



OBSERVATOIRE DE LA CÔTE
NOUVELLE-AQUITAINE

Document public

Rapport final

Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2022 et 2023

BRGM/RP-73382-FR
Version 1 du 26/01/2024

Auteurs : Martins L., Ayache B., Garnier C.



Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2022 et 2023

BRGM/RP-73382-FR
Version 1 du 26/01/2024

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM
Numéro du projet AP23BDX015

Vérificateur :

Nom : YART Silvain

Date : 29/02/2024

Signature :



Approbateur :

Nom : LE GALL Cécile

Date : 20/03/2024

Signature :



Auteurs : Martins L., Ayache B., Garnier C.



Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



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 :

Martins L., Ayache B., Garnier C. (2024) - Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2022 et 2023. Rapport final. BRGM/RP-73382-FR, 137 p., 62 Ill., 2 tab., 3 ann.

Synthèse

De la baie de l'Aiguillon au nord, jusqu'à l'embouchure de la Bidassoa, au sud, le littoral néo-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), devenu Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine (OCNA) en 2022, 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'OCNA, pour la mise en place d'un protocole de suivi de sa frange littorale.

Dans le cadre de cette étude, l'OCNA 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, sept levés lidar topographiques héliportés ont été réalisés au droit des falaises de la commune (pour un linéaire total de 4 km environ, répartis en 7 tronçons), avec l'aide de la société Hélimap, en 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 et 2023. L'une des particularités de ces acquisitions lidar aéroportées locales, à faible altitude, tient au fait que les visées sont orientées en oblique, pour faire face à la paroi des 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.

L'analyse "qualité" des données montre que la précision altimétrique est conforme aux attentes et compatible avec l'amplitude des évolutions altimétriques caractérisées dans le cadre de l'étude. Sur la base d'une trentaine de points de contrôle, la racine de l'erreur quadratique moyenne en altitude (Z) est de 2,8 cm.

La méthode d'analyse de l'évolution des falaises 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.

Par ailleurs, contrairement aux 3 dernières années, le millésime 2023 (levé le 29 septembre 2023) n'a pas fait l'objet de complément terrestre afin d'améliorer la visibilité des secteurs présentant des surplombs et densifier le nuage de points. Il a cependant profité d'un nouveau capteur lidar utilisé par Hélimap, offrant une densité de points plus élevée qui, couplé à une vitesse plus faible de l'hélicoptère, a permis de densifier le nuage de points tout en s'affranchissant de complément terrestre, et ainsi de réduire le coût de l'acquisition des données.

L'analyse diachronique des jeux de données de 2022 et 2023 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 2022 et 2023, acquises par l'OCNA auprès de la société CR AERO IMAGES. Onze événements ont été identifiés par le différentiel lidar, pour l'ensemble des sites, dont sept mobilisant un volume supérieur à 100 m³, six mobilisant un volume compris entre 100 et 1 000 m³, et un mobilisant un volume supérieur à 1 000 m³ (secteur d'Archilua). L'analyse complémentaire réalisée à partir des nuages de points a permis d'affiner ces résultats en identifiant les deux principaux décrochements situés en pied de falaise du site 1 d'Archilua. Ces éléments ont été estimés à 520 m³ et 150 m³. L'analyse différentielle des nuages de points a également permis d'identifier une vingtaine de chutes de blocs, dont les volumes sont inférieurs à 5 m³, dans le secteur de Sainte-Barbe.

La dynamique, mise en évidence au cours de l'année écoulée, est marquée par plusieurs phénomènes d'intensité variable :

- Senix : activité non marquée ;
- Mayarko : dynamique érosive principalement marquée par la reprise de l'activité de glissement de terrain, avec un décrochement actif de près de 550 m³ ;
- Lafitenia : dynamique érosive sur l'ensemble du site, avec un processus quasi-généralisé d'attaque du pied de versant par les vagues, minorant les conditions de stabilité du versant. On observe également un glissement de terrain mobilisant un volume de 125 m³. La dynamique de Lafitenia est par ailleurs marquée par le glissement survenu fin 2021, resté stable entre 2022 et 2023, dont la zone de départ est clairement identifiable sur le levé lidar 2022 ;
- Erromardie : dynamique érosive intéressant principalement, à ce stade, les falaises en partie ouest de la plage. L'année écoulée se situe, de ce point de vue, dans le prolongement des années antérieures, avec une érosion plus ou moins active intéressant l'ensemble du linéaire. On note la poursuite du glissement de décembre 2021 ayant impacté le sentier littoral, avec un volume mobilisé de l'ordre de 530 m³ (contre 1 250 m³ entre 2021 et 2022). Cet événement est représentatif, en termes d'ampleur, des instabilités pouvant plus largement affecter les falaises d'Erromardie ouest, à plus ou moins brève échéance ;
- Archilua : dynamique principalement marquée par la poursuite de la cinématique du glissement déclaré le 11/12/2020. C'est l'évolution la plus importante quantifiée par l'analyse différentielle des données lidar entre 2022 et 2023 (4 117 m³) ;
- Pile d'Assiettes : dynamique érosive marquée par un événement d'intensité limitée, sans incidence plus large à ce stade sur les conditions de stabilité du versant ; et une poursuite mineure (40 m³) d'un glissement survenu entre 2021 et 2022 ;
- Sainte-Barbe : chutes d'une vingtaine de blocs dont le volume est inférieur à 5 m³.

Une nouvelle acquisition, à l'automne 2024, permettra de poursuivre l'observation et le suivi des instabilités des falaises de la commune de Saint-Jean-de-Luz.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduction | 13 |
| 2. Présentation du secteur d'étude | 17 |
| 2.1. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE GENERAL | 17 |
| 2.2. TYPOLOGIE ET ACTIVITE "MOUVEMENT DE TERRAIN" | 21 |
| 3. Présentation des méthodes d'acquisition et données disponibles | 25 |
| 3.1. METHODE | 25 |
| 3.1.1. La 3D par photogrammétrie | 25 |
| 3.1.2. La 3D à partir de levés lidar | 26 |
| 3.2. LIVRABLES | 27 |
| 3.3. ACCES AUX DONNEES | 28 |
| 3.3.1. Interface BeMap | 28 |
| 3.3.2. Opendata | 28 |
| 3.4. CONTROLE DE LA QUALITE DES DONNEES..... | 29 |
| 3.4.1. Contrôle "qualité" réalisé par le prestataire | 30 |
| 3.4.2. Contrôles "qualité" réalisés indépendamment par le BRGM | 30 |
| 4. Analyse diachronique | 33 |
| 4.1. METHODE | 33 |
| 4.2. SECTEUR DE SENIX | 35 |
| 4.3. SECTEUR DE MAYARKO | 36 |
| 4.4. SECTEUR DE LAFITENIA | 40 |
| 4.5. SECTEUR D'ERROMARDIE | 49 |
| 4.6. SECTEUR D'ARCHILUA | 56 |
| 4.7. SECTEUR DE LA PILE D'ASSIETTES | 62 |
| 4.8. SECTEUR DE SAINTE-BARBE | 66 |
| 5. Conclusion..... | 69 |
| 6. Bibliographie | 71 |
| 7. Glossaire..... | 73 |

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)..... | 15 |
| Illustration 2 - Secteur de la Pile d'Assiettes (commune de Saint-Jean-de-Luz ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebass, ULM Sud Bassin, 2018) | 17 |
| Illustration 3 - Types de morphologie côtière dans les communes littorales basques (Genna et al., 2004)..... | 18 |
| Illustration 4 - Carte des unités stratigraphiques majeures (extrait de la carte géologique du Labourd ; modifiée par Peter-Borie, 2008, d'après Razin, 1989) et identification de la zone d'étude | 18 |
| Illustration 5 - Flyschs marno-calcaires de Socoa, fracturés et plissés au niveau du flanc ouest de Sainte-Barbe (Rocher Dauria) (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018)..... | 19 |
| 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, avec délimitation approximative entre altérites et flyschs « sains » (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018)..... | 20 |
| Illustration 7 - Evolution des glissements à l'extrémité nord-est de la plage de Mayarko, entre décembre 2008 et août 2013 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Michel Le Collen ; extrait rapport BRGM/RP-63588-FR) | 22 |
| Illustration 8 - Glissement de terrain affectant les altérites à l'anse de Lafitenia (Aubié et Mathon, 2006 ; extrait rapport BRGM/RP-63588-FR)..... | 22 |
| Illustration 9 - Glissement de terrain de la Réserve, affectant des altérites meubles recouvrant les flyschs, dans le secteur de la Pile d'Assiettes, en février 2016 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018)..... | 23 |
| Illustration 10 - Glissement de terrain (couverture meubles - colluvions et altérites - recouvrant les flyschs) au droit de la Promenade Feodor Chaliapine, le 03/12/2002, bordant l'ancienne route (cliché de gauche), et vue aérienne du confortement actuel de cette partie de falaise (cliché de droite ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018) | 23 |
| Illustration 11 - Acquisition lidar (par hélicoptère) (source : Fernander-Diaz et al., 2014)..... | 26 |
| Illustration 12 - Visualisateur BeMap ©Helimap | 28 |
| Illustration 13 - Localisation des points de contrôle topographiques, levés par le BRGM (Ortho-Express ®2017, Observatoire de la Côte Aquitaine, IGN) | 31 |
| Illustration 14 - Exemple d'un différentiel de MNT sous SIG, pour la falaise sub-verticale de Sainte-Barbe..... | 34 |
| Illustration 15 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de Sénix (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 35 |
| Illustration 16 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de Mayarko (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 36 |
| Illustration 17 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2017 et 2018 (extrait rapport BRGM/RP-69865-FR) (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap) | 37 |
| Illustration 18 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (extrait rapport BRGM/RP-70614-FR) (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap) | 37 |
| Illustration 19 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2020 et 2021 (extrait rapport BRGM/RP-71453-FR) (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap) | 38 |

| | |
|---|----|
| Illustration 20 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 38 |
| Illustration 21 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) ©Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, C. REBIERE - Balloide-Photo Bayonne, 2023..... | 39 |
| Illustration 22 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de Lafitenia (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) (flèche bleue : localisation du glissement de terrain de décembre 2021) | 40 |
| Illustration 23 - Différentiel lidar 2023-2022 pour le site 1 du secteur de Lafitenia (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap) | 41 |
| Illustration 24 - Différentiel lidar 2023-2022 sur le site 2 du secteur de Lafiteni (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 42 |
| Illustration 25 - Vue du site 2 du secteur de Lafitenia depuis l'estran le 14/11/2023 (©OCNA)..... | 42 |
| Illustration 26 - Evolution du site 3 (secteur de Lafitenia) entre 2019 et 2020 (extrait rapport BRGM/RP-70614-FR) (©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap) | 43 |
| Illustration 27 - Evolution du site 3 (secteur de Lafitenia) entre 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 44 |
| Illustration 28 - Erosion du pied de versant sur le site 3 (©Observatoire de la côte Nouvelle-Aquitaine, C. REBIERE - Balloide-Photo Bayonne, 12/12/2023) | 44 |
| Illustration 29 - Erosion du pied de versant sur le site 3 vu depuis l'estran le 14/11/2023 (©OCNA)..... | 45 |
| Illustration 30 - Site 4 du secteur de Lafitenia : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2023 et 2022 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 45 |
| Illustration 31 - Glissement de terrain sur le site 4 ©Observatoire de la côte Nouvelle-Aquitaine, C. REBIERE - Balloide-Photo Bayonne, 12/12/2023 | 46 |
| Illustration 32 - Site 4 du secteur de Lafitenia : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 47 |
| Illustration 33 - Secteur de Lafitenia : vue aérienne oblique, datée du 12 mai 2022, du glissement de terrain survenu le 11 décembre 2021 et identification indicative de la niche de décrochement sommitale (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone) | 48 |
| Illustration 34 - Secteur de Lafitenia : vue aérienne oblique, datée du 12 mai 2022, de la partie supérieure du glissement de terrain survenu en décembre 2021 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone) | 48 |
| Illustration 35 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur d'Erromardie (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 49 |
| Illustration 36 - Site 1 du secteur d'Erromardie : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 50 |
| Illustration 37 - Cicatrice d'arrachement observable, sur le versant est du secteur d'Erromardie, sur les orthophotos de 2019 à 2023 ; analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2022 (en bas à droite, ©OCNA, Hélimap ; ©OCNA, Balloide photos) (extrait du rapport RP-72363-FR)..... | 51 |
| Illustration 38 - Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 52 |
| Illustration 39 - Site 2 du secteur d'Erromardie : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 53 |
| Illustration 40 - Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Illustration 41 - Site 3 du secteur d'Erromardie : vue aérienne oblique du glissement survenu en décembre 2021 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloide Photo) | 54 |
| Illustration 42 - Site 3 du secteur d'Erromardie : désordres observables en arrière de la tête de versant et sur le sentier littoral suite au glissement de décembre 2021 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, décembre 2021) | 55 |
| Illustration 43 - Site 3 du secteur d'Erromardie : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 55 |
| Illustration 44 - Site 3 du secteur d'Erromardie (©Observatoire de la côte Nouvelle-Aquitaine, C. REBIERE - Balloide-Photo Bayonne, 12/12/2023) | 56 |
| Illustration 45 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur d'Archilua (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 56 |
| Illustration 46 - Site 1 du secteur d'Archilua : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 57 |
| Illustration 47 - Sites 1 et 2 du secteur d'Archilua : vue aérienne oblique, datée de mai 2022, des zones de glissement identifiées par analyse différentielle 2022-2021 des données lidar (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadron) | 58 |
| Illustration 48 - Site 1 du secteur d'Archilua : vue aérienne oblique, datée de mai 2022, du glissement de terrain survenu en décembre 2020 et réactivé en décembre 2021 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadron) | 58 |
| Illustration 49 - Site 1 du secteur d'Archilua : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (cercle bleu : principaux décrochements identifiés par l'analyse complémentaire) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 59 |
| Illustration 50 - Site 1 du secteur d'Archilua : vues en 3D des décrochements en pied de falaise (en rouge) superposés sur le mesh 2023, réalisées à partir des différentiels de nuages de points des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 59 |
| Illustration 51 - Site 2 du secteur d'Archilua : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 60 |
| Illustration 52 - Site 2 du secteur d'Archilua : vue aérienne oblique, datée d'octobre 2022, et identification indicative de la zone en évolution au cours de la période 2021-2022 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloide Photo) | 60 |
| Illustration 53 - Site 2 du secteur d'Archilua : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 61 |
| Illustration 54 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de la Pile d'Assiettes (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 62 |
| Illustration 55 - Site 1 du secteur de la Pile d'Assiettes : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 63 |
| Illustration 56 - Site 1 du secteur de la Pile d'Assiettes : vues en 3D des volumes mobilisés à partir des différentiels de nuages de points des campagnes 2022 (à gauche) et 2023 (à droite) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 63 |
| Illustration 57 - Site 2 du secteur de la Pile d'Assiettes : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2021 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap) | 64 |
| Illustration 58 - Site 2 du secteur de la Pile d'Assiettes : vue 3D à partir des nuages de points (2021 en haut à gauche, 2022 en haut à droite) (extrait du rapport RP-72363-FR) | 64 |

| | |
|--|----|
| Illustration 59 - Site 2 du secteur de la Pile d'Assiettes : vue 3D des masses éboulés (en rouge) superposées au nuages de points 2023..... | 65 |
| Illustration 60 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de Sainte-Barbe (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Helimap) | 66 |
| Illustration 61 - Vue 3D de la falaise de Sainte-Barbe (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Helimap) ; localisation des compartiments rocheux tombés entre 2022 et 2023 (en rouge)..... | 66 |
| Illustration 62 - Zoom sur la partie sud de la vue 3D de la falaise de Sainte-Barbe (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Helimap) ; localisation des compartiments rocheux tombés entre 2022 et 2023 (en rouge)..... | 67 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 - Liste des livrables, réalisés par Hélimap (acquisition 2022) | 27 |
| Tableau 2 - Statistiques des écarts observés entre les modèles MNT lidar et les mesures terrain, pour les millésimes 2019, 2020, 2021, 2022 et 2023 | 32 |

Liste des annexes

| | |
|---|-----|
| Annexe 1 - Demande d'appui technique de la Ville de Saint-Jean-de-Luz | 75 |
| Annexe 2 - Compte-rendu de mission de Hélimap 2022 | 79 |
| Annexe 3 - Cahier des charges BRGM | 117 |

1. Introduction

De la baie de l'Aiguillon au nord, jusqu'à l'embouchure de la Bidassoa, au sud, le littoral néo-aquitain est un territoire attractif et préservé, mais 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, aujourd'hui Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine - OCNA) 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'OCNA 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 régional, complétées par des levés DGPS de 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 pour 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 (visées verticales pointant vers le bas), 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 OCNA 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).

