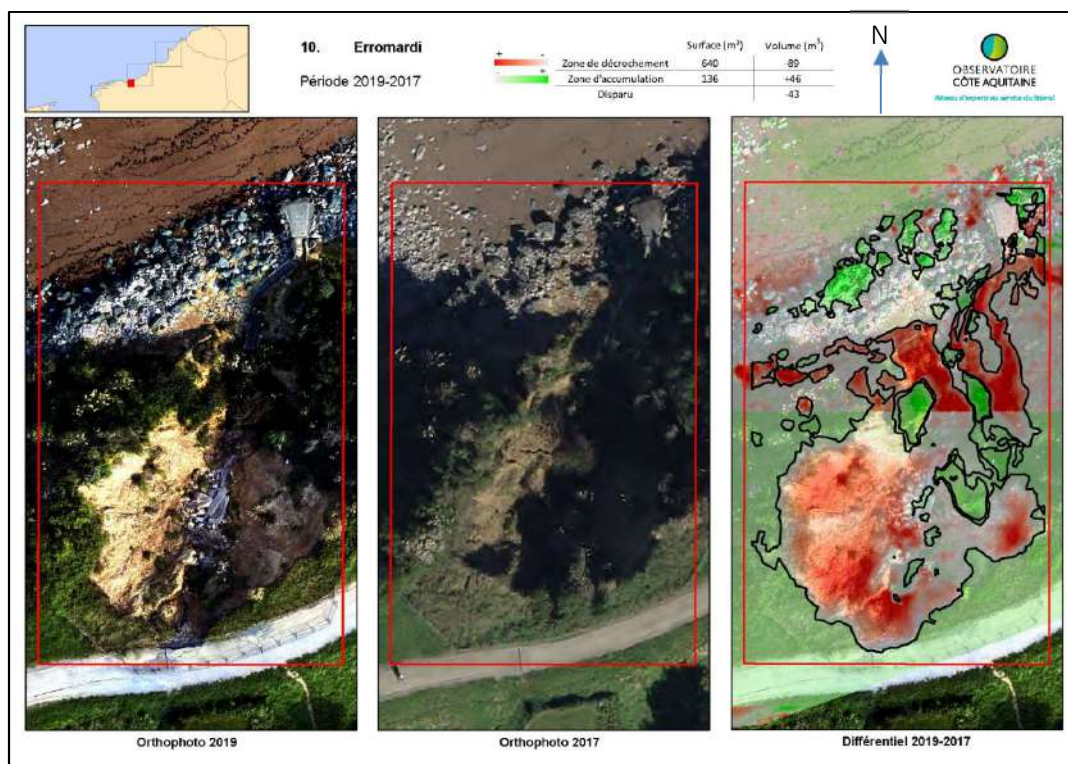


Illustration 45 - Zone de glissement en partie ouest d'Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2017 et 2019 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

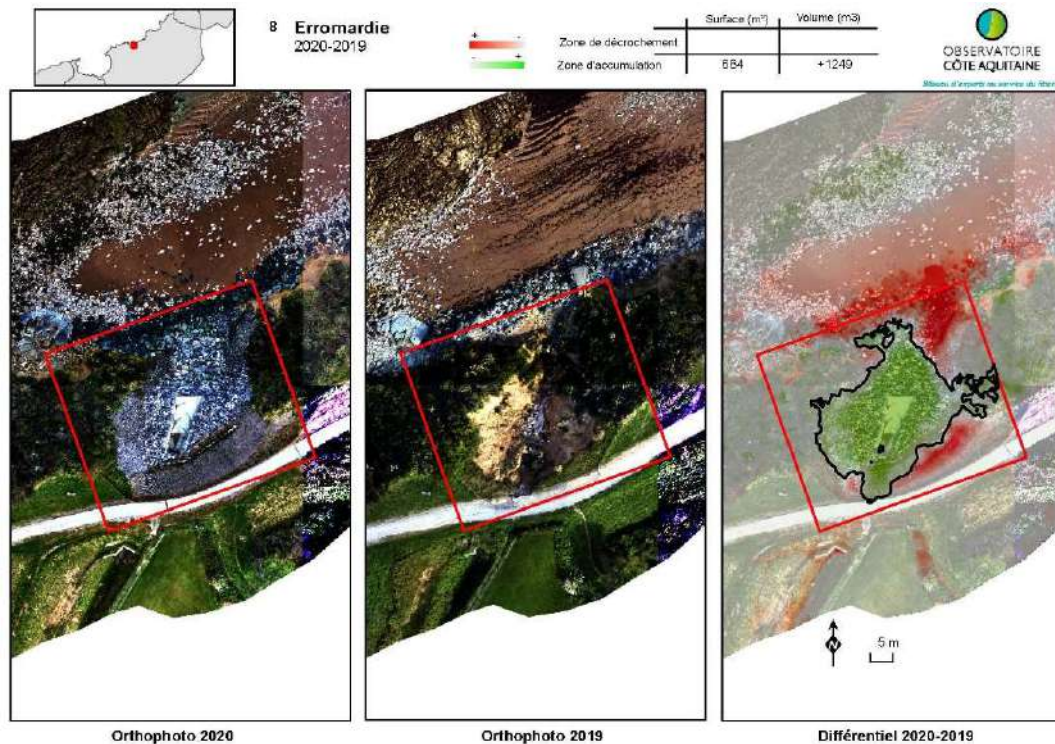


Illustration 46 - Traitement de la zone d'instabilité à l'extrémité ouest d'Erromardie. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 47 - Secteur ouest d'Erromardie après confortement et revégétalisation (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebass, ULM Sud Bassin, 2020)

La deuxième zone se situe à une centaine de mètres environ plus à l'est (Illustration 48 et Illustration 49). Ce secteur correspond à un glissement de terrain chronique, favorisé notamment par la forte altération des flyschs et par l'impact de la houle en pied d'escarpement (en dépit des enrochements présents en haut de plage). L'analyse des données lidar 2019-2020 pointe deux secteurs, proches d'une trentaine de mètres, sur lesquels la dynamique récente a été la plus marquée. Le volume cumulé mobilisé dans ces deux secteurs, entre les 2 dernières campagnes lidar, est de 950 m³. La surface de décrochement correspondante étant de 655 m², l'épaisseur moyenne érodée peut être évaluée en première approche à environ 1,50 m. Les deux tiers environ de ce volume glissé auraient été repris par l'océan au cours de la période considérée.

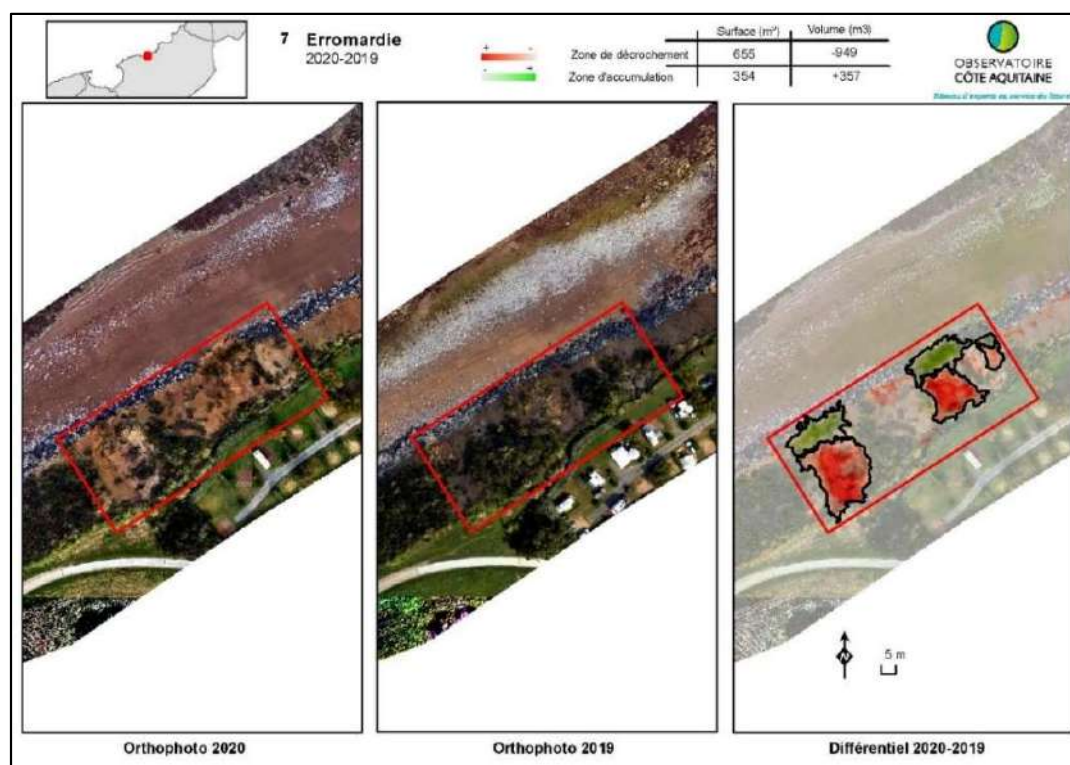


Illustration 48 - Zone de glissement à Erromardie Ouest, au droit du camping. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 49 - Versants ouest d'Erromardie, en proie à une dynamique de glissement de terrain généralisée ; identification des deux sous-secteurs plus actifs au cours de la période 2019-2020 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebais, ULM Sud Bassin, 2019 et 2020)

Les données lidar de la période 2019-2020 montrent que l'ensemble du versant, sous l'emprise du camping, est concerné par cette activité érosive (comme c'était déjà le cas pendant la période 2017-2019), avec une moindre intensité cependant.

Tout au long de la période 2017-2020 et pour la totalité du versant, au droit du camping, le volume de matériaux érodés a été évalué entre 1 750 et 1 800 m³, dont environ 1 300 m³ érodés au cours de la période 2019-2020. Si on considère que le linéaire de falaise correspondant est de 260 m, pour une hauteur moyenne de 15 m, cela représente environ 0,5 m³ de matériaux érodés par mètre-linéaire de falaise entre 2017 et 2020. L'illustration 50 montre que la partie ouest du versant est plus fortement affectée par cette érosion.

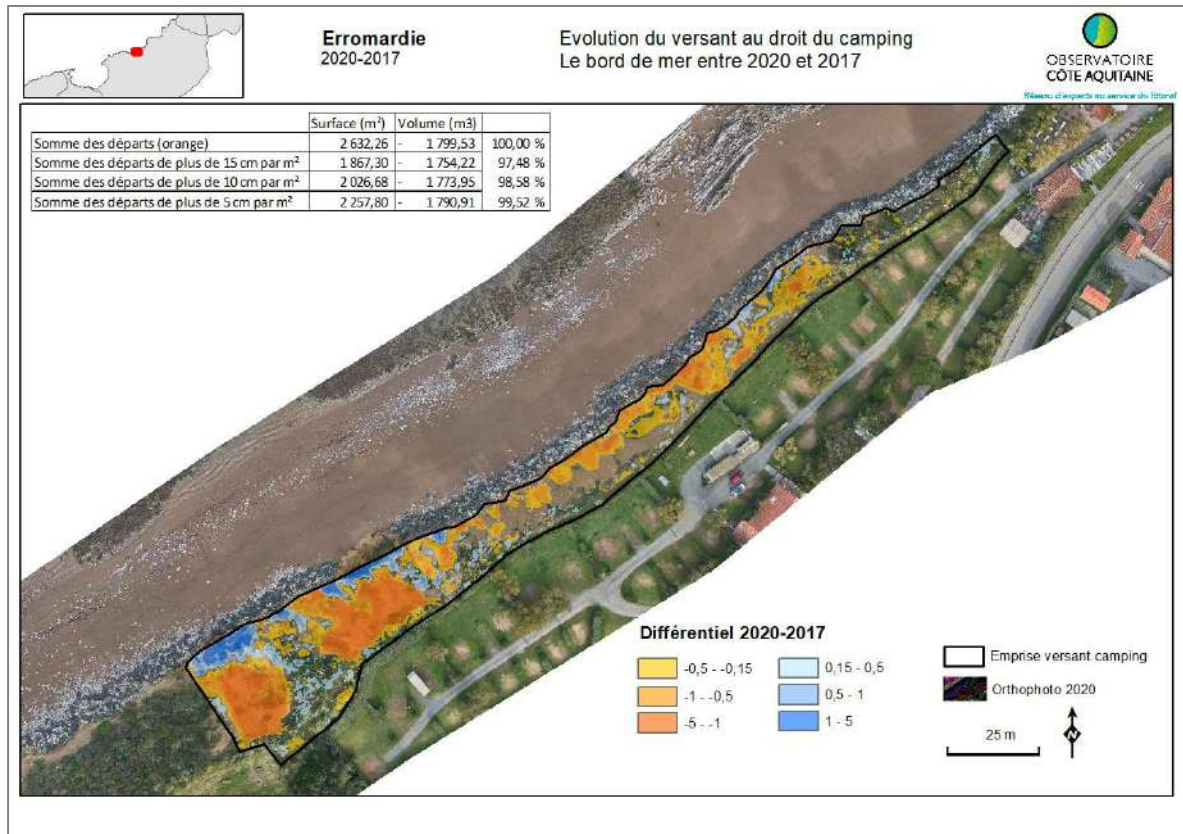


Illustration 50 - Analyse différentielle des données lidar au cours de la période de 2017 à 2020 ; évolution au droit d'Erromardie Ouest (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

4.3.6. Secteur d'Archilua

L'illustration 51 montre le résultat du différentiel lidar, sur l'ensemble du secteur d'Archilua, au cours de la période 2019-2020. L'analyse permet d'identifier trois zones ayant connu une activité érosive récente, plus marquée. Ces secteurs sont décrits ci-après, d'est en ouest.

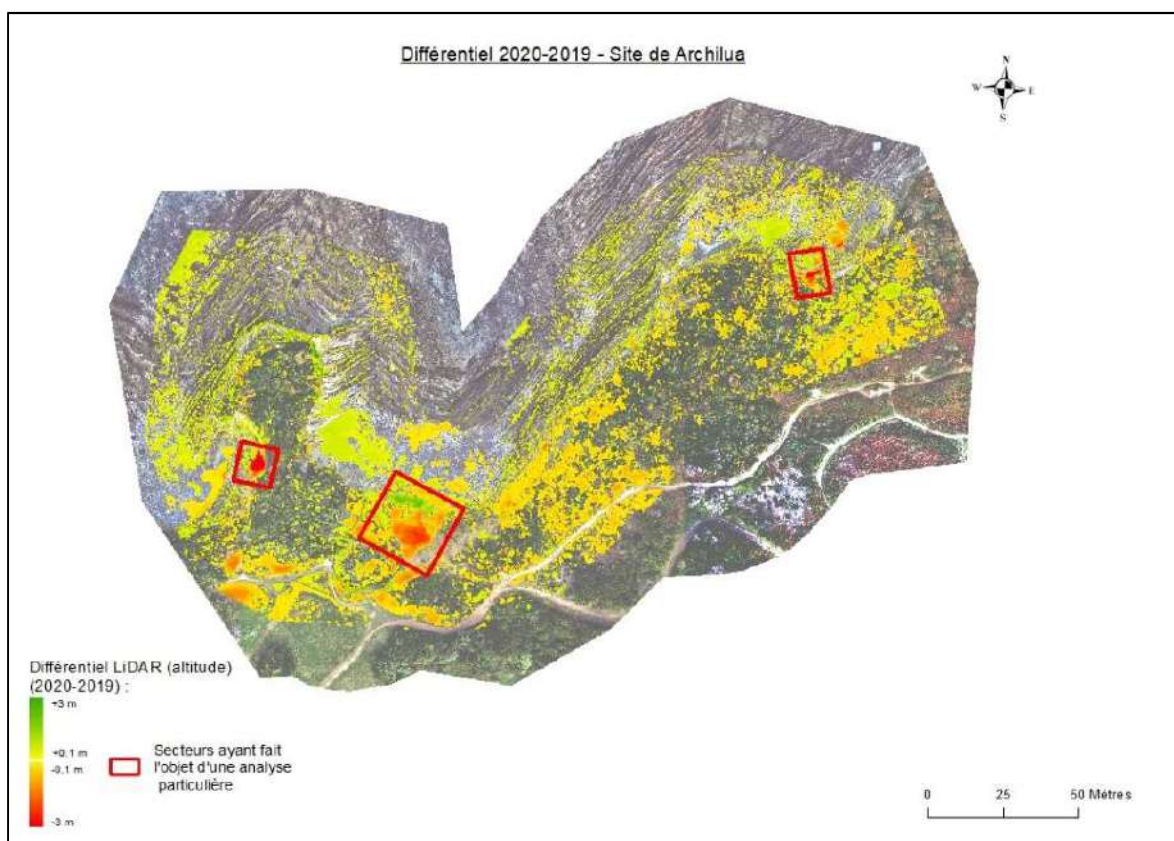


Illustration 51 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur d'Archilua (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

A l'extrémité est de la zone, les résultats de l'analyse diachronique permettent d'identifier une petite zone d'érosion (surface d'arrachement de 30 m², pour une largeur de l'ordre de 5 m) restreinte au pied de versant, dans des niveaux de flyschs peu altérés. Le volume érodé entre les campagnes 2019 et 2020 est évalué à près de 45 m³. Le phénomène est vraisemblablement lié à la rupture de bancs calcaires fracturés, sous l'effet des vagues, ayant entraîné le glissement localisé des niveaux superficiels sus-jacents, sur quelques mètres de hauteur. L'essentiel de la masse atterrie sur l'estran avait été remobilisée par les vagues.

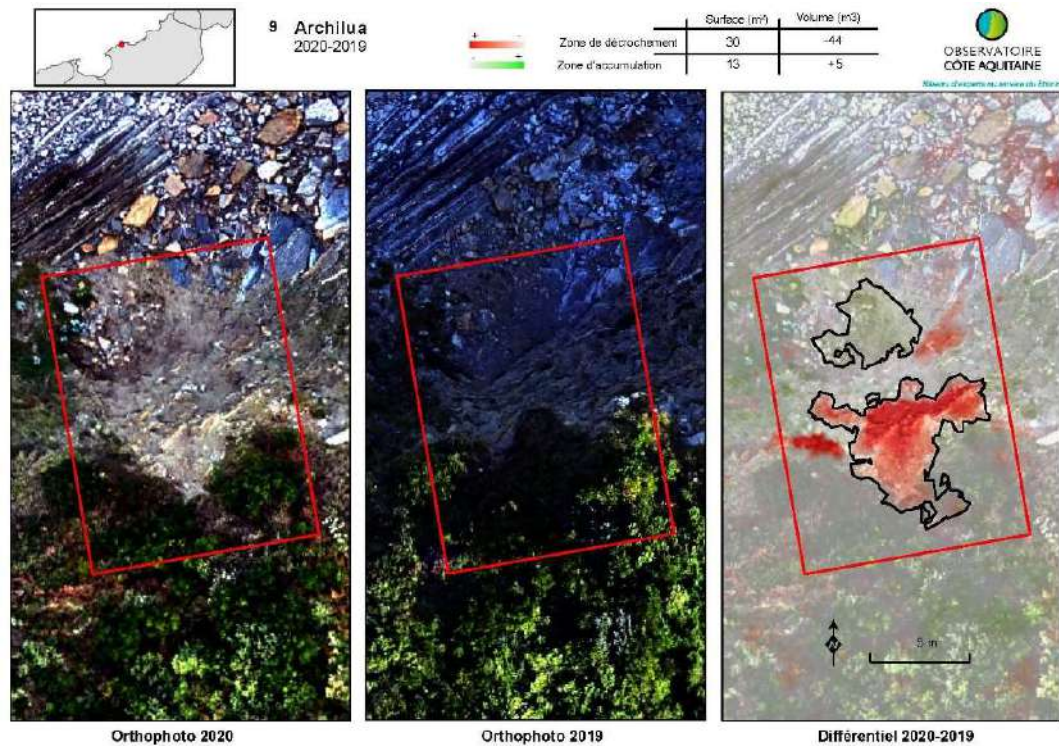


Illustration 52 - Zone d'évolution en partie est du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

Le volume érodé estimé est de 35 m³. Le visuel en 3D (Illustration 53) permet de mieux localiser les zones d'activité sur le versant.

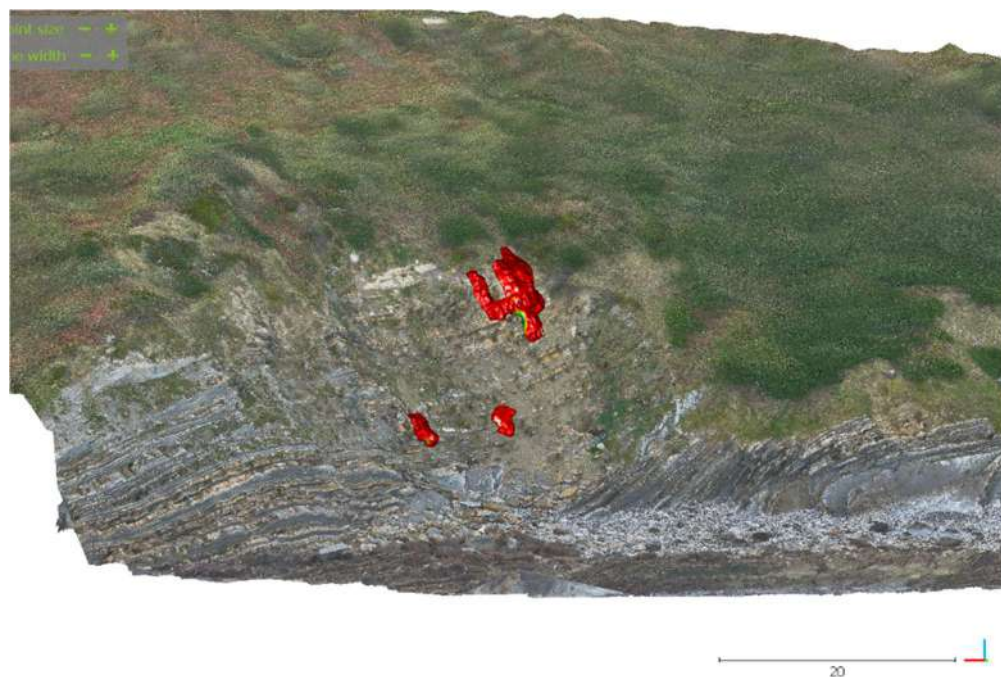


Illustration 53 - Zone d'évolution en partie est du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020
(en rouge : zones érodées ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

En partie centrale de la zone (Illustration 54 et Illustration 55), la zone en glissement, déjà identifiée à partir des levés 2017 à 2019 (cf. rapport BRGM/RP-69865-FR), a poursuivi son évolution au cours de la période récente. Le décrochement d'un volume de 206 m³ de matériaux (flyschs plus ou moins altérés) s'est produit entre les acquisitions de 2019 et 2020, dans la zone la plus active, présentant une largeur de l'ordre de 30 m. Pour rappel, un volume estimé à 140 m³ avait glissé, dans la même zone, entre 2017 et 2018. Ces matériaux sont rapidement repris par l'océan (déficit de matériaux de 70 % sur les 206 m³ éboulés, pendant la période 2019-2020). L'altération des flyschs et la forte exposition à la houle constituent ici également les principaux facteurs-moteurs.

L'extension latérale, ainsi que la régression des mouvements (potentiellement jusqu'en tête de versant), constituent l'évolution prévisible de la zone, à très court terme (dans les 2-3 ans à venir, voire de façon plus rapide).

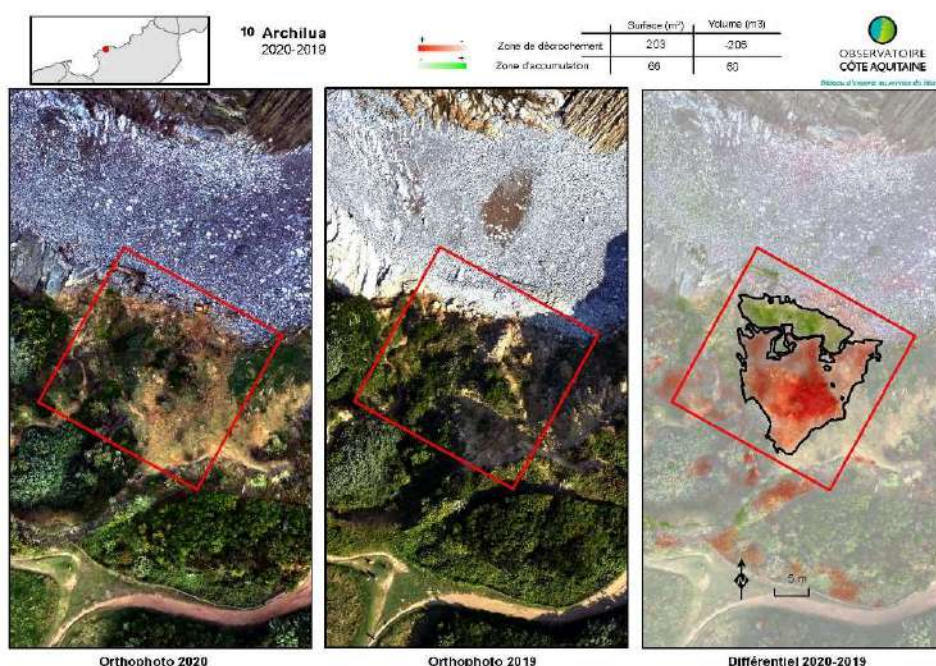


Illustration 54 - Zone d'évolution en partie est du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 55 - Zone active en partie centrale du secteur d'Archilua (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2020)

L'illustration 56 (réalisée avec le logiciel Cloudcompare® à partir du levé 2020) offre une bonne représentation du mouvement de terrain : en rouge, la partie qui a glissé ; en bleu, la partie qui s'est accumulée en pied de falaise. L'analyse des données permet d'évaluer à 201 m^3 le volume glissé et à 67 m^3 le volume accumulé en pieds de falaise ; ces valeurs étant très similaires à celles issues du calcul sous SIG (205 m^3 glissé et 60 m^3 accumulé, Illustration 54).