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.

Faisant suite aux recommandations émises dans ce rapport, la poursuite du suivi annuel a été réalisée selon le même protocole (acquisition aéroportée complétée par un levé lidar terrestre) :

- campagne menée en novembre 2020, dont les résultats en termes d'évolution littorale (analyse diachronique entre 2019 et 2020) sont présentés dans le rapport BRGM/RP-70614-FR, daté de mars 2021 ;
- campagne menée en septembre (levés héliportés) et octobre (levés terrestres) 2021, dont les résultats en termes d'évolution littorale (analyse diachronique entre 2020 et 2021) sont présentés dans le rapport BRGM/RP-71453-FR, daté de janvier 2022.
- Une sixième campagne, menée en septembre (levés héliportés) et octobre (levés terrestres) 2022, a été réalisée avec le même cahier des charges qu'en 2020 et 2021 (70 points / m²). Les levés réalisés à marée basse lors des forts coefficients du 12 septembre 2022 ont été complétés pour la partie terrestre du 7 au 9 octobre 2022.
- Enfin, en 2023, une septième campagne réalisée par moyen héliporté uniquement, mais avec un capteur lidar offrant une meilleure densité de point, permettant de s'affranchir d'un complément terrestre et de réduire le coût de la prestation. Les levés ont été réalisés à marée basse lors des forts coefficients (104) du 29 septembre 2023.

Le présent rapport fait état des mouvements de terrain identifiés sur les falaises de la commune de Saint-Jean-de-Luz entre 2022 et 2023.

Le périmètre d'étude, inchangé par rapport aux années antérieures, 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. Lafitenia
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 de 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'OCNA (Illustration 4), représente les grandes unités stratigraphiques de la partie sud du territoire littoral basque.

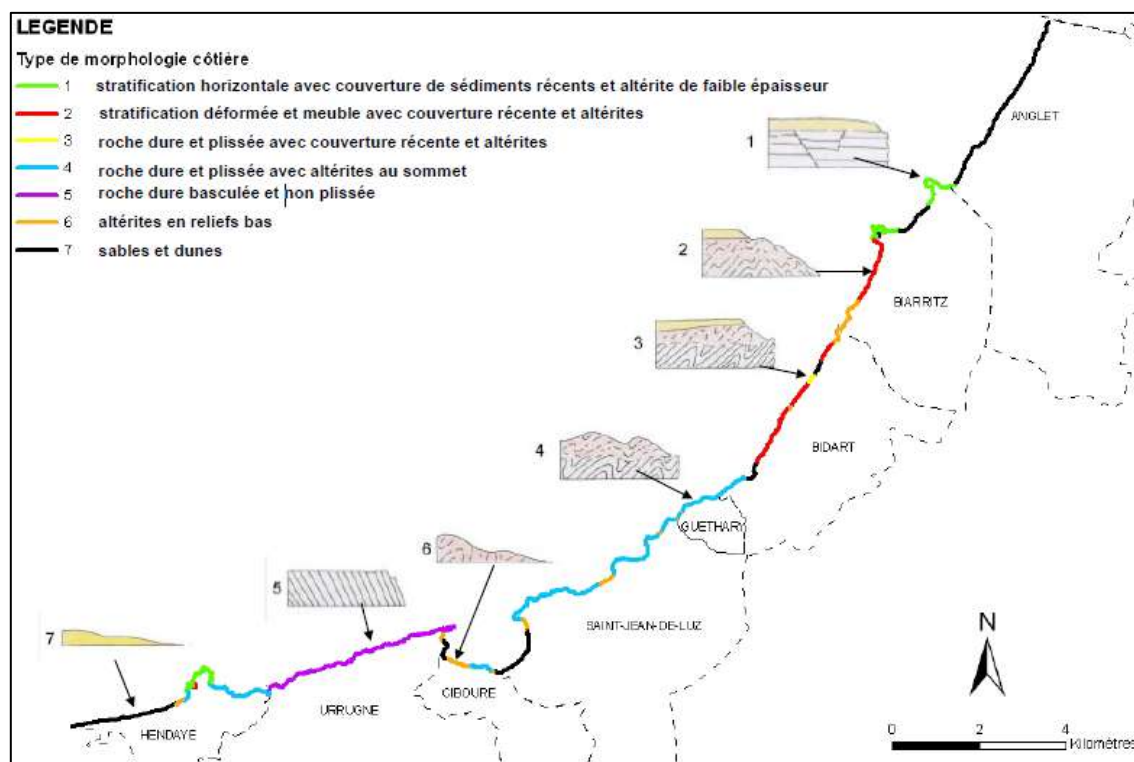


Illustration 3 - Types de morphologie côtière dans les communes littorales basques (Genna et al., 2004)

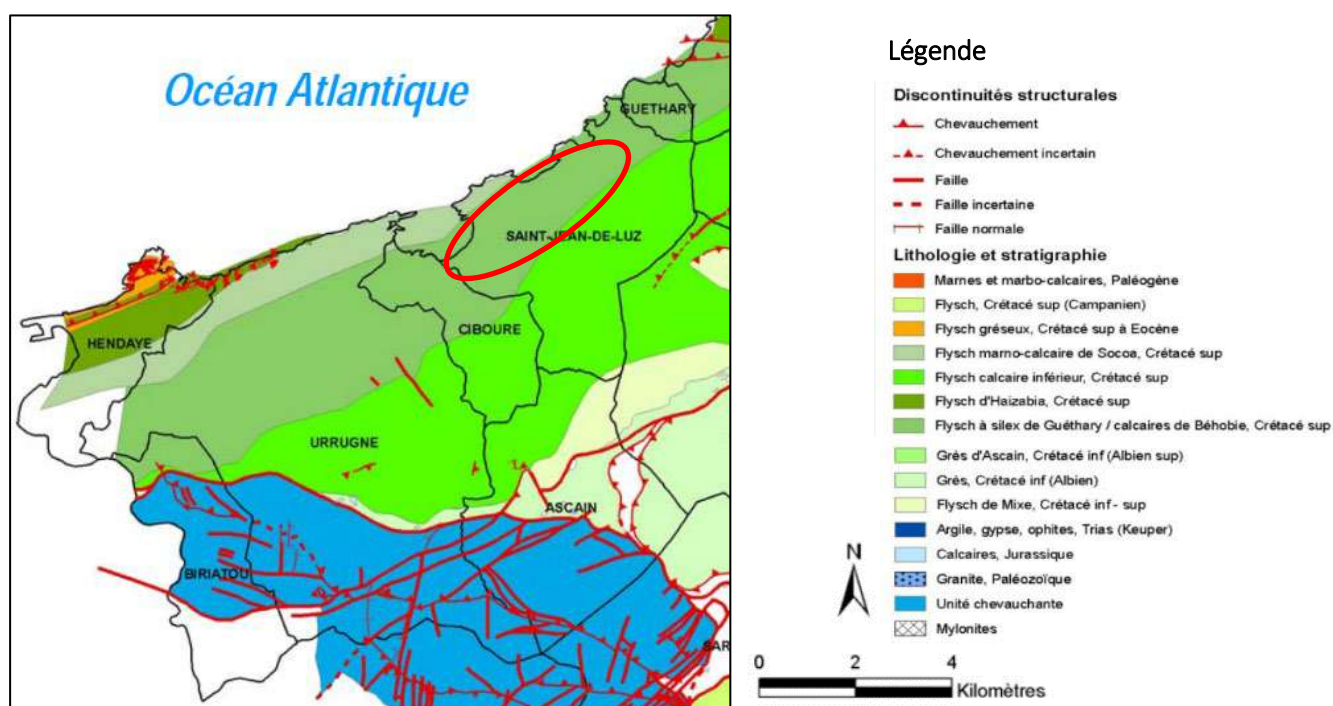


Illustration 4 - Carte des unités stratigraphiques majeures (extrait de la carte géologique du Labourd ; modifiée par Peter-Borie, 2008, d'après Razin, 1989) et identification de la zone d'étude

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 plissés 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 bancs 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 (épaisseur plurimétrique à pluridécamétrique), favorable aux glissements de terrains pseudo-rotationnels (cette orientation n'est par contre pas favorable aux glissements "banc-sur-banc").

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 *per descensum* de la surface vers la profondeur, 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 au toit des 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, l'intensité étant directement dépendante de l'épaisseur et du niveau d'évolution de la frange altérée.

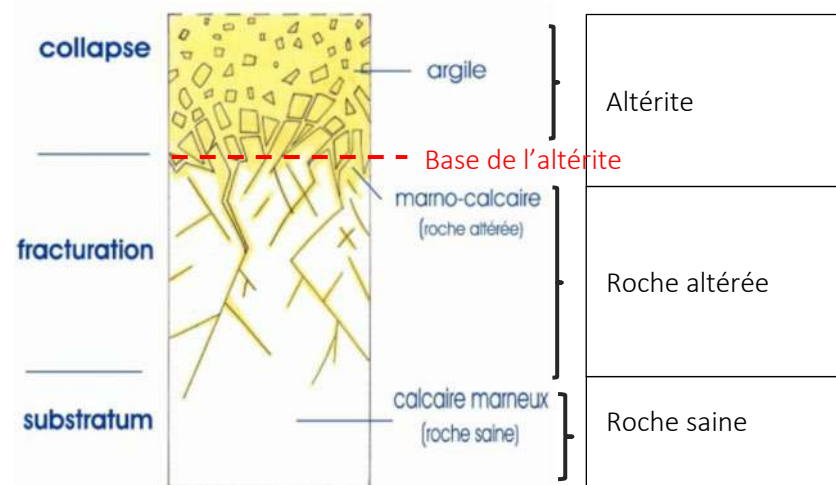


Illustration 6 - Coupe schématique d'un profil d'altération-type, dans des calcaires marneux (cliché du haut ; Genna et al., 2004) et illustration (cliché du bas) dans le secteur de la Pile d'Assiettes, avec délimitation approximative entre altérites et flyschs « sains » (©Observatoire de la Côte Aquitaine,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

- de **colluvions** (dépôts détritiques quaternaires). Il s'agit de 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 (matrice provenant majoritairement des altérites, englobant des éléments rocheux de flyschs de dimensions variables), 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'instabilités, 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, et peuvent être d'ampleur plus ou moins importante en fonction de la géométrie du versant : Leur ampleur est plus importante lorsque le pendage est conforme à la pente et les bancs globalement peu plissés ;
- 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 Illustration 10).



Illustration 7 - Evolution des glissements à l'extrémité nord-est de la plage de Mayarko, 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 affectant les altérites à l'anse de Lafitenia (Aubié et Mathon, 2006 ; extrait rapport BRGM/RP-63588-FR)



Illustration 9 - Glissement de terrain de la Réserve, affectant des altérites meubles recouvrant les flyschs, 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 (couverture meubles - colluvions et altérites - recouvrant les flyschs) au droit de la Promenade Feodor Chaliapine, le 03/12/2002, bordant l'ancienne route (cliché de gauche), et vue aérienne du confortement actuel de cette partie de falaise (cliché de droite ; ©Observatoire de la Côte Aquitaine, Com' by AVM, 2018)

3. Présentation des méthodes d'acquisition et données disponibles

La nécessité de visualiser et mesurer des chutes de blocs de plusieurs dizaines de centimètres et la relative faible étendue du secteur (linéaire d'environ 4 km) à étudier induit son survol au moyen d'un appareil « léger » (hélicoptère, drone), à basse altitude. Cela offre une finesse dans la résolution du modèle pouvant aller jusqu'à quelques centimètres. Le recours à des visées obliques complémentaires aux levés verticaux permet d'obtenir une représentation plus exhaustive des terrains complexes et accidentés, présentant des reliefs à forte pente et des falaises en surplomb, comme c'est le cas à Saint-Jean-de-Luz. Le couplage d'un matériel d'acquisition aéroporté performant et des levés DGPS terrestres permet d'accroître la précision des levés.

Le BRGM a sollicité l'expertise de sous-traitants pour réaliser l'acquisition et la représentation en trois dimensions des falaises, et leur diffusion. 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*, car elle permet, contrairement à la photogrammétrie, de s'affranchir des conditions d'éclairage du site et, par conséquent, d'acquérir des données y compris dans les zones non éclairées : sol sous la végétation, cavités, ou bancs rocheux saillants.

Pour les missions 2020, 2021 et 2022 (cf. cahier des charges en annexe 3), un levé complémentaire terrestre a été réalisé afin d'améliorer localement la représentation générale des falaises de la Pile d'Assiettes et de Sainte-Barbe. Cela a permis une meilleure mesure des cavités et surplombs, présents sur celles-ci, et améliore de façon générale la représentation géométrique de leurs parois marquées par une forte rugosité (due à l'empilement des bancs de flyschs).

En 2023, afin de limiter le coût de la prestation d'Hélimap, il a été décidé, en concertation avec la CAPB, de ne pas renouveler le complément terrestre ; cela est compensé par l'utilisation d'un nouveau capteur lidar et une vitesse de vol réduite offrant une meilleure densité de points. Un regard sur le rendu des secteurs en surplomb sera porté afin de juger l'adaptation de la méthode de captation.

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'un avion ou d'un 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 recouvrement 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 en vue nadirale*, 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 11) :

- 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 entre le scanner et l'objet sur lequel a rebondi le rayon lumineux. Couplée aux données GPS-INS, cette dernière permet de produire des nuages de points cotés.

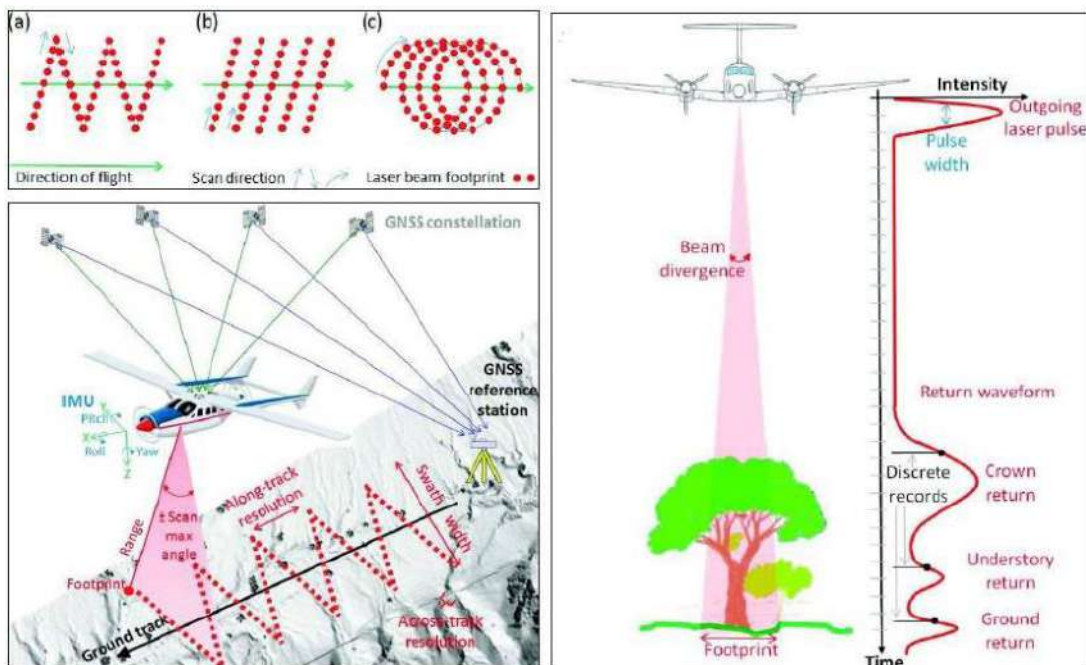


Illustration 11 - Acquisition lidar (par hélicoptère) (source : Fernander-Diaz et al., 2014)

L'un des principaux intérêts de ce type d'acquisition, par rapport à une acquisition photogrammétrique*, est que le rayon laser peut pénétrer dans la canopée, en s'infiltrant par les interstices de la végétation entre les feuilles et les branches. Plus la végétation est clairsemée, plus le nombre de tir laser atteignant le sol est dense. Avec une végétation à feuilles caduques, il est préférable de réaliser des vols lidar en hiver pour faciliter la mesure de la topographie sous forêt. Dans le cas de la végétation recouvrant les falaises basques, la végétation est majoritairement à feuilles persistantes.

Cette technique permet d'obtenir un nuage de points géoréférencé et classifié selon la nature de l'objet duquel il est réfléchi (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 photogrammétrique*, 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* nadirales et/ou un texturage des mesh 3D* ont été réalisés lors des 7 missions (2017 à 2023).

Les livrables sont géoréférencés dans le système géodésique RGF93, en projection Lambert 93, avec le référentiel altimétrique NGF-IGN69 (EPSG 2154). Ils sont listés dans le Tableau 1.


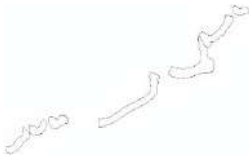
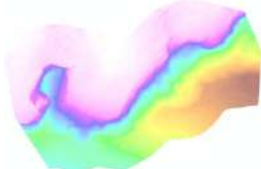



| Livrables | | Acquisitions par Hélimap (lidar + photogrammétrie) | Illustration |
|--------------------|-------------------|---|---|
| Données brutes | Nuages de points | X |  |
| | Emprise | X |  |
| Données traitées | MNT | X résolution 10 cm |  |
| | Mesh3D texturé | X |  |
| | Orthophotographie | résolution 5 cm |  |
| Rapport de mission | | X |  |

Tableau 1 - Liste des livrables, réalisés par Hélimap (acquisition 2022)

Les millésimes 2019 à 2023 sont diffusés sur la solution BeMap d'Hélimap, à l'URL suivante : <https://bemap.online>.

3.3. ACCES AUX DONNEES

3.3.1. Interface BeMap

La solution BeMap, développée par Helimap Sixense, est une plateforme web permettant l'intégration et l'interrogation des données (MNT, différentiel, mesh, nuages de points, orthoimages). BeMap permet notamment d'intégrer les mesh (modèles 3D maillés), de disposer de plusieurs modes de visualisation facilitant la comparaison de deux millésimes (Illustration 12).

L'accès se fait par authentification ; un accès a été fourni au BRGM, à la commune de Saint-Jean-de-Luz et à la Communauté d'Agglomération Pays Basque.

Les données y sont téléchargeables, et des outils permettent l'ajout d'annotations, la vue en profil de coupe, ainsi que le partage d'écran synchronisé pour la comparaison de deux millésimes.

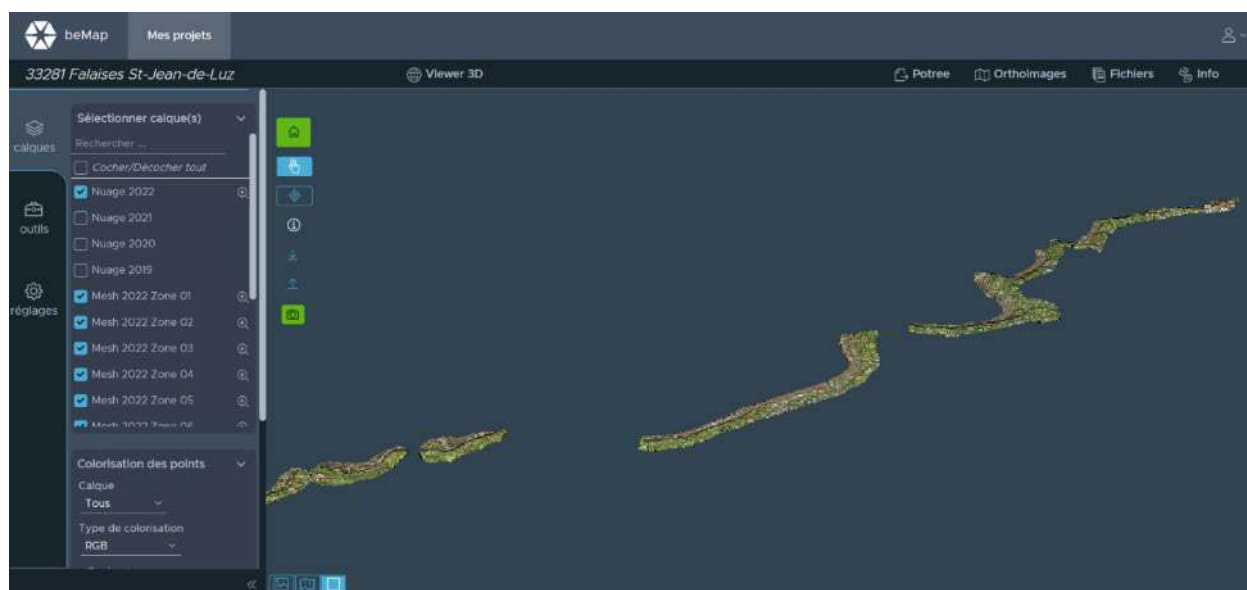


Illustration 12 - Visualisateur BeMap ©Helimap

3.3.2. Opendata

Chaque millésime de données acquises (depuis 2017) dispose d'une fiche de métadonnées décrivant les produits et les dates de levés.

Les fiches de métadonnées sont accessibles depuis la plateforme PIGMA (<https://www.pigma.org/portail/fr/recherche?q=luz&responsibleParty.organisationName=BRGM%20AQUITAINE>) ainsi que depuis le site web de l'OCNA, via [l'espace cartographique](#) ou la [page OGC](#).

Voici les liens directs des différents millésimes :

- LiDAR/ortho Saint-Jean-de-Luz - octobre 2017
 - Adresse du service WMS de l'emprise : <http://ws.carmencarto.fr/WMS/114/LIDAR>
 - Layers emprise : Emprise_StJDL_2017
 - [Télécharger les données](#)
 - [Métadonnée](#)

- LiDAR/ortho Saint-Jean-de-Luz - octobre 2018
 - Adresse du service WMS de l'emprise : <http://ws.carmencarto.fr/WMS/114/LIDAR>
 - Layers emprise : Emprise_StJDL_2018
 - [Télécharger les données](#)
 - [Métadonnée](#)
- LiDAR/ortho Saint-Jean-de-Luz - octobre 2019
 - Adresse du service WMS de l'emprise : <http://ws.carmencarto.fr/WMS/114/LIDAR>
 - Layers emprise : Emprise_StJDL_2019
 - [Télécharger les données](#)
 - [Métadonnée](#)
- LiDAR/ortho Saint-Jean-de-Luz - octobre 2020
 - Adresse du service WMS de l'emprise : <http://ws.carmencarto.fr/WMS/114/LIDAR>
 - Layers emprise : Emprise_StJDL_2020
 - [Télécharger les données](#)
 - [Métadonnée](#)
- LiDAR/ortho Saint-Jean-de-Luz - octobre 2021
 - Adresse du service WMS de l'emprise : <http://ws.carmencarto.fr/WMS/114/LIDAR>
 - Layers emprise : Emprise_StJDL_2021
 - [Télécharger les données](#)
 - [Métadonnée](#)
- LiDAR/ortho Saint-Jean-de-Luz - octobre 2022
 - Adresse du service WMS de l'emprise : <http://ws.carmencarto.fr/WMS/114/LIDAR>
 - Layers emprise : Emprise_StJDL_2022
 - [Télécharger les données](#)
 - Métadonnée
- LiDAR/ortho Saint-Jean-de-Luz - septembre 2023
 - Adresse du service WMS de l'emprise : <http://ws.carmencarto.fr/WMS/114/LIDAR>
 - Layers emprise : Emprise_StJDL_2023
 - [Télécharger les données](#)
 - Métadonnée

3.4. CONTROLE DE LA QUALITE DES DONNEES

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

- par les prestataires eux-mêmes, dès leur retour de mission et 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 :

- ① la complétude et l'homogénéité de la densité du nuage de points (lidar*) ;
- ① le bon recouvrement des clichés (photogrammétrie*), pour une représentation 3D, afin d'éviter les parties cachées... ;
- ① la vérification de la précision des données* (comparaison avec les levés DGPS terrestres) ;
- ① 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 2023.

3.4.1. Contrôle "qualité" réalisé par le prestataire

Un contrôle "qualité" a été réalisé par Hélimap, avant la livraison des produits : celui-ci assure une précision* du lidar* de 5 cm et en altimétrie, et d'environ 5 cm en planimétrie.

Le prestataire évalue par ailleurs l'exactitude des livrables par une mesure des écarts altimétriques par rapport aux données de la campagne précédente (2022), sur 52 points de contrôle. Après correction des données, l'écart quadratique moyen altimétrique de ces points de contrôle est de 1,8 cm (cf rapport de mission d'Hélimap en annexe 2 pour plus de détails sur ces contrôles).

3.4.2. Contrôles "qualité" réalisés indépendamment par le BRGM

Précision altimétrique

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 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. Trente points, matérialisés en rouge sur l'illustration 13, ont été répartis sur les sept sites, au sommet et au pied de falaise.

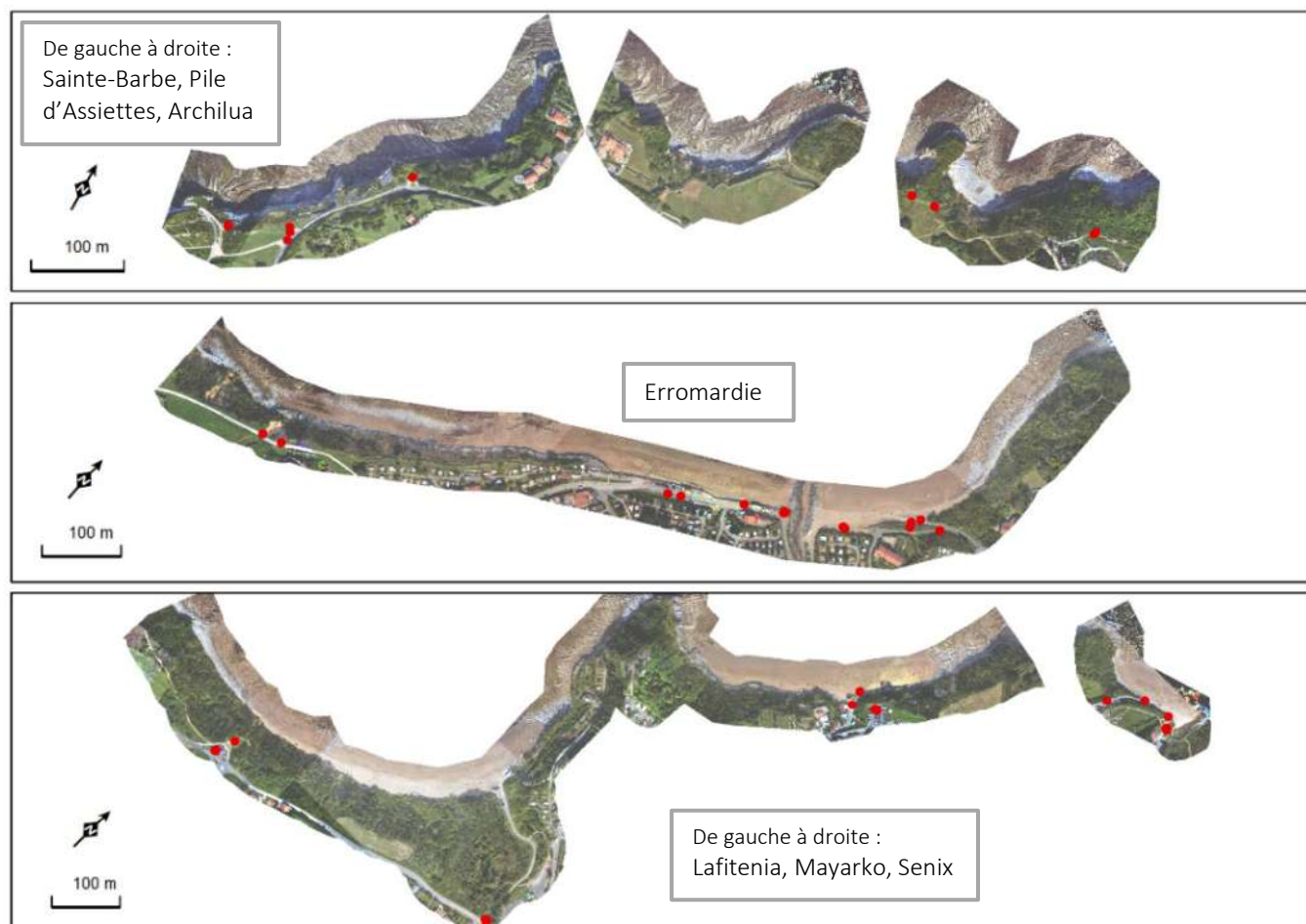


Illustration 13 - Localisation des points de contrôle topographiques, levés par le BRGM (Ortho-Express ®2017, Observatoire de la Côte Aquitaine, IGN)

Ces points, levés dans des secteurs fixes en 2017, sont considérés comme toujours pertinents pour l'analyse de la qualité en 2023. Certains ont été retirés de l'analyse du fait de la présence de sable ou de végétation. L'écart quadratique moyen sur les altitudes, défini par la formule suivante, a été calculé pour le MNT* réalisé par Hélimap :

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

Les écarts calculés sont détaillés dans le Tableau 2.

| Millésime | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Nombre points de contrôle | 24 | 26 | 26 | 35 | 30 |
| EMQz | 0,030 | 0,030 | 0,022 | 0,027 | 0,023 |
| Ecart min | -0,094 | -0,088 | -0,074 | -0,069 | -0,067 |
| Ecart max | 0,031 | 0,039 | 0,047 | 0,050 | 0,041 |
| Ecart min abs | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,001 |
| Ecart max abs | 0,094 | 0,088 | 0,074 | 0,069 | 0,067 |
| Ecart moyen abs | 0,018 | 0,027 | 0,018 | 0,024 | 0,019 |
| Nb<0,01 m | 10 | 5 | 11 | 7 | 9 |
| Nb<0,05 m | 22 | 22 | 24 | 31 | 29 |
| Nb<0,1 m | 24 | 26 | 26 | 35 | 30 |
| %<0,01 m | 41,7 | 19,231 | 42,3 | 20,0 | 30,0 |
| %<0,05 m | 91,7 | 84,615 | 92,3 | 88,6 | 96,7 |
| %<0,1 m | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tableau 2 - Statistiques des écarts observés entre les modèles MNT lidar et les mesures terrain, pour les millésimes 2019, 2020, 2021, 2022 et 2023

L'écart altimétrique moyen calculé sur le modèle numérique de terrain est de 2,3 centimètres, inférieur aux 5 centimètres annoncés par Hélimap et dans les mêmes ordres de grandeur que pour les millésimes précédents. La qualité des données est considérée comme très satisfaisante.

A titre de comparaison, l'erreur quadratique altimétrique moyenne des levés lidar régionaux (réalisés dans le cadre de l'OCNA depuis 2014, aux spécifications différentes au regard de l'emprise du levé) est estimée selon la même méthode à ~10 cm. Cela s'explique par la densité de points, différente selon les deux approches. Le levé Hélimap, étant plus près de l'objet visé (100 à 180 m du sol ou de la falaise) que celui de l'OCNA (altitude de vol : 1 500 m, vitesse 300 km/h), la densité de points du levé Hélimap est naturellement plus élevée (70 points / m² contre 8 à 16 points / m² pour un levé régional).

Densité de point

La comparaison du nombre de point émis par le lidar 2023 par rapport au lidar 2022 montre que l'apport du nouveau capteur et la diminution de la vitesse de vol ont permis d'augmenter significativement la densité de points du nuage 2023.