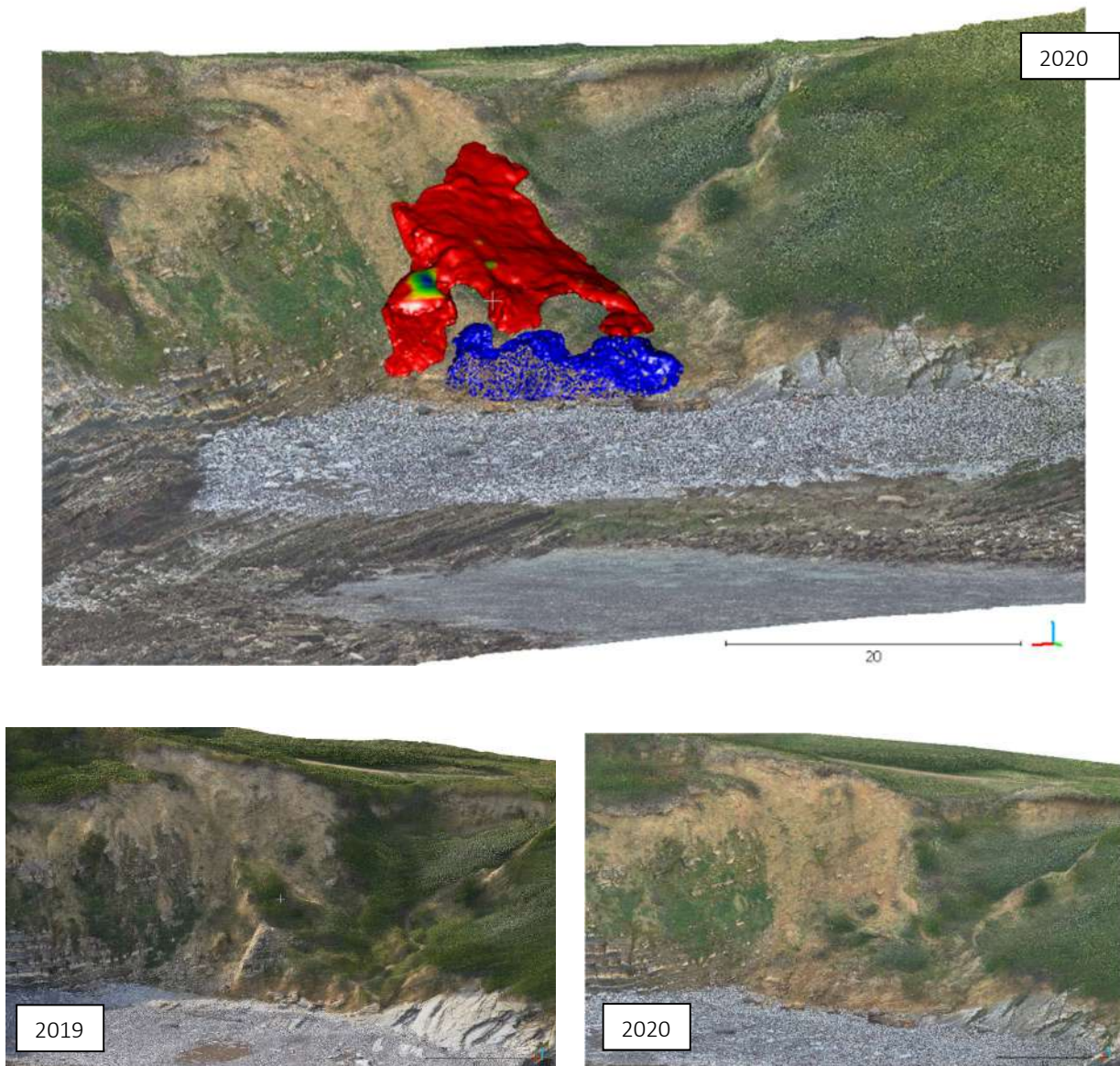


Illustration 56 - Vue 3D de la zone d'évolution, en partie est du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (en rouge : zones érodées ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

Un troisième secteur est identifié en partie ouest de la zone (Illustration 57). Les orthophotos et données lidar permettent d'identifier une instabilité d'un volume de 87 m^3 , pour la période 2019-2020. Celle-ci correspond probablement à la rupture de flyschs peu altérés fracturés, sur 8 m de large, en partie supérieure de l'escarpement (d'une vingtaine de mètres de hauteur) surplombant l'estran. Ce décrochement s'est accompagné du glissement des niveaux plus altérés, situés en contre-haut. L'ensemble de la masse éboulée avait été reprise par l'océan lors du levé de 2020.

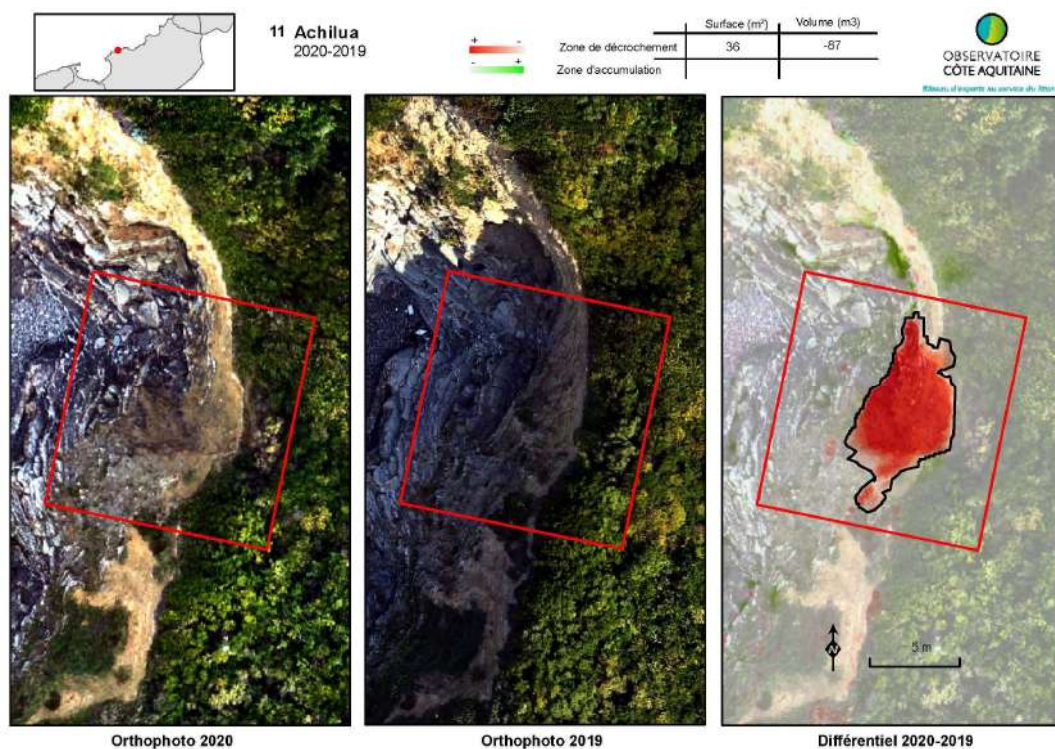


Illustration 57 - Zone d'évolution, en partie ouest du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

L'illustration 58 présente une vue en 3D du même secteur. Le différentiel calculé correspond à 80 m³ de matériaux érodés, pour une cicatrice de 8,5 m de hauteur sur 8 m de large.



Illustration 58 - Vue 3D de la zone d'évolution, en partie ouest du secteur d'Archilua. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (en rouge : zone érodée ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

4.3.7. Secteur de la Pile d'Assiettes

L'Illustration 59 montre le résultat du différentiel lidar, sur l'ensemble du secteur de la Pile d'Assiettes, au cours de la période 2019-2020.

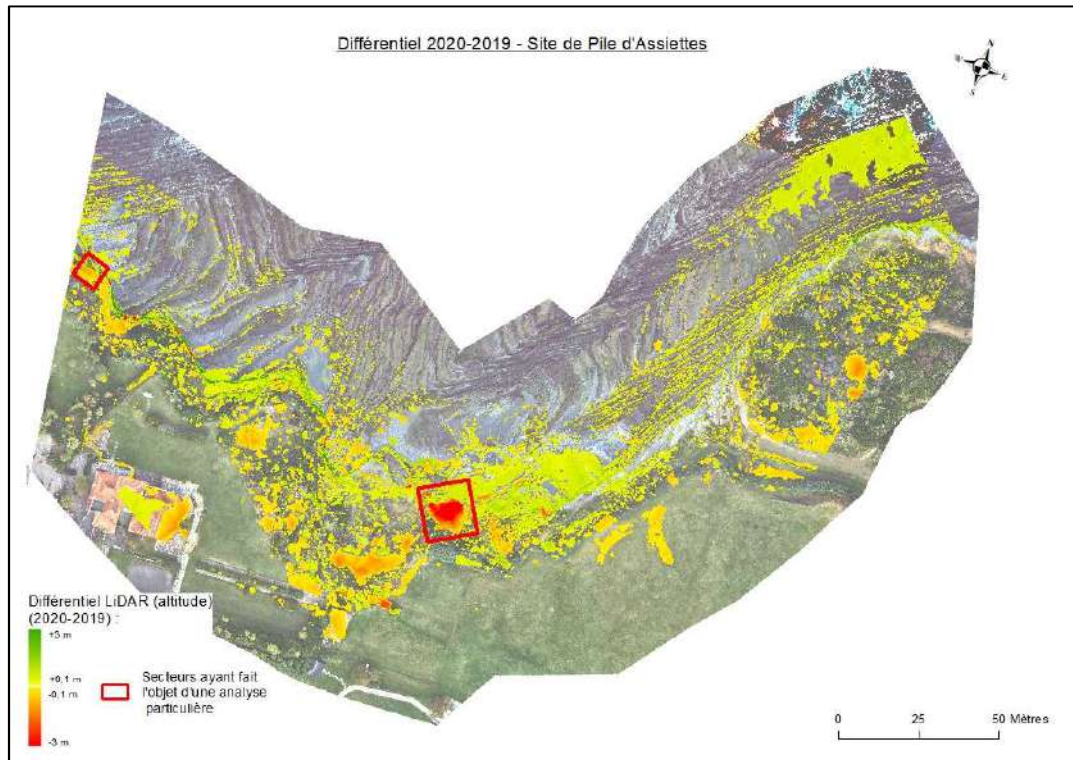


Illustration 59 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur de la Pile d'Assiettes (@Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

La principale zone d'activité identifiée, dans cette période, est située au nord-est de la cicatrice du glissement de février 2016. D'une largeur de 10 m environ, pour une hauteur sensiblement analogue (emprise de 93 m²), la cicatrice a libéré, pendant la période 2019-2020, un volume de matériaux de 196 m³. Le phénomène correspond vraisemblablement à la rupture de bancs de flyschs, armant la partie inférieure de la falaise et au glissement des niveaux de plus forte altération, situés en arrière. La cicatrice ne s'est pas développée jusqu'en sommet d'escarpement, mais cette évolution est à craindre à court, voire très court terme (Illustration 60 et Illustration 61).