La commande *lasinfo* de l'utilitaire *lastools* a été utilisée pour calculer le nombre de points par dalle du nuage de points (format Las) : celui-ci a doublé, passant de 274 339 274 points dans le nuage 2022 à 581 852 392 points dans le nuage 2023.

4. Analyse diachronique

Une analyse diachronique a été réalisée pour la période 2022-2023, à partir des données produites par HéliMAP. La méthode, rappelée ci-dessous, est la même que lors des analyses précédentes (rapports BRGM/RP-69865-FR, RP-70614-FR, RP-71453-FR et RP-72363-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.

4.1. METHODE

La caractérisation des mouvements de terrain sur les falaises de Saint-Jean-de-Luz est opérée selon une approche géomatique, à partir des données produites par HéliMAP (millésimes 2022 et 2023).

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 au format raster. 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 sept millésimes, puisqu'ils font partie des livrables produits (Tableau 1).

Afin de prendre en compte la précision des données (3 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 significatives².

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 nadirale, conduit à avoir une représentation de la falaise « aplatie » sur une rangée de pixels (Illustration 14).

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.

² Les changements verticaux excédant trois fois l'imprécision effective des données n'ont que 1% de chance de survenir par hasard, si les erreurs sont distribuées comme une variable gaussienne aléatoire.

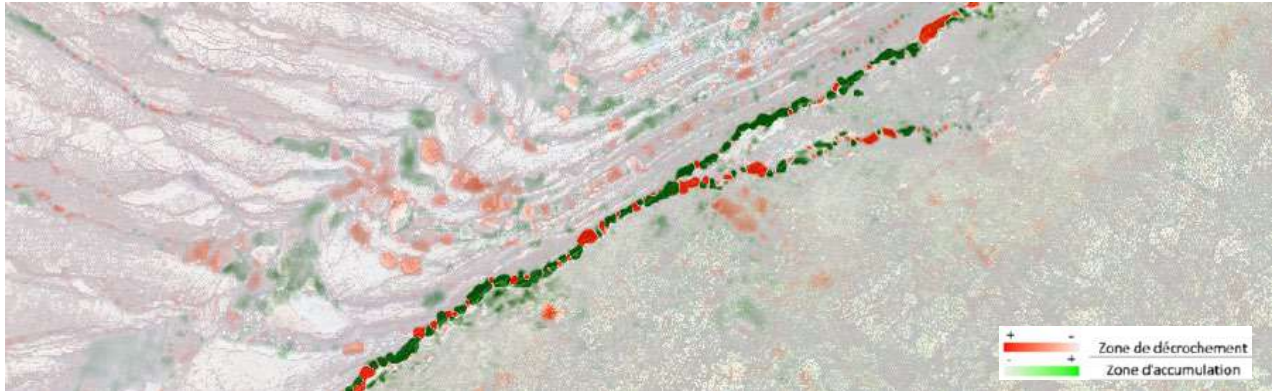


Illustration 14 - Exemple d'un différentiel de MNT sous SIG, pour la falaise sub-verticale de Sainte-Barbe

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 2022 et 2023 (ex. : volumes), ainsi que des analyses plus détaillées de certaines zones, présentant des évolutions jugées significatives.

4.2. SECTEUR DE SENIX

L'illustration 15 montre le résultat du différentiel lidar, pour l'ensemble du secteur de Sénix, au cours de la période 2022-2023. Le différentiel ne montre pas d'évolution significative pendant cette période. Ce secteur était également stable entre 2021 et 2022 (RP-72363-FR).

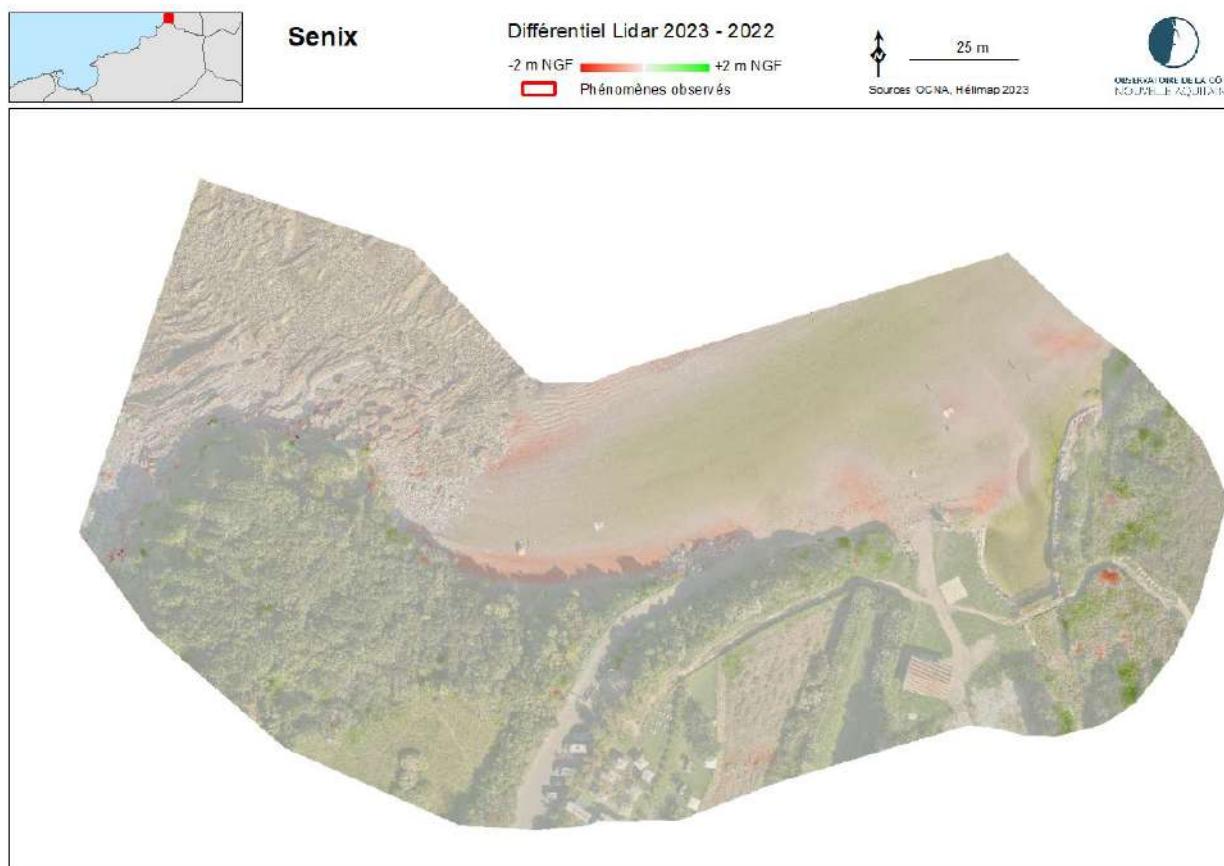


Illustration 15 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de Sénix (@Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

4.3. SECTEUR DE MAYARKO

L'illustration 16 montre le résultat du différentiel lidar, sur l'ensemble du secteur de Mayarko, pour la période 2022-2023.

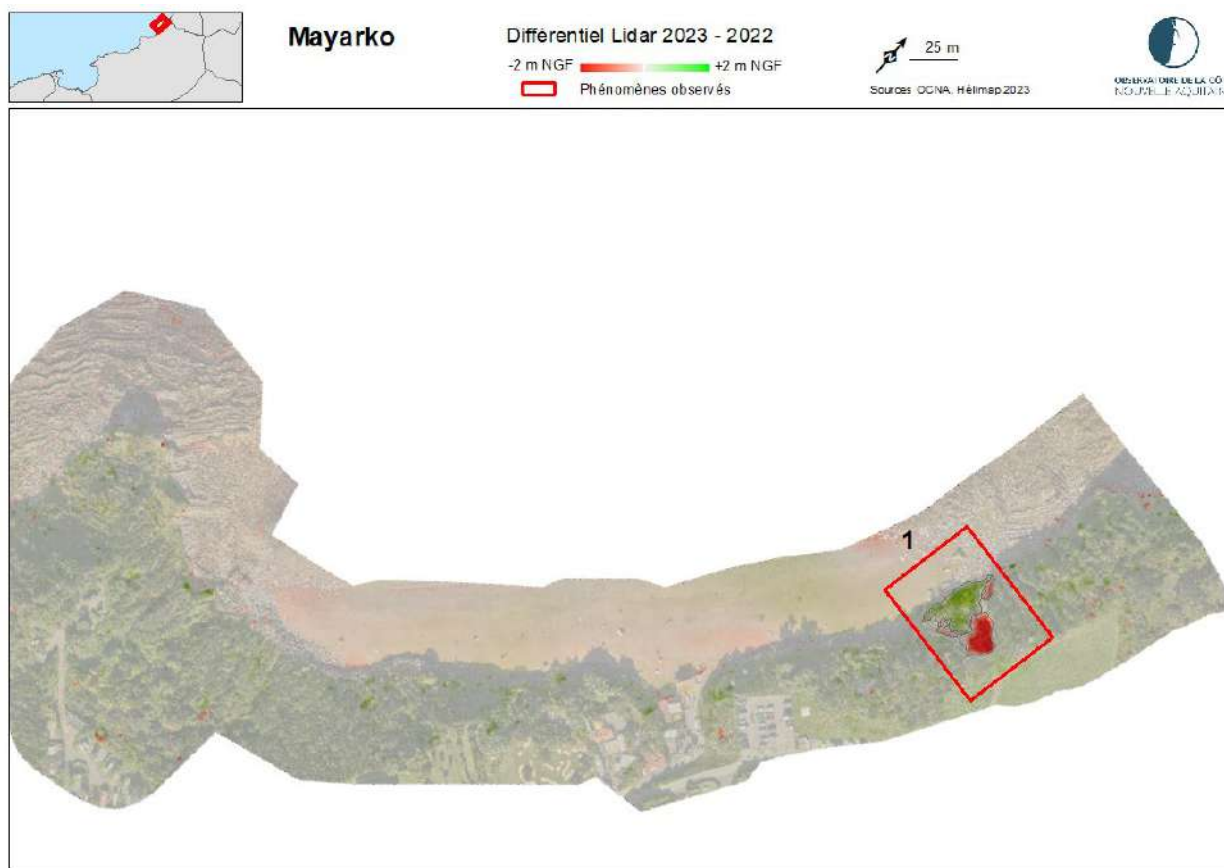


Illustration 16 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de Mayarko (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMap)

L'analyse diachronique des données lidar des campagnes 2023 et 2022 permet d'observer l'évolution d'un site à l'est du secteur de Mayarko (Illustrations 16 et 21). Il s'agit de la reprise d'activité du glissement de terrain ayant mobilisé entre 2017 et 2018 un volume d'environ 350 m³ (Illustration 17).

L'analyse des données des campagnes de 2019 et 2020 (Illustration 18) tendait à indiquer une faible dynamique d'activité pendant cette période, pour un volume glissé total de l'ordre de 70 m³ (provenant de deux petits décrochements en partie haute d'arrachement). Cette évolution était restée néanmoins assez marginale, sans extension latérale, ni régression significative, du glissement de terrain.

L'analyse diachronique des données lidar des campagnes de 2020 et 2021 mettait quant à elle en évidence une nette reprise de l'activité de glissement observée (Illustration 19), avec un décrochement actif de près de 370 m² et un volume glissé total d'environ 290 m³.

Bien que la dynamique du site soit restée peu évolutive entre 2021 et 2022, le différentiel entre 2022 et 2023 permet d'observer une nette reprise de l'activité du glissement de terrain, avec un décrochement actif de près de 345 m² pour un volume glissé d'environ 550 m³ (Illustrations 20 et 21). Outre les caractéristiques géomorphologiques du site (versant fortement incliné, altération marquée des flyschs), la dynamique est favorisée par l'impact de la houle sur un pied de versant situé en marge du cordon d'engrèvements existant.

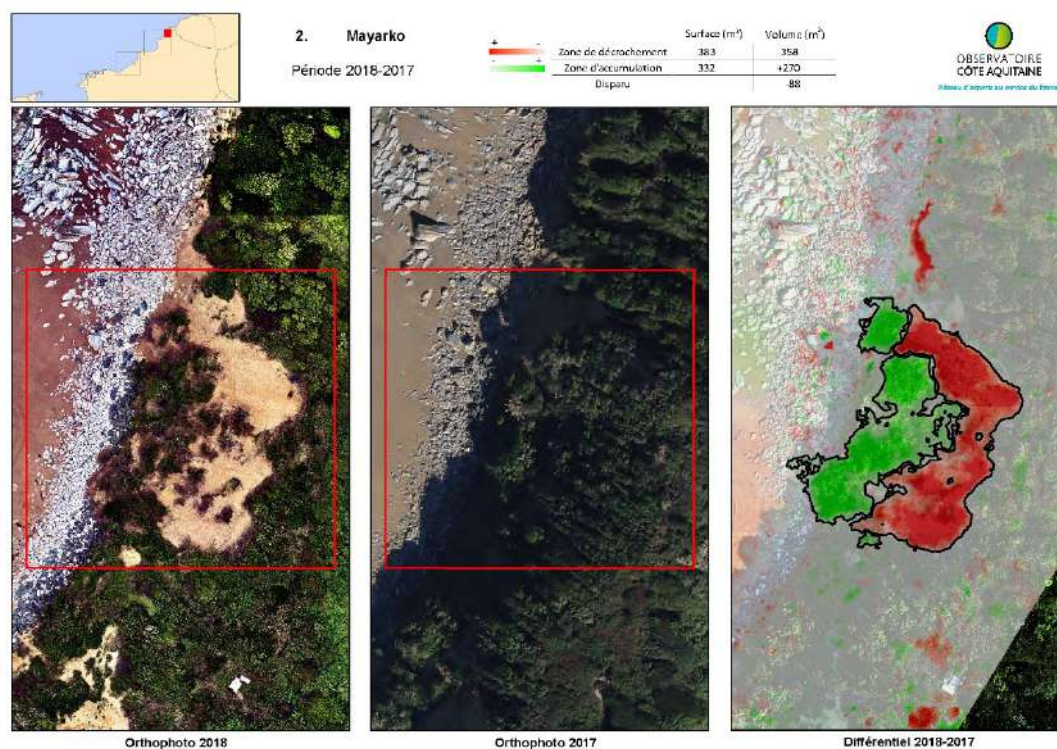


Illustration 17 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2017 et 2018 (extrait rapport BRGM/RP-69865-FR)
(©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

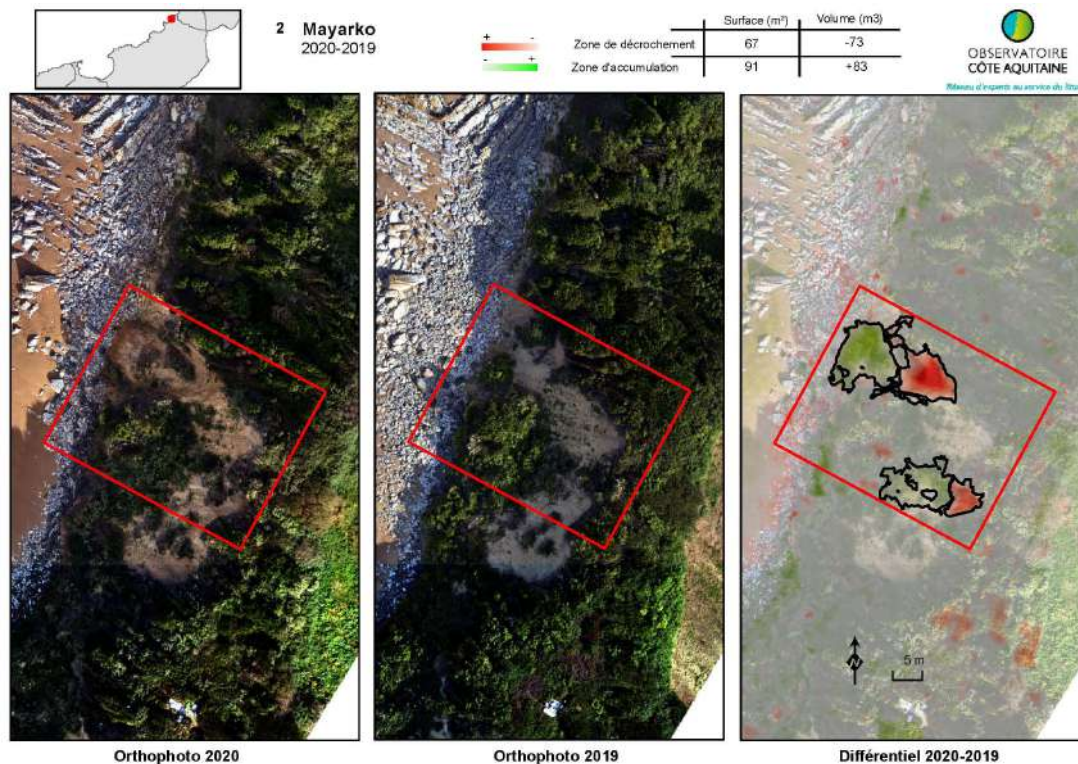


Illustration 18 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2020 (extrait rapport BRGM/RP-70614-FR)
(©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

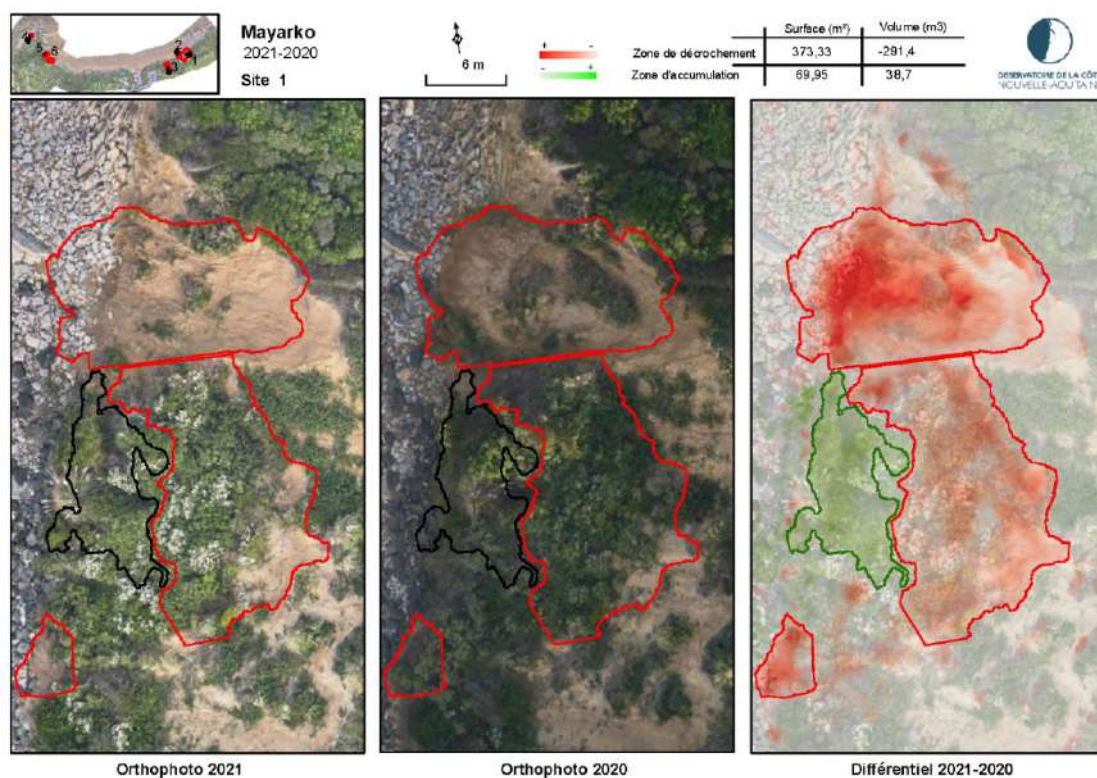


Illustration 19 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2020 et 2021 (extrait rapport BRGM/RP-71453-FR)
(©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

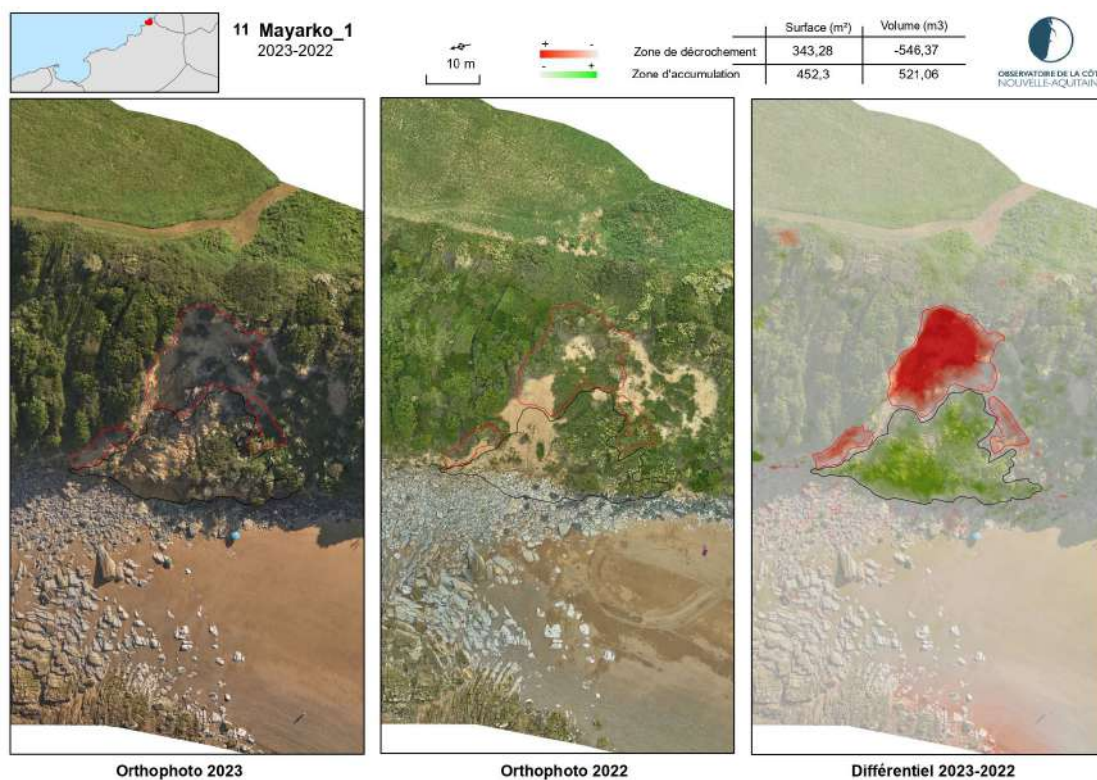


Illustration 20 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1) : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)



*Illustration 21 - Zone de glissement en partie orientale du secteur de Mayarko (site 1)
©Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, C. REBIERE - Balloide-Photo Bayonne, 2023*

4.4. SECTEUR DE LAFITENIA

L'Illustration 22 montre le résultat du différentiel lidar, pour l'ensemble du secteur de Lafitenia, entre 2022 et 2023.

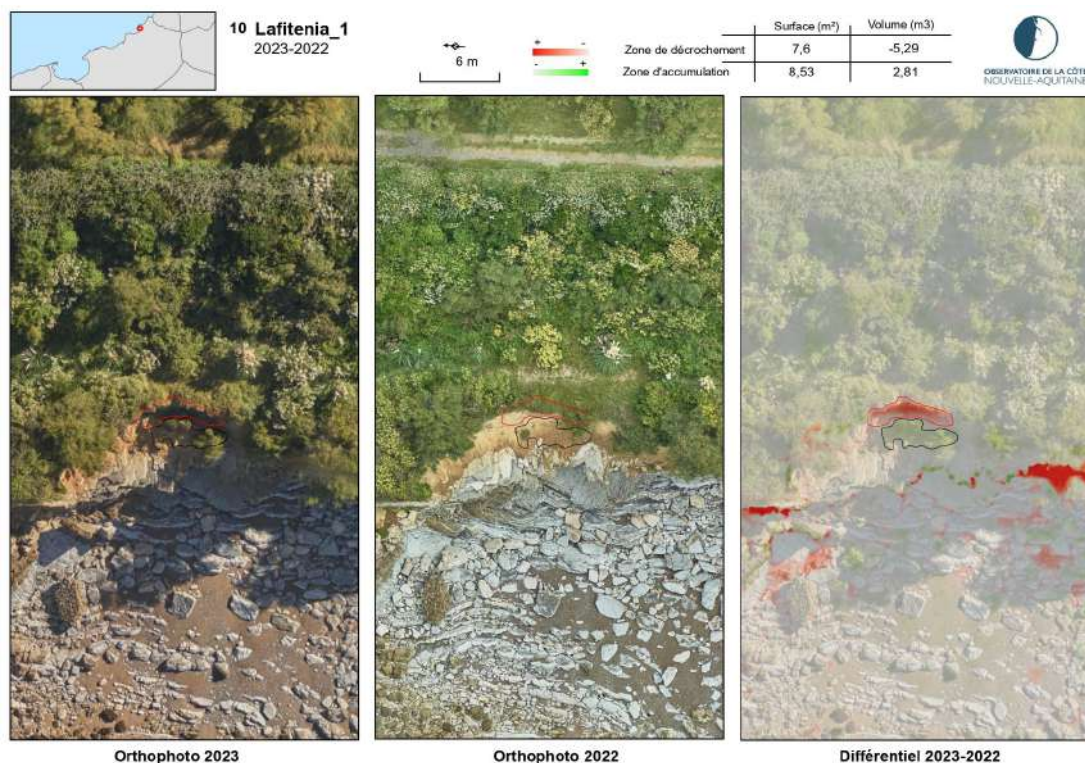


Illustration 22 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de Lafitenia (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMap) (flèche bleue : localisation du glissement de terrain de décembre 2021)

On distingue différents sites d'évolution dans le secteur de Lafitenia :

- Au nord de la plage de Lafitenia (site 1, Illustrations 22 et 23) : on observe une érosion du pied de versant sur un linéaire d'environ 5 mètres. Le différentiel sur l'année écoulée permet de quantifier un décrochement d'environ 5 m³.

La dynamique du site 1 reste peu évolutive. Pour rappel : le différentiel entre 2020 et 2021 avait permis d'observer une évolution en pied de versant, dans des niveaux de flyschs altérés, d'assez faible ampleur. Un volume de 25 m³ avait été mobilisé par l'impact direct des vagues au cours de la période (RP-71453-FR). Le différentiel entre 2021 et 2022 n'avait pas mis en évidence d'évolution notable sur le site (RP-72363-FR).



*Illustration 23 - Différentiel lidar 2023-2022 pour le site 1 du secteur de Lafitenia
(©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)*

- A quelques dizaines de mètres au nord de l'accès à la plage de Lafitenia (site 2, Illustration 22) : on observe une érosion du pied de versant qui a mobilisé environ 60 m^3 entre 2022 et 2023, il s'agit de la poursuite de processus érosifs par impact des vagues (Illustration 24). Bien qu'aucune évolution notable n'ait été identifiée par le différentiel entre 2021 et 2022 (RP-72363-FR), des évolutions similaires ont été observées dans le passé, notamment entre 2020 et 2021, avec un volume de 135 m^3 mobilisé sur le site (RP-71453-FR).

Ce secteur, anciennement ouvragé, est en cours de destructuration (Illustration 25).

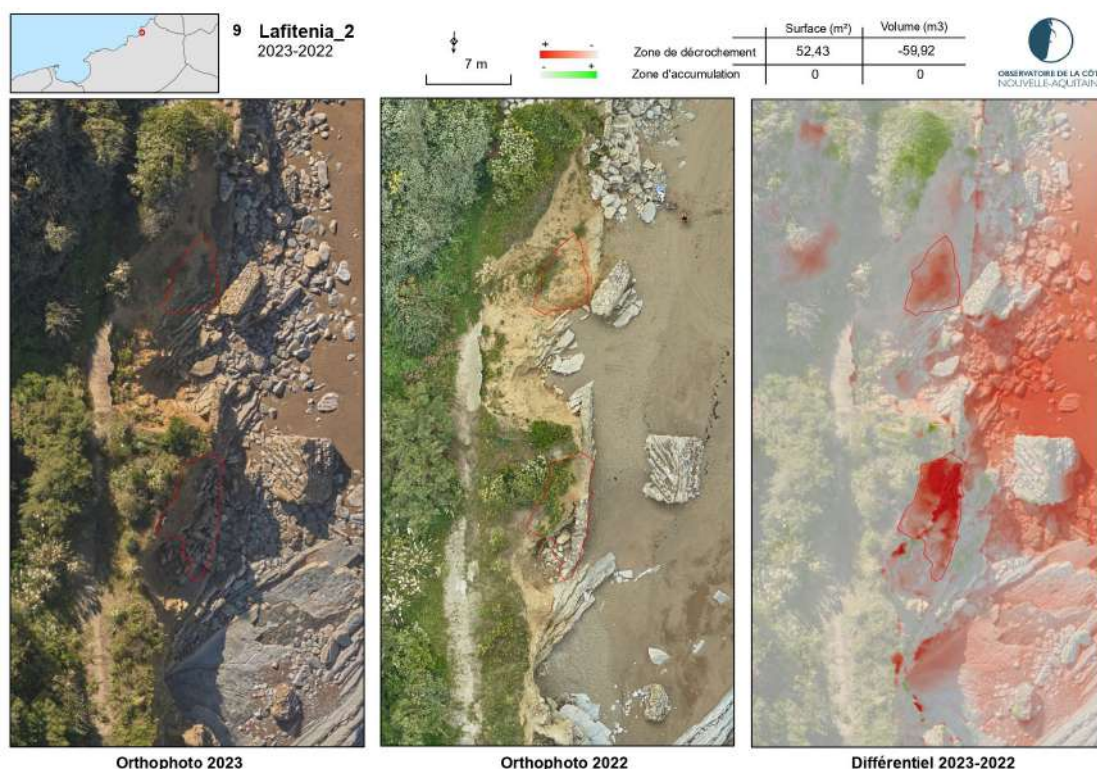


Illustration 24 - Différentiel lidar 2023-2022 sur le site 2 du secteur de Lafitenia
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 25 - Vue du site 2 du secteur de Lafitenia depuis l'estran le 14/11/2023 (©OCNA)

- A l'ouest immédiat du poste de secours de la plage (site 3, Illustration 22) : on observe une érosion du pied de versant par la houle, accompagnée d'une dynamique de glissement de la partie inférieure du versant, au sein de flyschs altérés.

Déjà actifs au cours des années antérieures, ces processus érosifs se sont renforcés pendant la période 2019-2020 (Illustration 26) et 2022-2023 (Illustration 27). L'analyse diachronique des données lidar des campagnes de 2022 et 2023 permet d'observer un glissement qui s'étend en pied de falaise sur un linéaire d'une trentaine de mètres et sur une hauteur de l'ordre de 15 m. Ce décrochement a mobilisé un volume d'environ 135 m³ (Illustrations 27 à 29).

Au regard des éléments déclencheurs (pluviométrie, houle), une activité régressive plus ou moins importante susceptible de déstabiliser plus largement le versant, est à redouter au cours des années à venir.