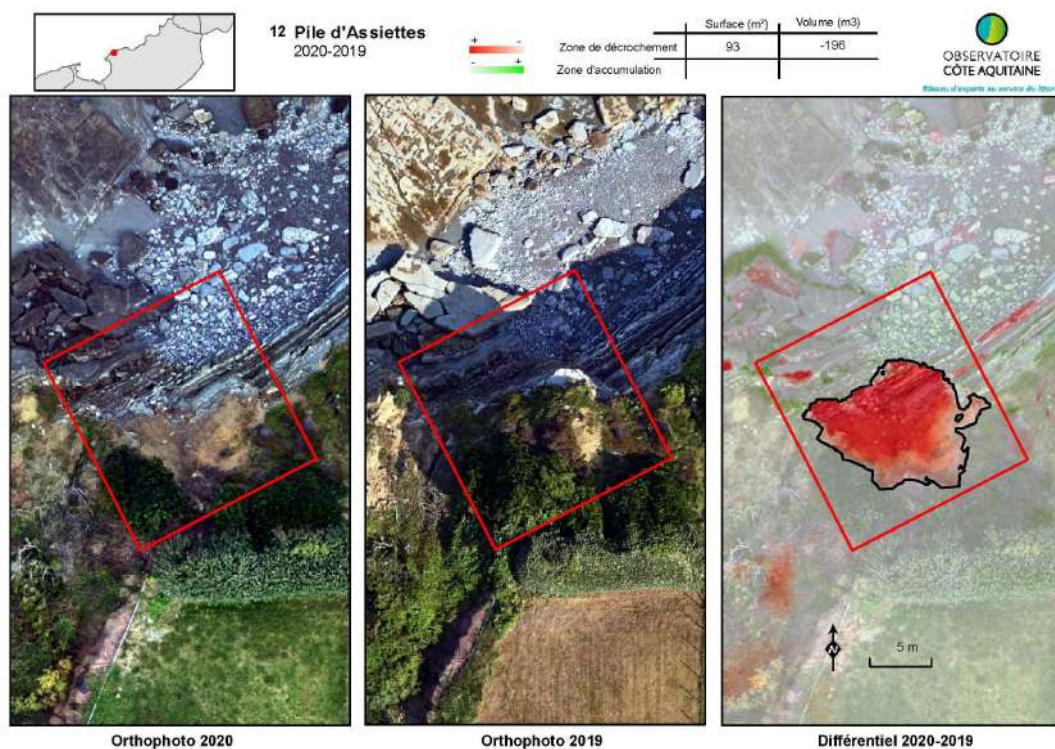


Illustration 60 - Zone d'évolution, en partie centrale du secteur de la Pile d'Assiettes. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

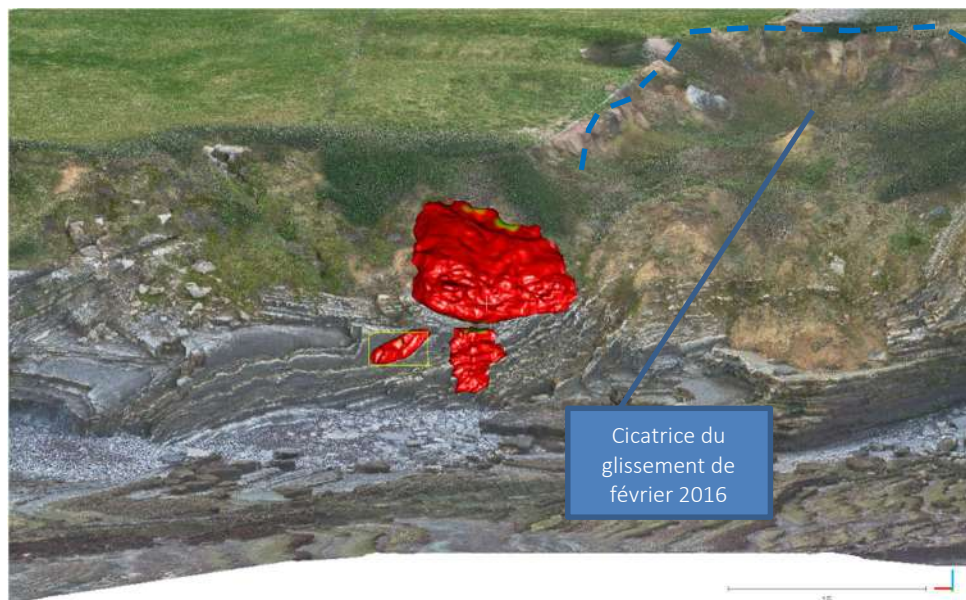


Illustration 61 - Vue sous Cloudcompare© de la zone d'évolution, en partie centrale du secteur de la Pile d'Assiettes ; les parties représentées en rouge correspondent aux zones d'ablation ; elles représentent un volume total de 172 m³, calculé par différences entre les nuages de point, à comparer aux 196 m³, évalués par différentiel lidar (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

On notera que le différentiel lidar 2019-2020 ne met pas en évidence d'évolution sensible de la cicatrice du glissement de février 2016, au droit de la résidence hôtelière la Réserve.

Une seconde zone d'évolution, d'emprise sensiblement inférieure (20 m^2 pour un volume mobilisé d'une dizaine de m^3) est localisée à l'extrémité sud-ouest du secteur (Illustration 62).

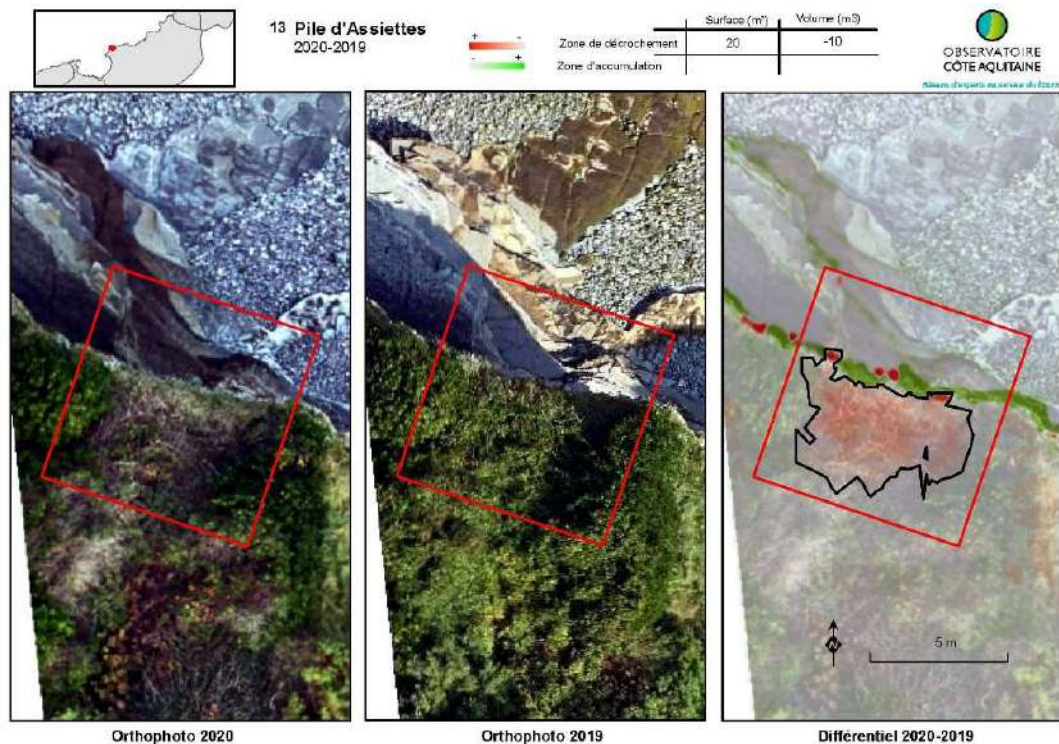


Illustration 62 - Zone d'évolution à l'extrémité sud-ouest du secteur de la Pile d'Assiettes. Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, HéliMAP)

4.3.8. Secteur de Sainte-Barbe

L'illustration 63 montre le résultat du différentiel lidar, sur l'ensemble du secteur de Sainte-Barbe, au cours de la période 2019-2020. Seules deux zones restreintes ont été identifiées comme ayant connu une évolution (de faible intensité) pendant la période récente.

En partie centrale, au droit de la promenade Féodor Chaliapine, un compartiment rocheux de 5 m^3 environ s'est décroché depuis les bancs de flyschs armant la partie haute de l'escarpement subvertical (Illustration 64). Cette instabilité reste sans conséquence significative à très court terme (échéance 2 à 3 ans) pour les conditions de stabilité du versant et vis-à-vis de l'exposition de la promenade.

Au sud-ouest de la zone, l'impact des vagues a vraisemblablement été à l'origine de la rupture de dalles rocheuses, en partie basse de la falaise. Le décrochement concerne une zone de 12 m de large, pour un volume estimé à 38 m^3 (Illustration 65). Il s'agit du même secteur, identifié lors de l'analyse des données lidar 2017-2019, dans lequel un départ de matériaux de 73 m^3 avait été recensé en partie haute de falaise, à une dizaine de mètres en surplomb de l'estran (Illustration 66). A très court terme et en l'absence d'enjeu dans l'environnement immédiat, cette évolution ne conduit pas, à ce stade, à nourrir une inquiétude particulière. Les prochains suivis nécessiteront toutefois une certaine vigilance de la zone.

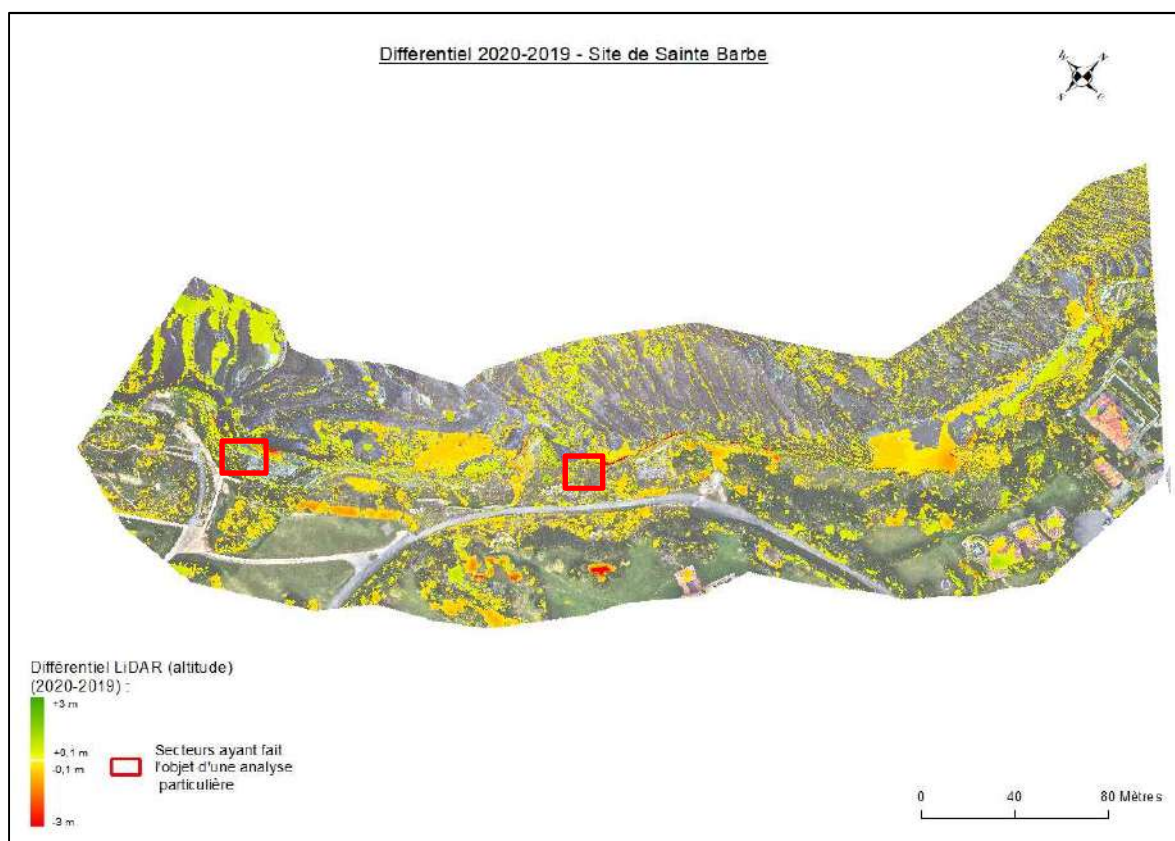


Illustration 63 - Différentiel lidar 2020-2019, dans le secteur de Sainte-Barbe (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 64 - Identification sous Cloudcompare© de la rupture d'un compartiment rocheux de 5 m³, en partie centrale du secteur de Sainte-Barbe, entre 2019 et 2020 (vue 2020, en rouge : zone érodée ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)



Illustration 65 - Identification sous Cloudcompare© de la rupture de dalles rocheuses, en partie sud-ouest du secteur de Sainte-Barbe, entre 2019 et 2020 (vue 2020, en rouge : zone érodée ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

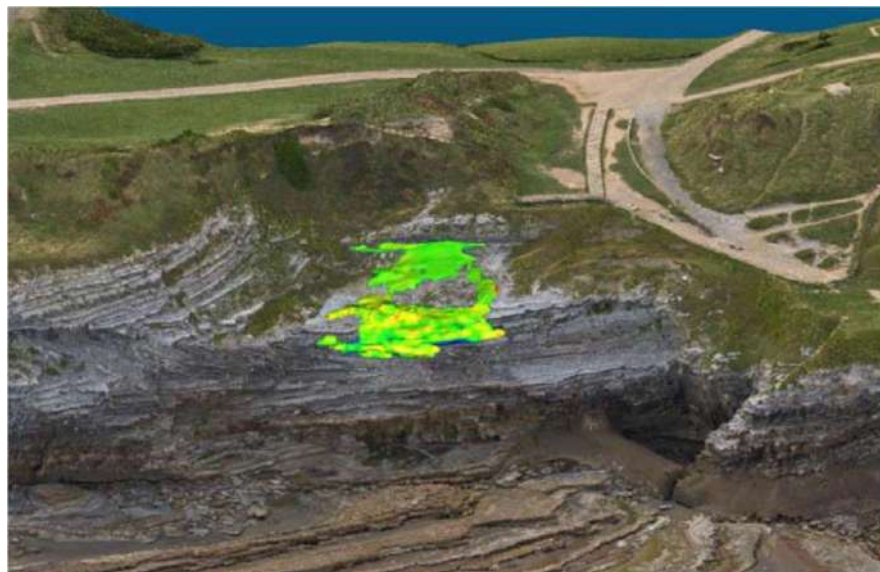


Illustration 66 - Identification sous Cloudcompare© de la zone de départ, identifiée en partie sud-ouest du secteur de Sainte-Barbe, entre 2017 et 2019 (cf. rapport BRGM/RP-69865-FR) (vue 2019, en vert : zone érodée ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

5. Conclusion

La présente étude porte sur l'analyse des données lidar (et mesh 3D*), acquises par moyens aéroportés, depuis l'année 2017, sur la partie « côte rocheuse » du littoral de Saint-Jean-de-Luz (depuis Sénix jusqu'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'étude initiée en 2017 a permis de mettre en place progressivement une méthode de suivi adaptée à la géomorphologie des falaises luziennes et à la dynamique des mouvements de terrain qui la caractérisent. Cette approche, désormais opérationnelle, permet d'identifier et de quantifier ces aléas de manière précise et régulière.

L'analyse diachronique des jeux de données de 2017 à 2019 (cf. rapport BRGM/RP-69865-FR) a permis de montrer la capacité d'identifier des instabilités de terrain, d'ampleur plus ou moins importante, dans les contextes géomorphologiques variés, 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 analyse plus fine et adaptée 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.).

Le présent rapport porte sur l'analyse diachronique des jeux de données de 2019 et 2020. Conformément aux recommandations émises dans le rapport BRGM/RP-69865-FR, la campagne 2020 par drone a été complétée par des acquisitions lidar terrestre, pour les principales zones de cavités ou de surplomb, présentes dans les zones d'étude (pour lesquelles les données "drone" étaient jugées insuffisantes au regard des contraintes de plan de vol).

L'analyse de ces données a permis d'identifier plusieurs zones d'instabilité, survenues au cours de la période 2019-2020, et de caractériser notamment les volumes mobilisés. La dynamique, mise en évidence lors de cette période, est restée relativement limitée, avec plusieurs zones d'instabilité, mais dont l'intensité est restée globalement assez faible. On gardera néanmoins à l'esprit que les résultats n'intègrent pas la fin d'année 2020 (campagne 2020 réalisée en novembre), marquée notamment par le glissement de terrain, survenu mi-décembre, dans le secteur d'Archilua, à la suite des fortes précipitations de la première décade du mois.

Sur la base de l'analyse des données 2019 et 2020, il est recommandé de renouveler le suivi suivant la même méthode, avant la saison hivernale 2021-2022. Il est également conseillé de poursuivre l'acquisition aéroportée à visée oblique, avec fourniture d'une orthophotographie, d'un nuage de points colorés, du MNT associé, et du différentiel 2021-2020 sous la forme d'un MNT. Le levé complémentaire terrestre lidar est également recommandé, afin de permettre une analyse diachronique de la période 2020-2021 pour les zones de cavités et surplombs des secteurs d'Archilua, de la Pile d'Assiettes et de Sainte-Barbe.

6. Bibliographie

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

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.

Razin P. (1989) - Évolution tecto-sédimentaire alpine des Pyrénées basques à l'ouest de la transformante de Pamplona (province du Labourd). Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 3.

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 technique de l'Observatoire de la Côte Aquitaine. NT_AQI_2018_007.

7. 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.

Mesh3D : 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 prise 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.

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



SAINT JEAN DE LUZ

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

BRGM Aquitaine	316
Courrier arrivé le:	09.10.16
A suivre par:	C.M.
Copie pour inf.:	CG
N° de projet:	AP 16 AQU 015
Classement:	Tache A / Suivi

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

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

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 prestataire pour la mission 2020

***Cahier des charges pour la réalisation d'un
modèle 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz
(Pyrénées-Atlantiques)***

20 juillet 2020



Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020

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 première campagne de levés topographiques héliportés par LIDAR/photogrammétrie a été lancée en 2017, puis des campagnes ont été renouvelées en 2018 et 2019 sur les falaises de Saint-Jean-de-Luz (acquisition entre août et novembre). Une nouvelle campagne de levés est envisagée au cours de l'été/automne 2020, le but étant principalement de suivre l'évolution du littoral depuis la fin de l'année dernière : trait de côte, zones d'érosion, volumes déplacés.

2. Nature de la prestation demandée

Le BRGM fait appel à un sous-traitant pour l'élaboration d'une représentation 3D de linéaires stratégiques du littoral rocheux de la commune de Saint-Jean-de-Luz. Les rendus attendus sont notamment un mesh 3D et un MNT haute-résolution accompagnés d'un nuage de points. L'acquisition de ces données topographiques se fera par LIDAR héliporté couplé ou non avec de la photogrammétrie.

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 découverte au maximum à marée basse).

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 comprise entre une vingtaine et une quarantaine de mètres.

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

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 prospector.

Des photographiques aériennes obliques figurent également en annexe 1.

Un shapefile définissant l'emprise souhaitée est également fourni avec le présent document.

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020



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



Secteur d'Erromardie

20 juillet 2020

5

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020



Secteurs de Lafitena, Mayarko et Senix

4. Méthode

Les acquisitions topographiques seront produites par levé LIDAR/photo hélicopté.

Le vol s'effectuera à marée basse et dans la mesure du possible en période de gros coefficients (supérieurs à 100).

L'acquisition se fera par visées azimutales mais également 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 en arrière du sommet de celle-ci.

La visée oblique sera d'autant plus nécessaire sur les falaises subverticales (secteur Pile d'Assiettes et Sainte Barbe).

En plus de ces levés hélicoptés, un complément devra être réalisé à partir d'un LIDAR terrestre ponctuel lorsque la falaise présente des zones en surplomb (sud d'Archilua, cavités sur la Pile d'Assiette et Sainte Barbe). Cf. étoiles rouges sur la figure ci-dessous. Et de façon général là où le nuage de point initial est incomplet sur les falaises. Les nuages de point terrestres et hélicoptés devront alors être fusionnés en un seul. Ce complément sera une option de la prestation (cf.6. Livrables).



http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/static-files/potree/STJDL_2019_rgb.html

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020

A noter que l'accès au pied de falaise sur ces secteurs n'est pas aisé, il peut se faire via les jardins des propriétaires, une demande d'autorisation devra être formalisée avec l'aide de l'Observatoire de la Côte Aquitaine et de la commune de Saint Jean de Luz.

Le prestataire pourra proposer une solution alternative au levé terrestre pour compléter les zones blanches.

La classification du nuage de point permettra bien de distinguer la roche de la végétation.

Le MNT produit présentera une précision planimétrique et altimétrique de cinq centimètres. 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.

Un texturage du mesh 3D devra également être fourni.

Les nuages de point obtenus les années antérieures ne pourront pas servir à augmenter la densité de points du nouveau nuage.

A réception, 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).

5. Calendrier

La campagne d'acquisition devra être menée entre septembre et octobre 2020, en période de gros coefficient (coefficients >100) 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 début décembre 2020.

Périodes d'acquisition répondant aux critères de marée			
Calendrier des marées		Saint-Jean-de-Luz	
Août 2020		Septembre 2020	
01 S. Alphonse	64 68	01 M. Grise	78 81
02 D. Julien E.	72 75	02 M. Ingrid	84 85
03 L. Lydie	78 81	03 J. Grégoire	86 87
04 M. Jean-Marie V.	83 84	04 V. Rosalie	87 88
05 M. Abel	84 84	05 S. Raissa	84 81
06 J. Transfiguration	83 81	06 D. Sylvain	75 75
07 V. Gaëtan	79 76	07 L. Reine	71 66
08 S. Dominique	73 69	08 M. Nativité	61 56
09 D. Amour	65 60	09 M. Alain	51 45
10 L. Laurent	56 51	10 J. Inès	40 35
11 M. Claire	46 42	11 V. Adelphe	32
12 M. Clotilde	36 35	12 S. Apollinaire	30 31
13 J. Hippolyte	33	13 D. Aimé	35 42
14 V. Evrard	33 35	14 L. Croix Glorieuse	48 58
15 S. Assomption	39 45	15 M. Roland	67 75
16 D. Arnel	51 57	16 M. Edith	84 91
17 L. Hyacinthe	64 71	17 J. Renaud	98 104
18 M. Hélène	78 84	18 V. Nadège	109 112
19 M. Jean-Eudes	90 94	19 S. Emilie	113 113
20 J. Bernard	99 101	20 D. Davy	111 107
21 V. Christophe	103 104	21 L. Matthieu	101 95
22 S. Fabrice	103 100	22 M. Maurice	87 78
23 D. Rose de L.	96 91	23 M. Kocmine	69 60
24 L. Barthélémy	85 78	24 J. Thécie	52 45
25 M. Louis	71 63	25 V. Hermann	46
26 M. Natacha	56 50	26 S. Côme: Damien	39 41
27 J. Monique	48	27 D. Vincent de P.	45 51
28 V. Augustin	44 46	28 L. Venceslas	57 63
29 S. Sabine	49 53	29 M. Mich. Gab. R.	68 73
30 D. Flacé	59 64	30 M. Jérôme	77 81
31 L. Aristide	69 74		
		Octobre 2020	
		01 J. Thérèse...	84 88
		02 V. Léger	87 88
		03 S. Gérard	87 87
		04 D. François...	85 83
		05 L. Fleur	81 78
		06 M. Jean...	74 66
		07 M. Serge	65 59
		08 J. Pélagie	54 48
		09 V. Denis	43 37
		10 S. Ghislain	33 31
		11 D. Firmin	32
		12 L. Wilfried	36 43
		13 M. Géraud	51 60
		14 M. Luc	66 76
		15 J. Thérèse...	88 96
		16 V. Edwige	103 108
		17 S. Baudoin	112 115
		18 D. Luc	115 114
		19 L. René	111 107
		20 M. Adeline	100 93
		21 M. Céline	84 76
		22 V. Shyla	66 56
		23 V. Jean...	50 43
		24 S. Florentin	39
		25 D. Crépin	40
		26 L. Dinaï	44 49
		27 M. Emeline	54 60
		28 M. Jude	64 69
		29 J. Naricisse	73 77
		30 V. Bienvenu	79 82
		31 S. Quentin	83 84
		Novembre 2020	
		01 D. Toussaint	85 84
		02 L. Défunts	84 82
		03 M. Hubert	80 78
		04 M. Charles	75 71
		05 J. Sylvie	67 62
		06 V. Bertille	58 52
		07 S. Carine	46 43
		08 D. Geoffroy	40 38
		09 L. Théodore	36 42
		10 M. Léon	47
		11 M. Armistice	54 62
		12 J. Christian	71 79
		13 V. Brice	87 93
		14 S. Sidoine	100 104
		15 D. Albert	107 109
		16 L. Marguerite	104 108
		17 M. Elisabeth	105 101
		18 M. Aude	96 89
		19 J. Tanguy	82 75
		20 V. Edmond	67 60
		21 S. P. de Marie	53 47
		22 D. Cécile	43 41
		23 L. Clément	46
		24 M. Flora	41 44
		25 M. Catherine	47 52
		26 J. Delphine	56 60
		27 V. Séverin	63 67
		28 S. Jacques...	70 73
		29 D. Saturnin	75 77
		30 L. André	79 79

20 juillet 2020

7

Les gros coefficients sont ciblés en particulier dans le cas d'un complément d'acquisition LiDAR par voie terrestre. Si cette méthode ou option n'est pas retenue, un coefficient de 80 serait suffisant.