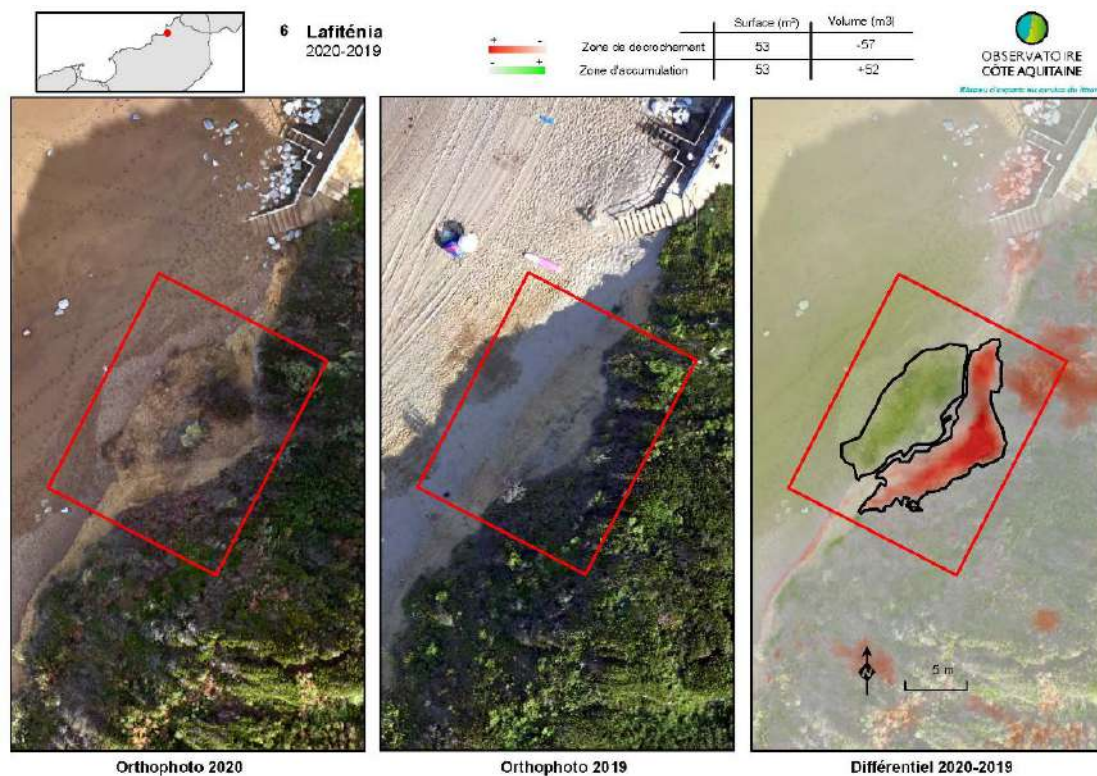


Illustration 26 - Evolution du site 3 (secteur de Lafiténia) entre 2019 et 2020 (extrait rapport BRGM/RP-70614-FR)
(©Observatoire de la Côte Aquitaine, Hélimap)

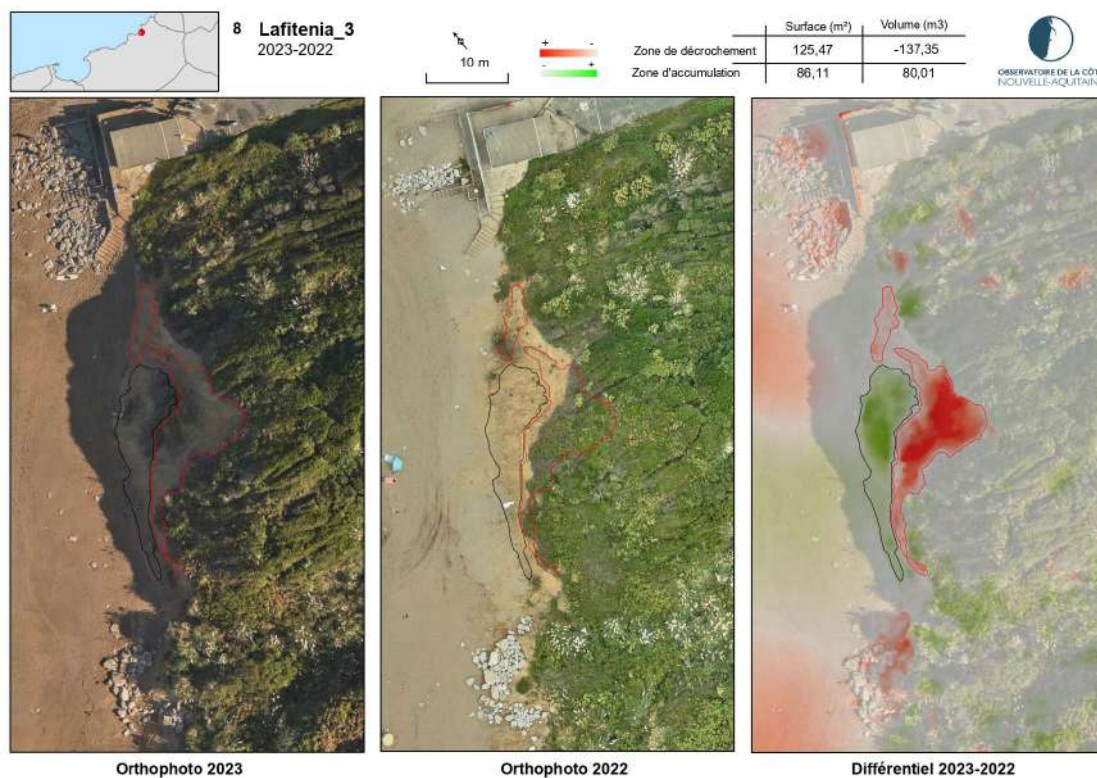


Illustration 27 - Evolution du site 3 (secteur de Lafitenia) entre 2022 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 28 - Erosion du pied de versant sur le site 3 (©Observatoire de la côte Nouvelle-Aquitaine, C. REBIERE - Balloide-Photo Bayonne, 12/12/2023)



Illustration 29 - Erosion du pied de versant sur le site 3 vu depuis l'estran le 14/11/2023 (@OCNA)

- Au niveau du site 4 (Illustration 22), le différentiel met en évidence un glissement de terrain d'environ 125 m³, à quelques mètres plus à l'est du glissement de terrain de décembre 2021 (Illustration 30 et Illustration 31 (flèche bleue)) : encoche érosive de quelques mètres de large sur une vingtaine de mètres de hauteur environ.

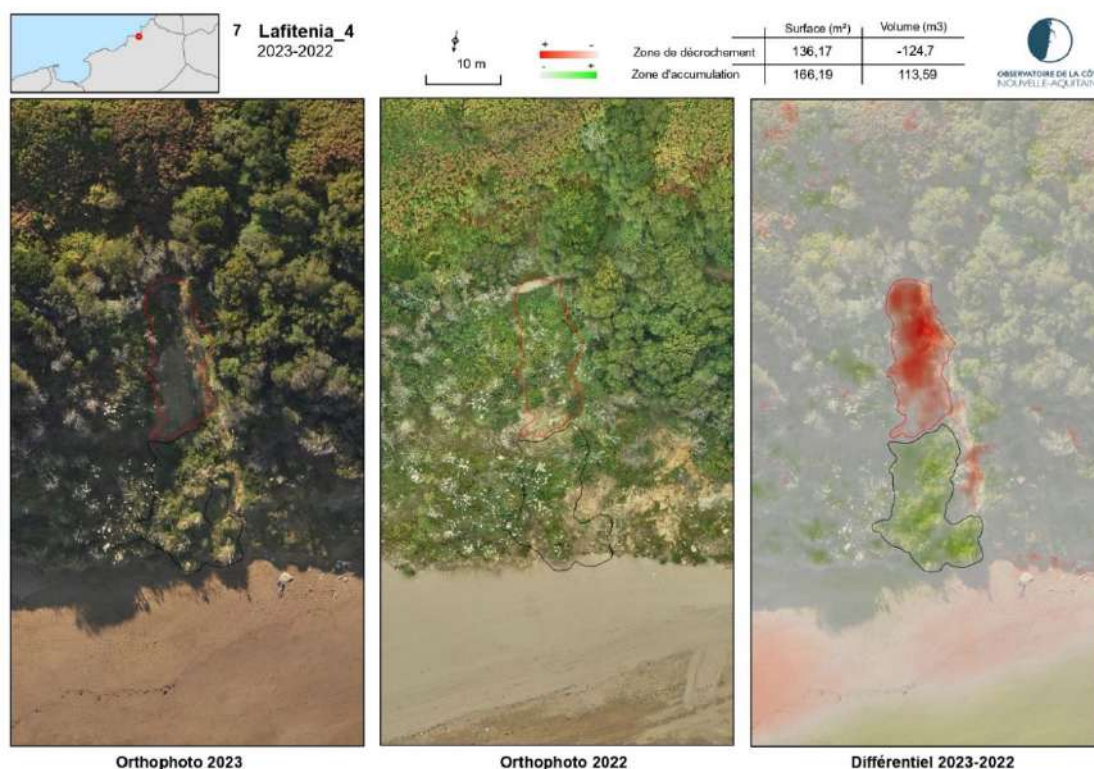


Illustration 30 - Site 4 du secteur de Lafitenia : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2023 et 2022 (@Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 31 - Glissement de terrain sur le site 4 ©Observatoire de la côte Nouvelle-Aquitaine, C. REBIERE - Balloide-Photo Bayonne, 12/12/2023

Pour rappel, ce glissement s'était déclaré en partie supérieure de versant (au droit de la maison Gachucha), destructurant le sentier littoral sur près de 10 m de large. La niche d'arrachement sommitale se développait sur 25 m à 30 m de large environ, avec un rejet vertical de l'ordre de 6 m à 7 m de hauteur. Selon l'analyse différentielle des données lidar (cf. Illustration 32 ; RP-72363-FR), la zone de rupture présentait une surface proche de 430 m², pour un volume décroché de 450 m³ environ. Des vues aériennes obliques du phénomène (datée de mai 2022) sont présentées sur les Illustration 33 et Illustration 34. Selon le différentiel et l'analyse de photographies obliques, le site n'a pas connu d'évolution significative entre 2022 et 2023.

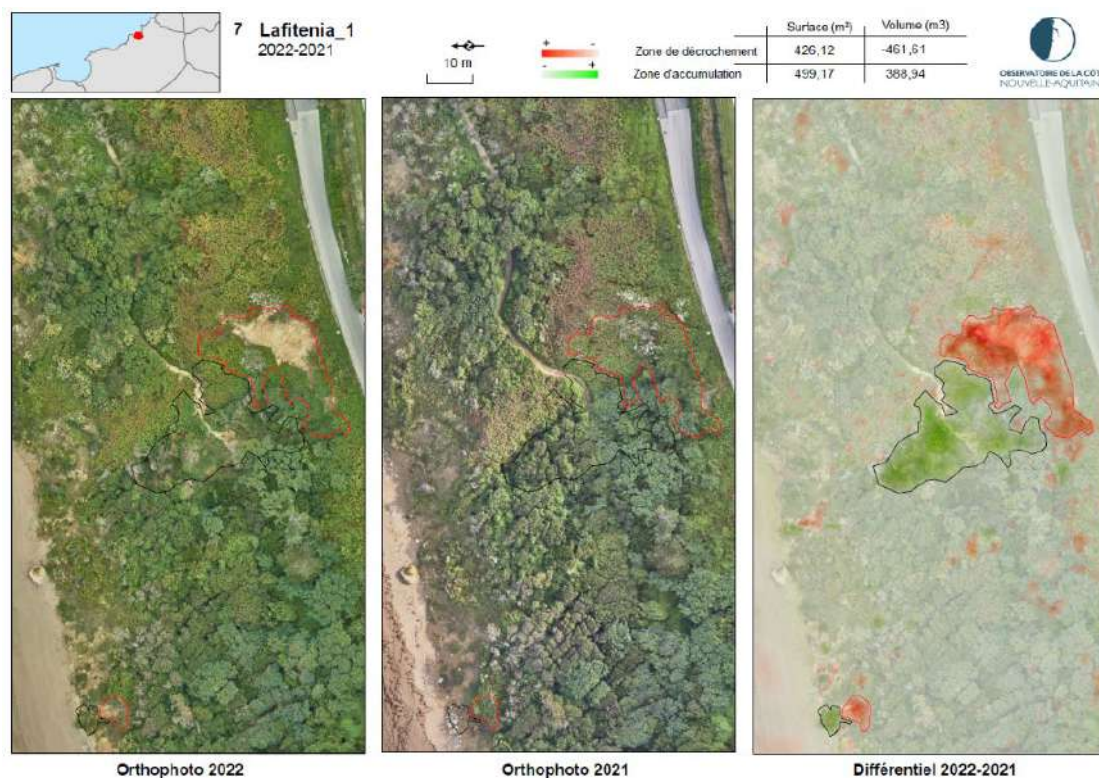


Illustration 32 - Site 4 du secteur de Lafitenia : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (@Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

L'analyse différentielle réalisée pour la période 2022-2023 prolonge les résultats obtenus au cours des années antérieures (qu'appuient les constats faits sur le terrain), en ce qui concerne notamment l'érosion plus ou moins continue et active du pied de versant, dans la partie Lafitenia ouest notamment. Cette situation se traduit par une dégradation plus ou moins marquée des conditions de stabilité du versant et s'avère propice au déclenchement de glissements de terrain d'ampleur plus importante, pouvant affecter le versant sur une hauteur plus ou moins importante. Les cicatrices de glissement observées se caractérisent par ailleurs par un potentiel évolutif plus ou moins marqué.



*Illustration 33 - Secteur de Lafitenia : vue aérienne oblique, datée du 12 mai 2022, du glissement de terrain survenu le 11 décembre 2021 et identification indicative de la niche de décrochement sommitale
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*



Illustration 34 - Secteur de Lafitenia : vue aérienne oblique, datée du 12 mai 2022, de la partie supérieure du glissement de terrain survenu en décembre 2021 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

4.5. SECTEUR D'ERROMARDIE

L'Illustration 35 montre le résultat du différentiel lidar, pour l'ensemble du secteur d'Erromardie, au cours de la période 2022-2023.

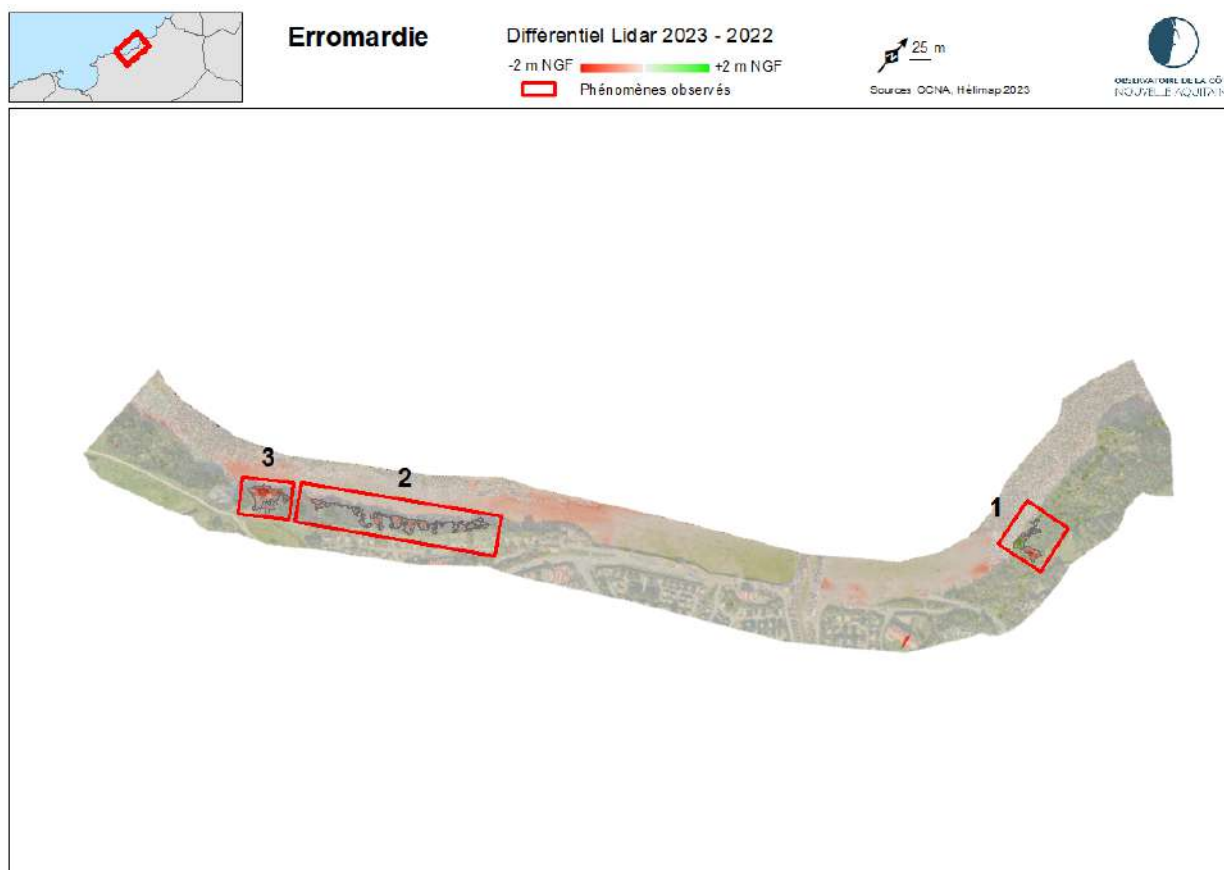


Illustration 35 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur d'Erromardie (@Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMap)

L'analyse différentielle, réalisée entre 2022 et 2023, prolonge les résultats obtenus au cours des périodes antérieures (notamment de 2020-2021 et 2021-2022) sur l'ensemble des sites 1, 2 et 3. Le pied de versant de la plage d'Erromardie (en particulier du côté ouest par rapport à l'accès plage) est, de façon quasi-généralisée, attaqué par les vagues et montre des entailles érosives plus ou moins importantes. Cette situation se traduit par une dégradation plus ou moins marquée des conditions de stabilité du versant et s'avère propice au déclenchement de glissements de terrain d'ampleur plus importante, pouvant affecter le versant sur une hauteur plus ou moins importante.