6. Livrables

Les livrables attendus seront :

- des données brutes :
 - o plan de vol au format ESRI Shapefile
- des données traitées :
 - o Nuages de points 3D classifiés (classes sol, végétation haute, végétation rase, bâti) d'une densité minimale de 50 points/m² au format LAS ou LAZ, les valeurs seront arrondis au mm près
 - o MNT maillé au pas 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
 - o mesh 3D par falaise au format OBJ et PLY + MTL
 - o mesh 3D par falaise texturé au format OBJ + JPG + MTL
Pour la texture, les images auront une résolution permettant de représenter des détails photographiques de 5cm.
 - o une orthophotographie verticale segmentée en dalles régulières au format GeoTIFF et à une résolution de 5cm
 - o Différentiel LiDAR à partir des MNT des millésimes 2019 et 2020 (différentiel 2020-2019).

D'autres rendus complémentaires optionnels sont envisagés dans un second temps et seront étudiés en fonction de ses contraintes techniques et financières.

Option 1 : levé complémentaire terrestre

En complément du levé hélicopté, un ajustement devra être réalisé à partir d'un LiDAR terrestre ponctuel ou autre solution alternative lorsque la falaise présente des zones en surplomb (sud d'Archilua, cavités sur la Pile d'Assiette et Sainte Barbe). Cf. étoiles rouges sur la figure page 6. Et de façon général sur l'ensemble des zones blanches du nuage initial. Les nuages hélicopté et complémentaire devront alors être fusionnés en un seul.

Option 2 : colorisation du nuage de point

Toutes les données seront géoréférencées en **RGF93/Lambert 93 - NGF IGN69 (EPSG 2154)**.

Les noms des fichiers (nuages, MNT et photos) contiendront les informations suivantes : la date d'acquisition, le type d'outil (lidar / photogrammétrie), le nom du secteur, la résolution, la projection.

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 détaillera le nom (marque/type) des instruments utilisés, un plan d'assemblage des dalles produites, des illustrations des données et une validation de la précision des données avec un tableau donnant les écarts XYZ à des points de référence.

La livraison des données sera attendue au maximum 2 mois après le levé.

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020

Annexe 1

Photographies obliques des sites

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

20 juillet 2020

9

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020



Site de Sainte-Barbe

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



**Sites de Sainte-Barbe (à droite)
et de la Pile d'assiettes (à
gauche)**

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



**Sites de la Pile d'assiettes (à
droite) et d'Archilua (à gauche)**

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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020



Site d'Erromardie, d'Ouest en Est (1/6)

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



Site d'Erromardie, d'Ouest en Est (2/6)

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



Site d'Erromardie, d'Ouest en Est (3/6)

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

20 juillet 2020

11

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020



Site d'Erromardie, d'Ouest en Est (4/6)

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



Site d'Erromardie, d'Ouest en Est (5/6)

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



Site d'Erromardie, d'Ouest en Est (6/6)

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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020



Site de Lafitenia (partie Ouest)

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



Site de Lafitenia (partie centrale)

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



Site de Lafitenia (partie Est)

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

20 juillet 2020

13

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020



Site de Mayarko (partie Ouest)

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



Site de Mayarko (partie Est)

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



Site de Senix

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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020

Annexe 2

Fiche simplifiée de saisie des métadonnées

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

20 juillet 2020

15

Cahier des charges – MNIT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020

GeoCatalogue / Fiche d'identification d'un jeu de données cartographiques

Saisie des métadonnées d'une donnée géographique

* La saisie des informations indiquées ci-dessous est obligatoire dans le cas d'une donnée conservée sur INSPIRE

Description

* Intitulé de la ressource :

* Résumé de la ressource :

* Identifiant de la ressource unique :

* Catégorie thématique :

* Thème INSPIRE :

* Rectangle de calibration géographique : Rectangle de l'emprise des données en degrés décimaux (per décimale, l'angle décimal)

Region		
Département		
Commune (s)		
Commune (Luz)		
Latitude	41.68	41.35
Longitude	5.78	5.77

* Informations temporelles

Date de la ressource (création) : (format AAAA-MM-JJ)

Date de la ressource (actualisation) : (format AAAA-MM-JJ)

Date de la ressource (prochaine révision) : (format AAAA-MM-JJ)

Échelle temporelle : (format AAAA-MM-JJ)

* Géométrie 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 – MNIT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020

GeoDataquest: Fichier Métadonnées relatif à un jeu de données géographiques

Code postal :
 e-mail :

*Responsable du jeu de données :

Organisme :
 Adresse :
 Ville :
 Code postal :
 e-mail :
 site :

Contraintes en matière d'accès et d'utilisation de la ressource

Limitations d'accès public

Restrictions d'accès ou de sous-ensemble	Valables autorisées, mais insuffisantes à financer la base légale des limitations d'accès public	Conformité de sécurité

Les conditions d'accès et d'utilisation découlant des conditions applicables à l'accès et à l'utilisation des données et des services de données géographiques, et, le cas échéant, les frais correspondants. Si vous ne pouvez pas accéder à l'accès à la ressource et à son utilisation, ou si vous ne mentionnez aucune condition d'accès, appliquez les conditions suivantes : en utilisant la mention « conditions non spécifiées ».

Conditions applicables à l'accès et à l'utilisation de la ressource :

Mots-clés décrivant la ressource

Résumé des mots-clés pertinents :

Accès à la ressource

	Adresse URL	Nom
Lien Internet		
Lien vers contenu de visualisation		
Lien vers téléchargement		

Informations sur les métadonnées

Catégorie des métadonnées :

Type de métadonne :

Unité d'utilisation des métadonnées :

Informations complémentaires sur la ressource

Catégorie décrivant la ressource :

Je n'ai pas d'informations complémentaires :

Pour plus d'informations complémentaires : contact@geodataquest.fr V1.0 - Copyright BRGM

Cahier des charges – MNIT Saint-Jean-de-Luz – OCA 2020

Données géographiques et métadonnées selon le modèle INSPIRE pour les jeux de données vectoriels géométriques

Type de représentation spatiale :	
Présentation des coordonnées :	
Encodage de la ressource :	Version du format :
Système de référence spatiale :	géographique
Contenance topologique :	
Résolution spatiale	
Résolution indiquée en échelle : 1/	
OU Résolution indiquée en taille de pixels (mètres) :	
Autres organismes	
Autres contacts sur le territoire :	
Logement : Adresse : Ville : Code postal : Email :	
Conformité INSPIRE	
Date de mise à disposition :	
Date de publication :	Imprimé :
Le résumé est-il conforme à la spécification ?	Non vérifié

Annexe 3 - Comptes-rendus de mission de Hélimap (2020)



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

Projet 32996
Corniches de Saint-Jean-de-Luz 2020

Relevé LiDAR-Photogrammetrique : Rapport

Novembre-Décembre 2020

Helimap System SA
Charlène Negrello, Régis Meyrat
17/12/2020





Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 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
2.0 Acquisition de données aériennes.....	4
2.1 Paramètres d'acquisition.....	4
2.2 Géoréférencement des vols	4
2.2 Conditions météorologiques.....	4
3.0 Acquisition des données terrestres.....	5
3.1 Paramètres d'acquisition.....	5
3.2 Période de relevés.....	5
3.3 Emplacements des scanners	5
4.0 Traitement des données	7
4.1 Calcul de trajectoire	7
4.1.2 Session 1	7
4.1.2 Session 2.....	9
4.2 Géoréférencement et traitement préliminaire du nuage de points	12
4.3 Précision du nuage de points	13
4.3.1 Recalage du nuage de point aérien	13
4.3.2 Recalage du nuage de point terrestre	16
4.4 Précision de la photogrammétrie.....	20
4.5 Calcul du MNT.....	22
5.0 Livrables	23



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0203
<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 et de fournir une orthophoto haute résolution (5 cm) des falaises côtières 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 :

Projection: Lambert 93 (code EPSG 2154)

Altimétrie: IGN69-RAF09



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

2.0 Acquisition de données aériennes

2.1 Paramètres d'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 : ~1.2m/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 deux sessions de vol résumées dans le tableau 2 :

Session ID	Date	Heure locale	Stations RPG utilisées pour le vol	Nb Images
V01	02.11.2020	10h45-11h20	SCOA, BIAZ	406
V02	02.11.2020	11h50-12h20	SCOA, BIAZ	338

Tableau 1 : Sessions de vol et stations RGP associées

2.2 Conditions météorologiques

Les conditions météo étaient bonnes. Un léger voile nuageux d'altitude était présent mais aucun facteur météorologique perturbant n'est à signaler.



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

3.0 Acquisition des données terrestres



3.1 Paramètres d'acquisition

- Scanner Z+F 5016
- Densité moyenne, qualité basse
- Durée de la mesure : 5 min

3.2 Période de relevés

Les relevés terrestres se sont effectués le 16 et 17 novembre 2020 durant la période de marée basse par le bureau Perazio.

3.3 Emplacements des scanners

Suite à la réalisation des relevés aériens, différents emplacements de scans terrestres ont été définis pour combler les trous dans le nuage aérien. A cause des contraintes d'interventions, ces emplacements ont été prioritaires (Figure 1) en fonction de leur accessibilité et de la qualité du nuage de points aérien.



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

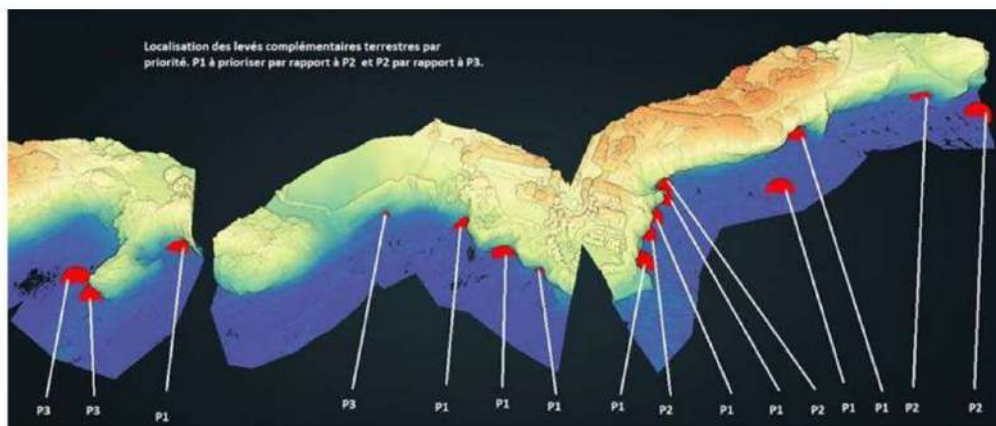


Figure 1 : Emplacements et priorisation des scans terrestres.

Mis à part l'emplacements le plus au Nord de la zone (de priorité 3), l'ensemble des scans a pu être effectué.



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

4.0 Traitement des données

4.1 Calcul de trajectoire

Les trajectoires ont été calculées en mode couplage lâche, i.e. d'abord un calcul de trajectoire GNSS avec GrafNAV8.9, puis un couplage de la trajectoire GNSS avec les données Inertielles dans APPS.

Les résultats pour chaque session sont présentés ci-dessous.

4.1.2 Session 1

La localisation de la trajectoire est représentée sur la figure 1.



Figure 1: Trajectoire de la session XX. Les triangles représentent la position des stations de base.



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

Les résultats du calcul de trajectoire GNSS sont illustrés au travers des figures 2a à 2d.

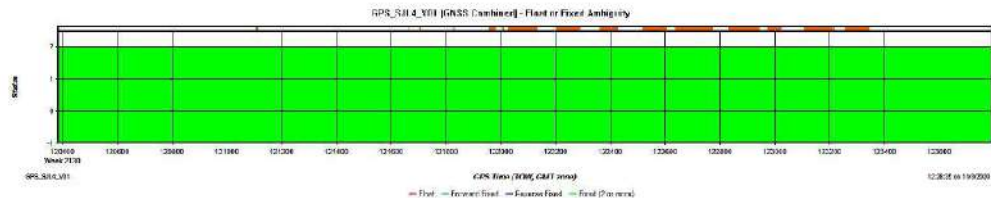


Figure 2a : Statut des ambiguïtés au cours du vol. La valeur 2 indique que les ambiguïtés sont fixées dans les 2 sens de calcul (chronologique et anti-chronologique). Les barres rouges en haut du graphique illustrent la position temporelle de chaque prise de vue (images) et donc caractérisent les lignes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

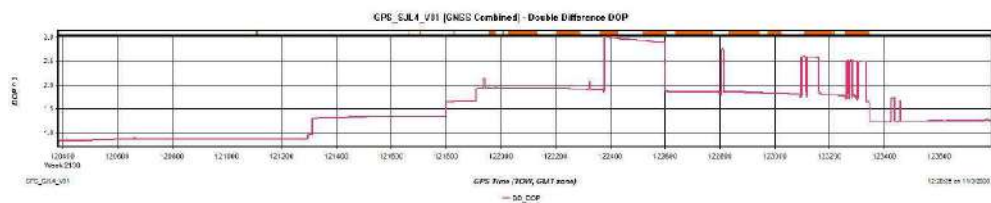


Figure 2b : Differential DOP durant le vol. Le DDOP caractérise la qualité du calcul différentiel (en prenant compte le nombre de satellites visibles et la géométrie de la constellation). Un DDOP illustrant une bonne qualité est inférieur à 3.

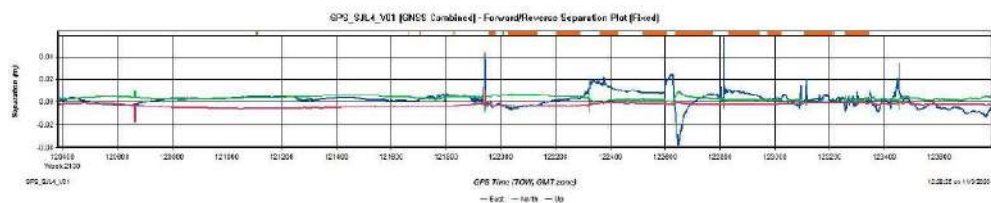


Figure 2c : Ce graphique illustre la différence entre la solution chronologique et la solution anti-chronologique. Une différence inférieure à 5-10cm est garante d'une bonne qualité de la trajectoire.

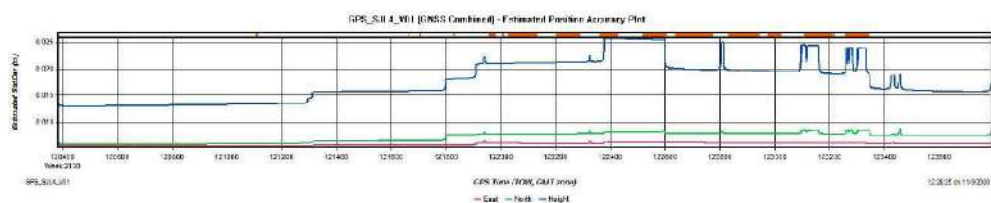


Figure 2d : Ce graphique illustre la précision estimée de la trajectoire en m. En vert et rouge sont représentées les composantes planimétriques, en bleu, la composante altimétrique.

4.1.2 Session 2

This aerial map displays a flight path (green dashed line) over the San Juan area. The path begins near the coast, loops through the city, and ends near the airport. Numerical data points are scattered along the path and in the surrounding area. Labels include 'GPS09_SJ', 'San Juan', 'Ametzague', and 'Guethary'.

- 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>

Les résultats du calcul de trajectoire GNSS sont illustrés au travers des figures 5a à 5d.



Figure 5a : 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.

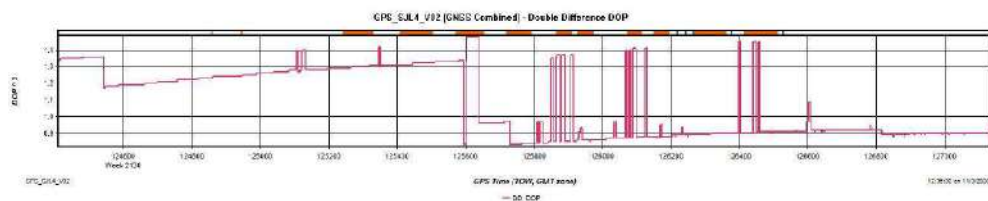


Figure 5b : Differential DOP durant le vol. Le DDOP caractérise la qualité du calcul différentiel (en prenant compte le nombre de satellites visibles et la géométrie de la constellation). Un DDOP illustrant une bonne qualité est inférieur à 3.

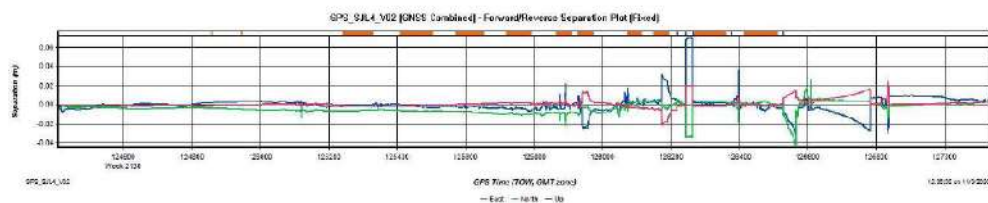


Figure 5c : Ce graphique illustre la différence entre la solution chronologique et la solution anti-chronologique. Une différence inférieure à 5-10cm est garante d'une bonne qualité de la trajectoire.

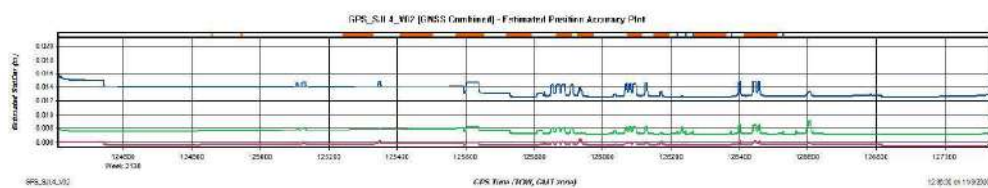
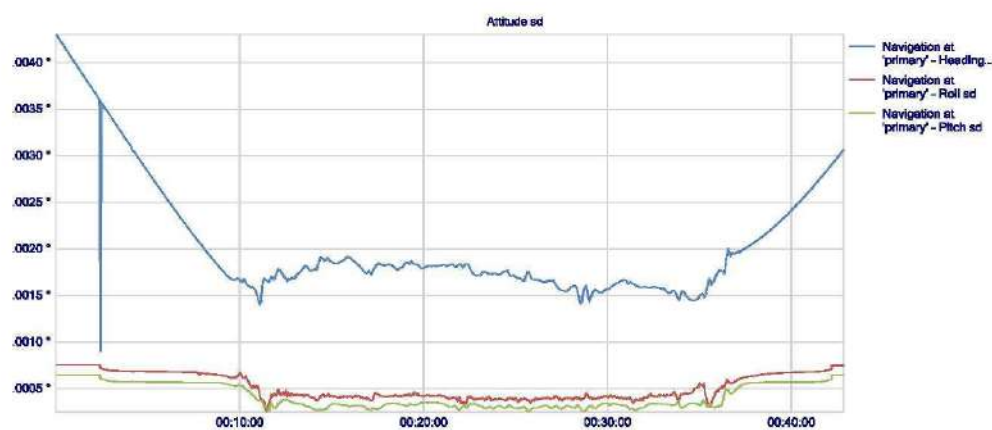


Figure 5d : Ce graphique illustre la précision estimée de la trajectoire en m. En vert et rouge sont représentées les composantes planimétriques, en bleu, la composante altimétrique.



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

Les résultats de l'intégration GNSS-IMU sont illustrés dans la figure 6. Ce graphique montre la précision angulaire de la trajectoire au cours du vol selon les 3 angles Roll, Pitch et Heading.





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 Géoréférencement et traitement préliminaire du nuage de points

Le nuage de point a été généré avec RiProcess dans le système Lambert93 – IGN69. Le nuage brut se compose de 390 millions de point répartis selon les lignes de vol de la figure 7.



Figure 7 : Distribution du nuage de point par bande de vol.



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

La superficie de traitement a été découpée en 19 blocs répartis selon la figure 8. Le nuage de point a ensuite été traité dans la suite Terrasolid pour la classification et la dédensification.



Figure 8 : Canevas de découpage des blocs

4.3 Précision du nuage de points

4.3.1 Recalage du nuage de point aérien

Le calage du nuage de points 2020 a été calés sur les 70 points mesurés dans des zones stables en 2018 ainsi que les sur points de calage mesurés en 2017.

Avant calage, la statistique de différence altimétrique est :

Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
TCP_25	323718.850	6267226.030	22.540	22.577	+0.037
TCP67	325854.620	6268951.070	6.910	6.938	+0.028
TCP55	325252.190	6268563.730	1.210	1.233	+0.023
TCP64	325762.700	6268916.610	14.950	14.970	+0.020
TCP66	325854.420	6268948.720	6.910	6.930	+0.020
TCP44	324423.080	6267991.680	2.450	2.469	+0.019
TCP15	322497.620	6267160.670	3.770	3.788	+0.018
TCP43	324402.360	6267943.930	1.110	1.128	+0.018
TCP51	325212.800	6268391.410	11.790	11.805	+0.015



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

TCP16	322559.460	6267156.510	0.007	0.022	+0.015
TCP19	322704.210	6267215.700	-0.250	-0.235	+0.015
TCP63	325694.120	6268992.780	2.530	2.543	+0.013
TCP34	324168.790	6267519.760	6.370	6.383	+0.013
TCP59	325551.160	6268684.170	20.870	20.882	+0.012
TCP03	322171.690	6266846.090	-0.590	-0.581	+0.009
TCP18	322698.730	6267208.930	-0.240	-0.232	+0.008
TCP13	322518.200	6267084.400	26.690	26.696	+0.006
TCP30	324038.990	6267418.460	6.220	6.226	+0.006
TCP06	322337.050	6266964.180	0.280	0.286	+0.006
TCP08	322292.440	6266842.040	28.880	28.885	+0.005
TCP27	323792.230	6267259.630	25.460	25.464	+0.004
GCP03	324113.532	6267485.802	6.463	6.467	+0.004
TCP28	323947.160	6267360.160	15.669	15.672	+0.003
TCP31	324075.780	6267452.660	5.680	5.683	+0.003
TCP04	322342.350	6266909.130	33.010	33.010	+0.000
TCP32	324059.910	6267466.840	7.440	7.440	+0.000
TCP05	322372.780	6266953.050	35.460	35.458	-0.002
TCP20	322818.150	6267266.380	-0.120	-0.123	-0.003
TCP10	322479.590	6267022.510	32.620	32.616	-0.004
TCP56	325473.030	6268591.810	19.650	19.646	-0.004
TCP07	322287.480	6266900.250	-0.280	-0.284	-0.004
TCP46	324859.070	6268042.530	2.210	2.206	-0.004
TCP54	325189.610	6268579.940	3.520	3.515	-0.005
TCP02	322208.850	6266849.510	-0.150	-0.155	-0.005
TCP60	325550.710	6268684.800	20.890	20.881	-0.009
TCP14	322565.330	6267089.340	28.300	28.289	-0.011
TCP47	325008.080	6267999.720	31.870	31.859	-0.011
TCP11	322467.490	6267087.440	26.330	26.317	-0.013
TCP21	322879.400	6267199.550	24.030	24.017	-0.013
TCP36	324270.780	6267574.820	7.370	7.355	-0.015
TCP38	324337.490	6267607.330	6.660	6.645	-0.015
TCP17	322645.780	6267143.260	0.050	0.035	-0.015
TCP45	324744.940	6268062.390	2.570	2.552	-0.018
GCP06_2020	324761.080	6267959.856	39.019	39.001	-0.018
TCP48	325208.400	6268121.440	22.070	22.050	-0.020
TCP42	324400.420	6267815.340	1.400	1.380	-0.020
TCP37	324271.930	6267576.810	7.390	7.369	-0.021
TCP22	322829.340	6267272.040	-0.460	-0.481	-0.021
GCP01	322200.471	6266811.333	18.736	18.712	-0.024
TCP41	324455.750	6267700.470	17.690	17.663	-0.027
GCP04	325233.339	6268193.418	10.209	10.178	-0.031
TCP01	322219.800	6266781.930	21.340	21.306	-0.034
TCP39	324385.780	6267633.970	10.350	10.315	-0.035
GCP05	325502.129	6268651.915	9.096	9.057	-0.039
TCP50	325199.460	6268317.750	1.480	1.440	-0.040
TCP23	323580.680	6267200.999	33.622	slope	*



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0203
<http://www.helimap.ch>

Average dz -0.003
Minimum dz -0.040
Maximum dz +0.037
Average magnitude 0.015
Root mean square 0.018
Std deviation 0.018

Le nuage est ensuite calé avec une grille de déformation basée sur les différences altimétriques observées sur les ponts de calages.