Plus en détail, on observe les évolutions suivantes :

- Site 1 : le différentiel lidar met en évidence des emprises, de quelques mètres à près d'une quinzaine de mètres de large, correspondant à des entailles érosives du pied de versant par les vagues qui se traduisent par le glissement de matériaux meubles (flyschs altérés et colluvions). Un total de 235 m² a été mobilisé au cours de la période pour un volume d'environ 190 m³ (Illustration 36).

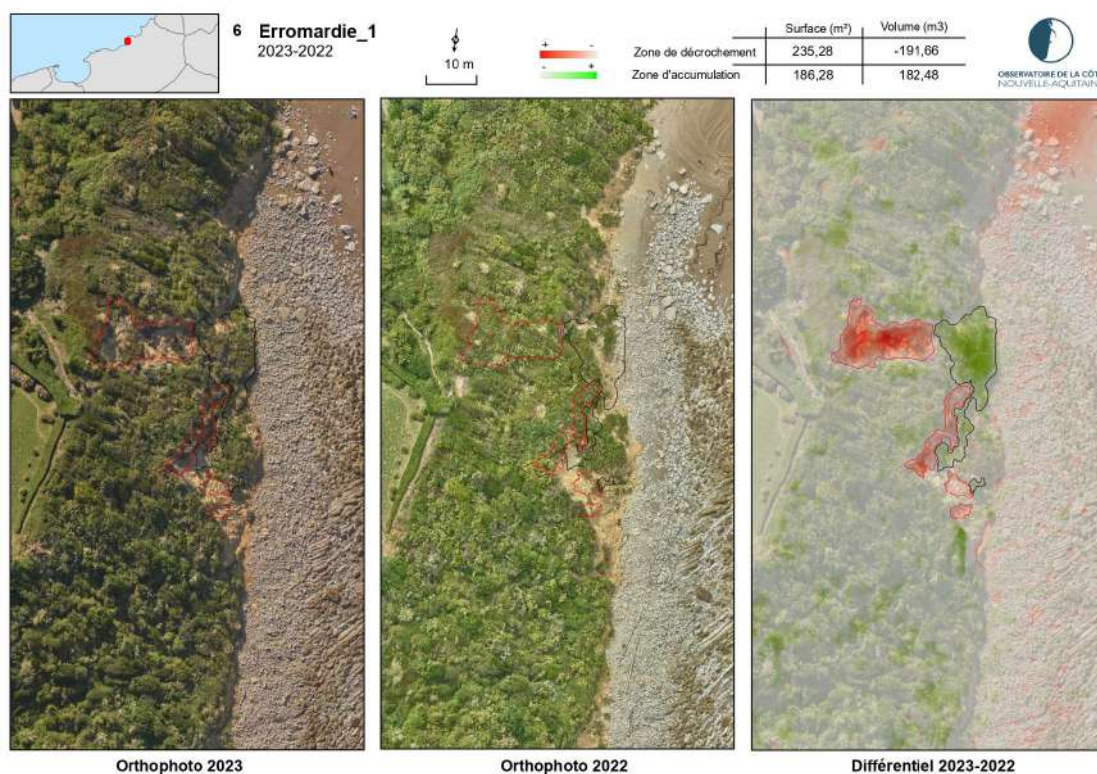


Illustration 36 - Site 1 du secteur d'Erromardie : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

A une cinquantaine de mètres plus au sud, on constate que le secteur, dans lequel avait été observée une cicatrice d'arrachement pendant la période 2019-2022 (site 6 du rapport RP-72363), n'a pas subi d'évolution notable. Pour rappel, la tête de ce glissement se situe à une quinzaine de mètres environ de hauteur et s'étend sur une largeur de l'ordre de 30 à 35 m. Il s'est vraisemblablement développé de façon lente (faible évolution d'une année à l'autre) à partir de 2020, voire antérieurement, mais de façon masquée par la végétation (Illustration 37).

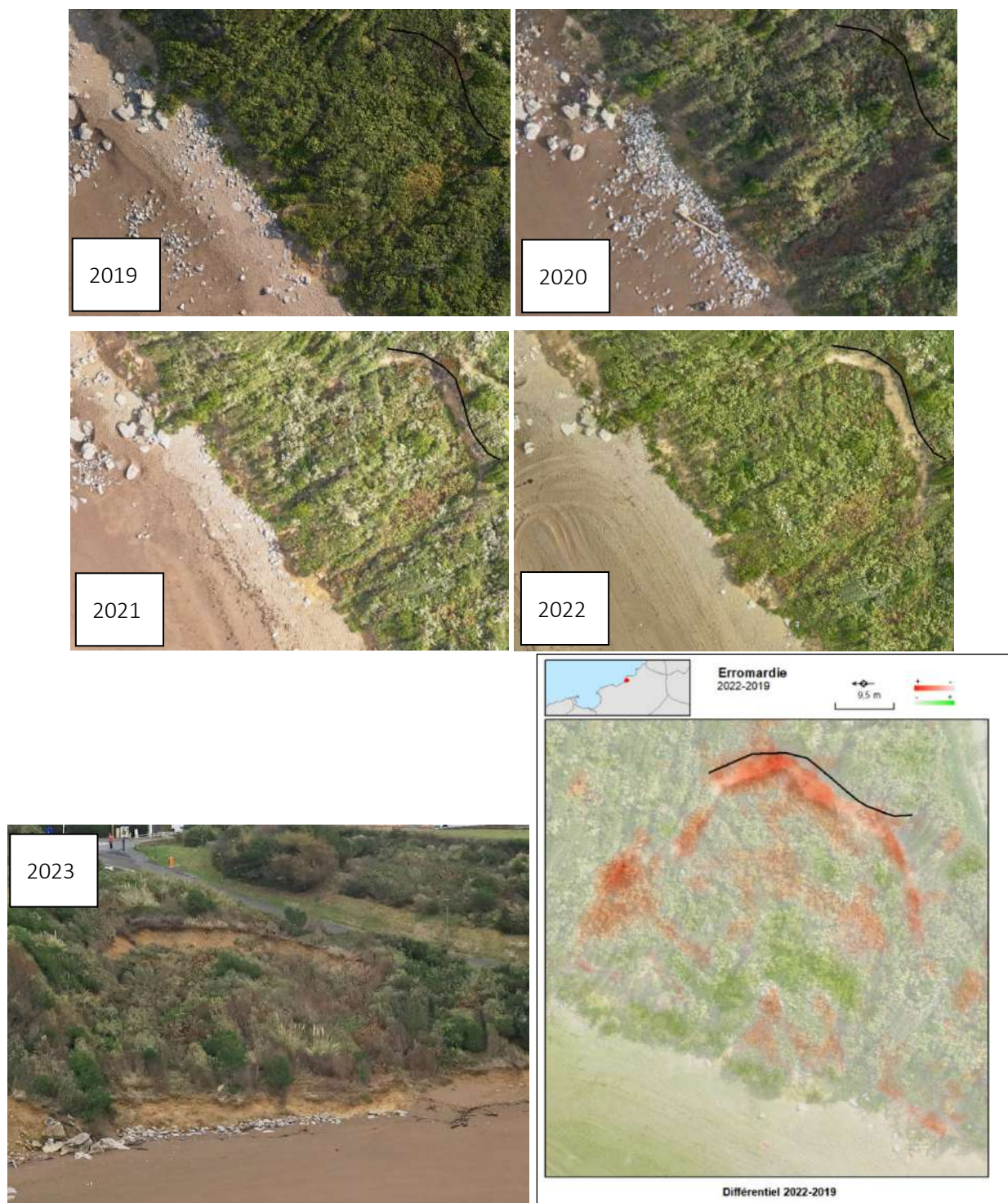


Illustration 37 - Cicatrice d'arrachement observable, sur le versant est du secteur d'Erromardie, sur les orthophotos de 2019 à 2023 ; analyse différentielle des données lidar des campagnes 2019 et 2022 (en bas à droite, ©OCNA, Hélimap ; ©OCNA, Balloide photos) (extrait du rapport RP-72363-FR)

- Site 2 : comme indiqué précédemment, le linéaire est fortement sollicité par l'action des vagues (en dépit du cordon d'enrochements) et l'ensemble du pied de versant du site est en proie à une dynamique érosive et de glissement de terrain.

Pendant la période 2021-2022, le volume érodé a été évalué à environ 440 m³ sur le linéaire de versant identifié sur l'illustration 38. Entre 2022 et 2023, le volume érodé s'élève à environ 545 m³ (Illustration 39).



Illustration 38 - Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)

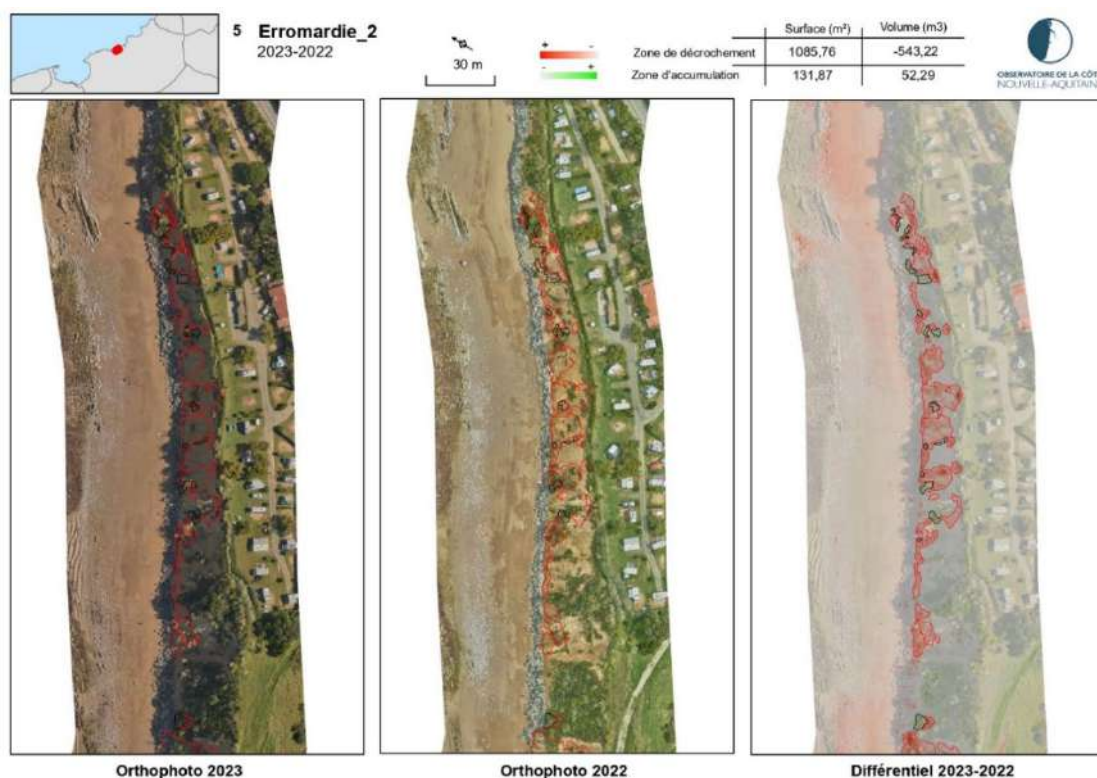


Illustration 39 - Site 2 du secteur d'Erromardie : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

- Site 3 : ce linéaire de falaise d'Erromardie ouest se caractérise par une activité érosive chronique et l'occurrence régulière de glissements de terrain d'ampleur variable. La précédente analyse différentielle entre les données lidar de 2021 et 2022 (site 4 du rapport RP-72363-FR) a mis en évidence l'occurrence d'un glissement important en décembre 2021. Le glissement a affecté un linéaire d'environ 25 m à 30 m en partie sommitale de versant. Des désordres ont été observés sur près de 15 m en arrière de la tête de falaise et le sentier littoral a été affecté (le tracé de ce dernier a depuis été rectifié). Selon l'analyse des données lidar, la surface de décrochement de cette instabilité a avoisiné 600 m², pour un volume mobilisé de l'ordre de 1 250 m³ Illustrations 40 à 42).

L'analyse différentielle entre les données lidar de 2022 et 2023 révèle la poursuite de cette activité, avec un volume érodé de 530 m³ de flyschs altérés et de colluvions au cours de la période (Illustrations 43 et 44). Le phénomène se poursuit par décharge du pied de versant (remobilisation des matériaux glissés par les vagues) et affaissement progressif des matériaux sus-jacents, sans recul du sommet de falaise pendant la période d'étude.

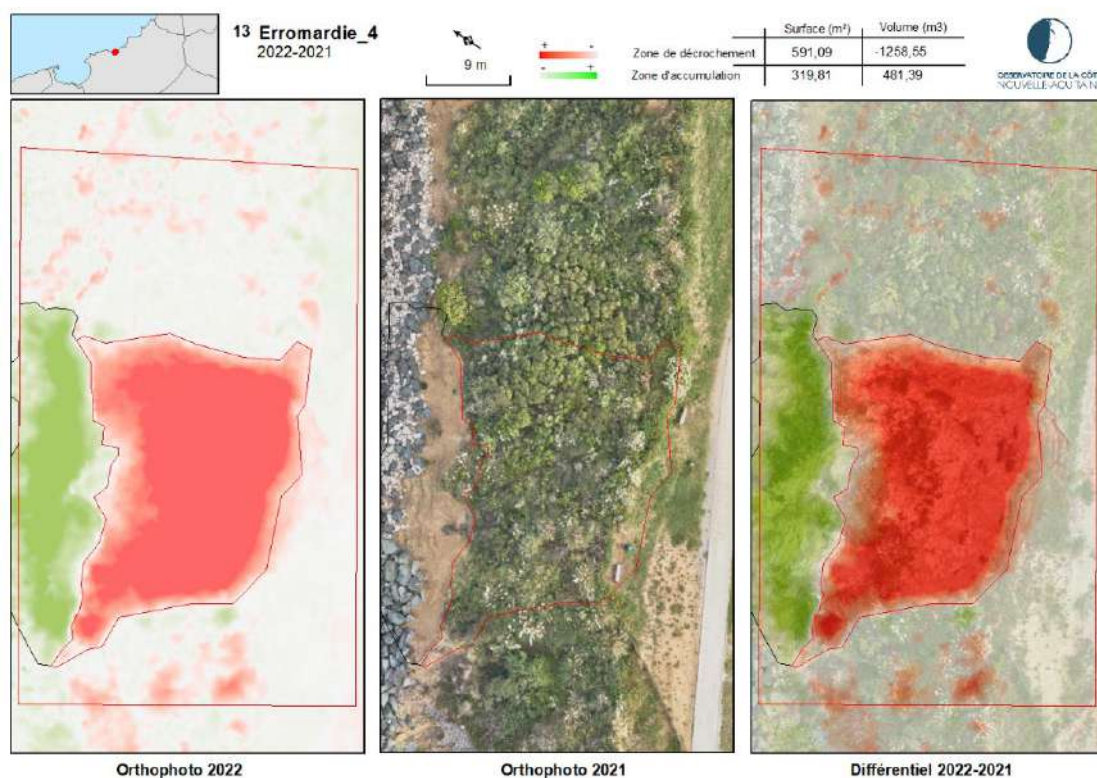


Illustration 40 - Orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 41 - Site 3 du secteur d'Erromardie : vue aérienne oblique du glissement survenu en décembre 2021 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloide Photo)