Après calage, la statistique de différence altimétrique est de :

Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
TCP01	322219.800	6266781.930	21.340	21.340	+0.000
GCP01	322200.471	6266811.333	18.736	18.735	-0.001
TCP02	322208.850	6266849.510	-0.150	-0.150	+0.000
TCP03	322171.690	6266846.090	-0.590	-0.590	-0.000
TCP04	322342.350	6266909.130	33.010	33.008	-0.002
TCP05	322372.780	6266953.050	35.460	35.460	+0.000
TCP06	322337.050	6266964.180	0.280	0.274	-0.006
TCP07	322287.480	6266900.250	-0.280	-0.278	+0.002
TCP08	322292.440	6266842.040	28.880	28.882	+0.002
TCP10	322479.590	6267022.510	32.620	32.620	+0.000
TCP11	322467.490	6267087.440	26.330	26.328	-0.002
TCP13	322518.200	6267084.400	26.690	26.690	+0.000
TCP14	322565.330	6267089.340	28.300	28.300	+0.000
TCP15	322497.620	6267160.670	3.770	3.771	+0.001
TCP16	322559.460	6267156.510	0.007	0.015	+0.008
TCP17	322645.780	6267143.260	0.050	0.049	-0.001
TCP18	322698.730	6267208.930	-0.240	-0.240	+0.000
TCP19	322704.210	6267215.700	-0.250	-0.250	+0.000
TCP20	322818.150	6267266.380	-0.120	-0.122	-0.002
TCP21	322879.400	6267199.550	24.030	24.038	+0.008
TCP_25	323718.850	6267226.030	22.540	22.541	+0.001
TCP27	323792.230	6267259.630	25.460	25.461	+0.001
TCP28	323947.160	6267360.160	15.669	15.670	+0.001
TCP30	324038.990	6267418.460	6.220	6.221	+0.001
TCP31	324075.780	6267452.660	5.680	5.680	+0.000
TCP32	324059.910	6267466.840	7.440	7.439	-0.001
GCP03	324113.532	6267485.802	6.463	6.464	+0.001
TCP34	324168.790	6267519.760	6.370	6.370	+0.000
TCP36	324270.780	6267574.820	7.370	7.371	+0.001
TCP37	324271.930	6267576.810	7.390	7.390	+0.000
TCP38	324337.490	6267607.330	6.660	6.660	+0.000
TCP39	324385.780	6267633.970	10.350	10.350	+0.000
TCP41	324455.750	6267700.470	17.690	17.691	+0.001
TCP42	324400.420	6267815.340	1.400	1.400	+0.000
TCP43	324402.360	6267943.930	1.110	1.109	-0.001
TCP44	324423.080	6267991.680	2.450	2.451	+0.001

Rapport de Mission 32996 – 17/12/2020

- 15 -



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0203
<http://www.helimap.ch>

TCP45	324744.940	6268062.390	2.570	2.570	+0.000
TCP46	324859.070	6268042.530	2.210	2.211	+0.001
TCP47	325008.080	6267999.720	31.870	31.870	+0.000
TCP48	325208.400	6268121.440	22.070	22.070	+0.000
GCP04	325233.339	6268193.418	10.209	10.209	+0.000
TCP50	325199.460	6268317.750	1.480	1.480	+0.000
TCP51	325212.800	6268391.410	11.790	11.790	+0.000
TCP54	325189.610	6268579.940	3.520	3.520	+0.000
TCP55	325252.190	6268563.730	1.210	1.214	+0.004
TCP56	325473.030	6268591.810	19.650	19.650	+0.000
GCP05	325502.129	6268651.915	9.096	9.096	+0.000
TCP59	325551.160	6268684.170	20.870	20.871	+0.001
TCP60	325550.710	6268684.800	20.890	20.888	-0.002
TCP63	325694.120	6268992.780	2.530	2.530	+0.000
TCP64	325762.700	6268916.610	14.950	14.950	+0.000
TCP66	325854.420	6268948.720	6.910	6.910	+0.000
TCP67	325854.620	6268951.070	6.910	6.910	+0.000
GCP06_2020	324761.080	6267959.856	39.019	39.019	+0.000

Average dz -0.000
Minimum dz -0.002
Maximum dz +0.008
Average magnitude 0.001
Root mean square 0.003
Std deviation 0.003

4.3.2 Recalage du nuage de point terrestre

Rapport de recalage (à partir des extractions de scans)

Nom de l'utilisateur : Metro-81

Date : Tue Nov 24 11:12:50 2020

Nom du projet : LUZ

Unités des mesures linéaires : Millimètre

Système de coordonnées : X, Y, Z

Erreur nuage à nuage totale: 19.9072 mm

C1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
C2_Cloud	8.7668 mm	51%	100%



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0203
<http://www.helimap.ch>

F2_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
G1_Cloud	9.2340 mm	47%	100%

K1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
K2_Cloud	9.8681 mm	47%	100%

I1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
I2_Cloud	11.8549 mm	40%	100%

B1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
B2_Cloud	8.1366 mm	50%	100%

LAZ 1.2 - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
M1_Cloud	33.9546 mm	39%	0%

N1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
N2_Cloud	10.8885 mm	40%	100%

LAZ 1.2 - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
O1_Cloud	30.6272 mm	49%	0%

LAZ 1.2 - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
N1_Cloud	34.1234 mm	22%	0%



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0203
<http://www.helimap.ch>

A1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
A2_Cloud	7.5898 mm	44%	100%

C2_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
D1_Cloud	8.6513 mm	39%	100%

G1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
H1_Cloud	12.0308 mm	34%	100%

H1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
I1_Cloud	13.1585 mm	32%	100%

F1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
G1_Cloud	8.7379 mm	22%	100%

L1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
L2_Cloud	8.8378 mm	24%	100%

C2_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
D2_Cloud	9.6463 mm	20%	0%

D2_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
E1_Cloud	10.1120 mm	16%	0%



Helimap System SA
Le grand chemin 73
CH-1066 Epalinges
T: +41 21 785 0202
F: +41 21 785 0203
<http://www.helimap.ch>

K2_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
LAZ 1.2	34.1934 mm	21%	0%

L2_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
LAZ 1.2	35.3068 mm	13%	0%

C2_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
LAZ 1.2	34.8299 mm	14%	0%

G1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
LAZ 1.2	34.9095 mm	9%	0%

A2_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
LAZ 1.2	33.5203 mm	21%	100%

J1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
LAZ 1.2	34.3733 mm	15%	0%

B1_Cloud - 1 Station(s) avec des points en commun -

Nom de l'objet	Erreur nuage à nuage	Points en commun (%)	Confiance (%)
LAZ 1.2	34.4216 mm	14%	0%



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

4.4 Précision de la photogrammétrie

723 images ont été acquises. Les images RAW ont été converties en JPG lossless et ont fait l'objet de corrections radiométriques et géométriques (distorsion radiale, aberrations chromatiques).

Le géoréférencement des images a été calculé dans le système de coordonnées L93_IGN69 avec CAMEO. L'aérotriangulation a été calculée sur 723 images à l'aide d'Agisoft Metashape afin d'améliorer l'orientation externe des images.

Les résultats de la compensation (en utilisant la trajectoire GPS-IMU et les points de calage sont représentés ci-dessous (fig.7-8). Les valeurs statistiques à l'issue de la compensation sont présentées dans le tableau ci-dessous :

	X [m] OMEGA [deg]	Y [m] PHI [deg]	Z [m] KAPPA [deg]
RMSE des résidus Position camera GPS-IMU	0.019	0.02	0.015
RMSE des résidus angulaire GPS-IMU	0.003	0.003	0.008
RMSE des résidus sur les points de calage	0.022	0.028	0.019



Figure 7 : Résidus sur le positionnement GPS-inertiel (trajectoire) de chaque image

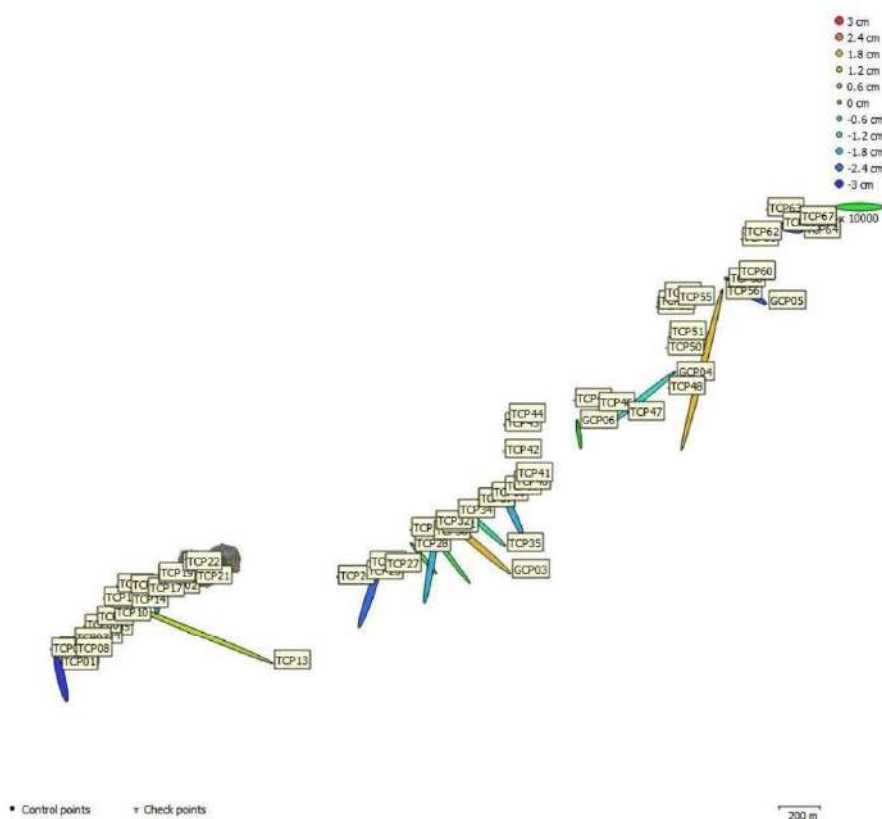


Figure 8 : Résidus sur les points de calage



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

4.5 Calcul du MNT

Modèle dédensifié numérique de terrain

Le MNT final est composé des points de sol LiDAR filtrés et de lignes de rupture complétant le LiDAR. Les lignes modélisent les structures linéaires comme les bords de murs, ponts ou entrée de tunnel. Ces lignes sont indispensables à la création d'un modèle de terrain précis, notamment par la génération d'orthophotographies haute résolution.

Les lignes de ruptures sont restituées sur le nuage LiDAR ou par stéréoscopie. Les points de sol du MNT final résultent d'une dédensification par algorithme de type Keypoint où la densité n'est gardée que dans les changements de terrain qui présentent une amplitude supérieure à la tolérance altimétrique fixée.

Le MNT résultant des points et lignes de rupture est triangulé (TIN) et utilisé pour le calcul des courbes de niveau et de l'orthophotographie.

Colorisation du nuage de points aérien

Le nuage de points aérien a été colorisé à l'aide d'Agisoft Metashape avec les images aériennes NADIR et Obliques.

Intégration du nuage de points terrestre

Le nuage de points aérien sert de référence et les scans terrestres ont été calés sur le nuage aérien. Une fois le calage effectué, les scans terrestres ont été nettoyés afin d'isoler uniquement les zones de falaises et de surplombs. Uniquement la classe falaise a ensuite été intégrée au nuage de point aérien. Le nuage de points terrestre a été colorisé séparément du nuage de point aérien.

Mesh 3D

Le mesh 3D est constitué de l'ensemble des points de sol lidar ainsi que des points falaises issus des scans terrestres et aériens. Le mesh 3D a été calculé dans 3D-Reshaper puis colorisé à l'aide d'Agisoft Metashape avec les images aériennes NADIR et Obliques. La découpe des Mesh 3D a été effectué par falaise non par bloc comme les autres livrables.

Comparaison des grilles

Le MNT 2020 a été calculé au format d'une grille régulière de 10cm. A l'aide du logiciel SAGA, une différence de grille a été calculé à partir du MNT 2020 et des 3 années précédentes. Les fichiers ont été exportés au format Geotiff. Les Grilles ont aussi été calculées



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

5.0 Livrables

Format	Contenu	Sous-répertoire	Nom
PDF	Rapport	\00_Rapport	Rapport_Mission_32996_SJL4
Shape/DGN	Empreinte des tuiles ortho, CAD	\01_CAD_SHP	Footprint_SJL4_L93.shp als_SJL4_L93_IGN69_footprint.dgn
LAZ	LIDAR Brut Filtré 0=unclassified 2=sol	\02_LIDAR	SJL4_L93_IGN69_001_delivery.laz
MESH3D OBJ	MNT Triangulation 3D avec Texture (.obj +.mtl + .jpg)	\03_MNT_MESH	SJL4_L93_Mesh3d_ZoneXX.OBJ
GeoTIFF	MNT Grille régulière 10cm (.tiff)	\04_GRILLES	MNT_2020_Zx_GRILLE_10cm_L93_IGN69.TIFF MNT_Zx_GRILLE_10cm_L93_IGN69_diff-20XX-20XX.TIFF
XYZ	Modèle numérique de surface.	\05_MNS	SJL4_L93_IGN69_002_delivery.xyz
TIF/TFW	Orthophoto RGB Pixel 5cm	\06_ORTHO	Ortho_2020_5cm_L93_324250_6267750.tif

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

Régis Meyrat, 17/12/2020



OBSERVATOIRE CÔTE AQUITAINE

Réseau d'experts au service du littoral



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

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 et le Syndicat intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA).

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 Aquitain 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).

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