Illustration 42 - Site 3 du secteur d'Erromardie : désordres observables en arrière de la tête de versant et sur le sentier littoral suite au glissement de décembre 2021 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, décembre 2021)

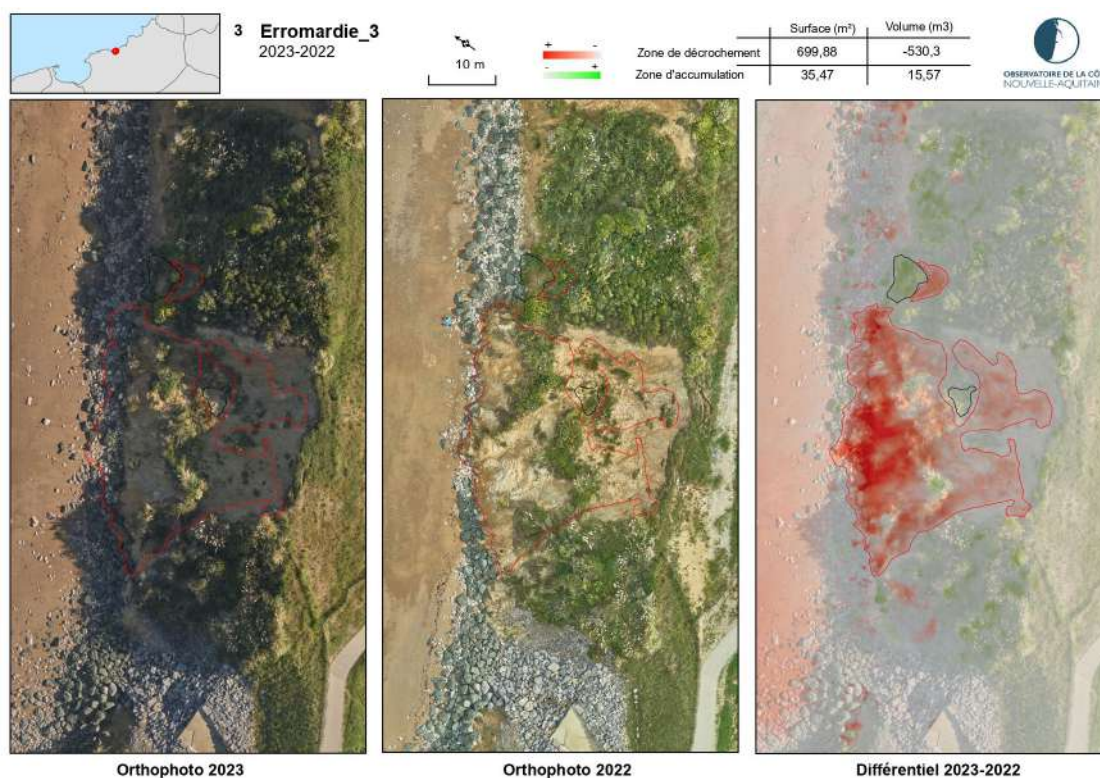


Illustration 43 - Site 3 du secteur d'Erromardie : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 44 - Site 3 du secteur d'Erromardie (©Observatoire de la côte Nouvelle-Aquitaine, C. REBIERE - Balloide-Photo Bayonne, 12/12/2023)

4.6. SECTEUR D'ARCHILUA

L'illustration 45 montre le résultat du différentiel lidar, pour l'ensemble du secteur d'Archilua, au cours de la période 2023-2022. Deux sites se distinguent par leur évolution :

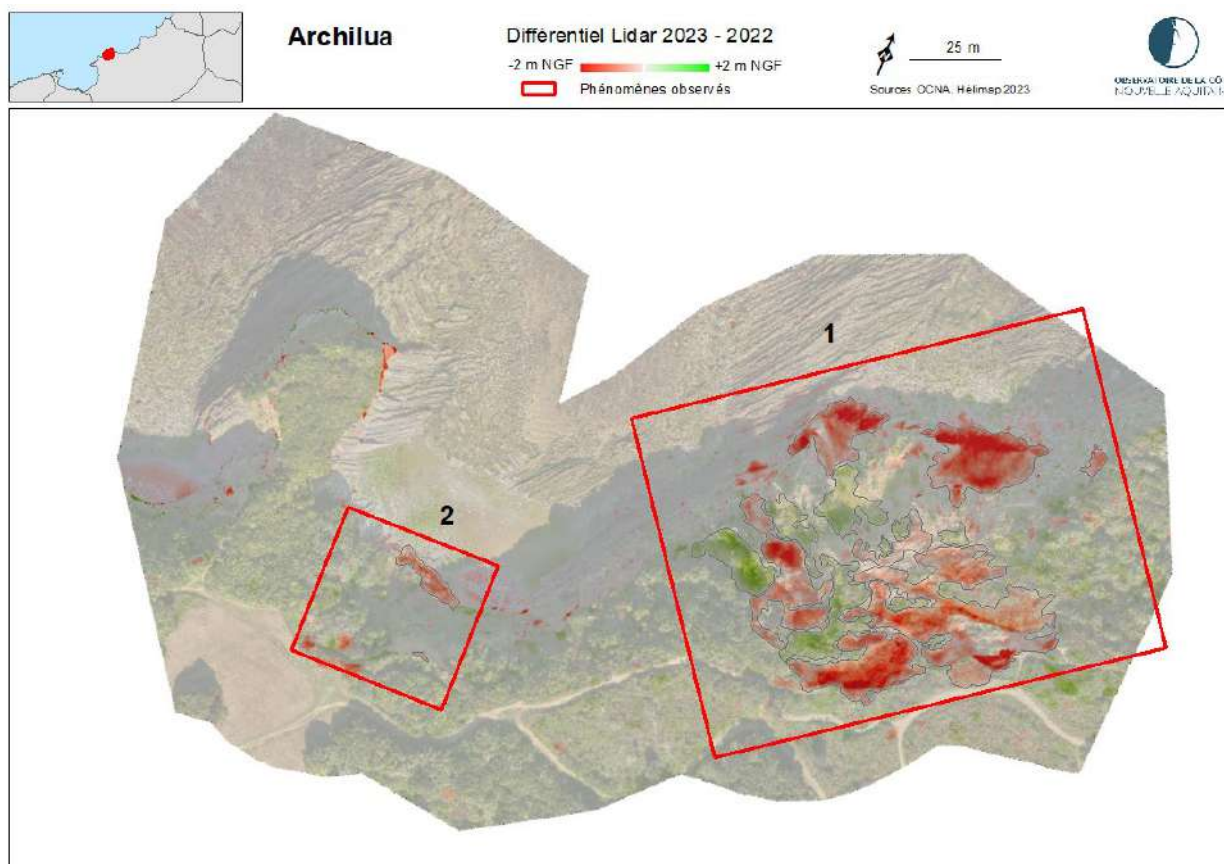


Illustration 45 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur d'Archilua (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

- Le site 1, situé dans la partie orientale du secteur, correspond à l'emprise du glissement de terrain dont la rupture est intervenue le 10/12/2020, après de fortes précipitations (cumul de 255,7 mm du 01 au 09/12/2020 au poste de Socoa, dont 228,8 mm du 05 au 09/12). Des décrochements étaient apparus sur le sentier littoral, ou aux abords de celui-ci, sur un linéaire de 60 m environ. Le phénomène a connu une réactivation importante en décembre 2021, avec des indices de mouvements concernant un linéaire de côte avoisinant 80 m. La niche d'arrachement sommitale, d'un rejet vertical de quelques décimètres à moins de 1 m en décembre 2020, présentait une hauteur de l'ordre de 6 m, un an plus tard, dans la partie centrale du glissement (cf. rapport BRGM/RP-72047-FR).

L'analyse différentielle des données lidar (Illustrations 46 à 48) donne une évaluation du volume mobilisé par le glissement, tout au long de la période 2021-2022, supérieure à 4 000 m³. Ce volume estimé dans la zone d'accumulation est très inférieur (1 850 m³ environ), les matériaux glissés, essentiellement constitués de niveaux meubles à composante argileuse et d'une fraction rocheuse limités (bancs de flyschs déstructurés en éléments de faible volume), ayant été pour une large part remobilisés par l'océan.

L'analyse différentielle des données lidar de 2023 et 2022 permet d'observer la poursuite de cette dynamique, avec un volume glissé d'environ 2 300 m³ (ce volume comprend la remobilisation de la masse mise en mouvement entre 2021 et 2022) et un volume accumulé de 480 m³ (Illustration 49).

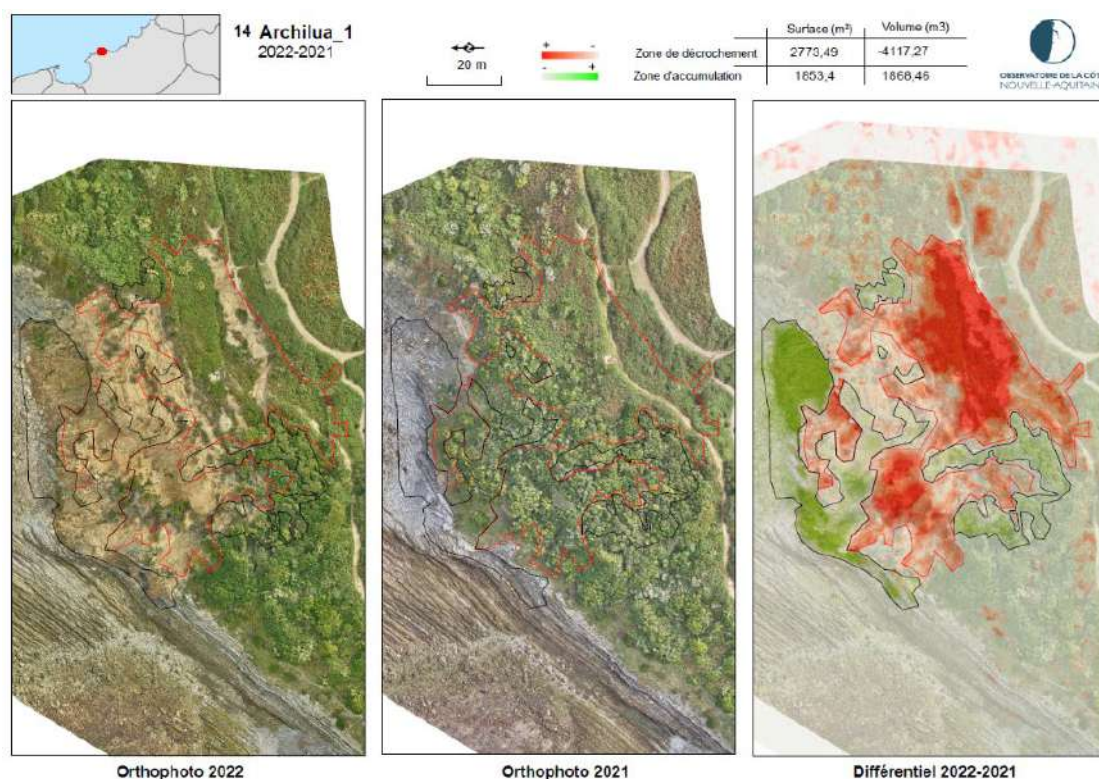


Illustration 46 - Site 1 du secteur d'Archilua : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (@Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)



Illustration 47 - Sites 1 et 2 du secteur d'Archilua : vue aérienne oblique, datée de mai 2022, des zones de glissement identifiées par analyse différentielle 2022-2021 des données lidar (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)



Illustration 48 - Site 1 du secteur d'Archilua : vue aérienne oblique, datée de mai 2022, du glissement de terrain survenu en décembre 2020 et réactivé en décembre 2021 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

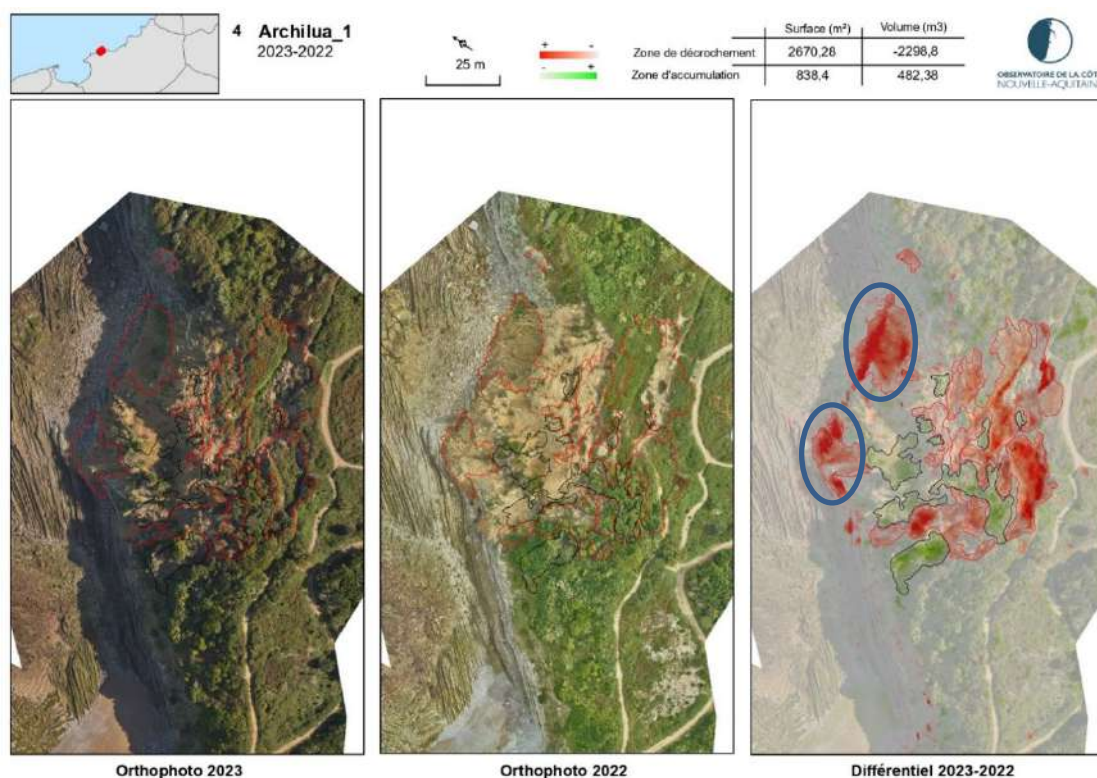


Illustration 49 - Site 1 du secteur d'Archilua : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (cercle bleu : principaux décrochements identifiés par l'analyse complémentaire)
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

L'analyse complémentaire réalisée à partir des nuages de points permet de distinguer les deux principaux décrochements situés en pied de falaise (cercles bleus dans l'illustration ci-dessus). Cela offre des vues en 3D des décrochements. Le calcul de volume avec Cloudcompare® indique qu'ils représentent respectivement 520 m³ et 150 m³ (Illustration 50). Ces départs tendent à fragiliser et entretenir la dynamique de la partie supérieure du glissement.



Illustration 50 - Site 1 du secteur d'Archilua : vues en 3D des décrochements en pied de falaise (en rouge) superposés sur le mesh 2023, réalisées à partir des différentiels de nuages de points des campagnes 2022 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

- Situé à 150 m à l'ouest du site 1, le site 2 s'érode progressivement depuis 2017. Pendant la période 2017 à 2022, le volume érodé est évalué, par analyse différentielle des données lidar, à 570 m³ (dont 120 m³ entre 2021 et 2022) (Illustrations 51 et 52). L'analyse différentielle des données lidar de 2022 et 2023 permet d'observer la poursuite de cette activité avec un volume érodé d'environ 60 m³ (Illustration 53). Ce volume correspond principalement à l'érosion des matériaux accumulés en pied de versant.

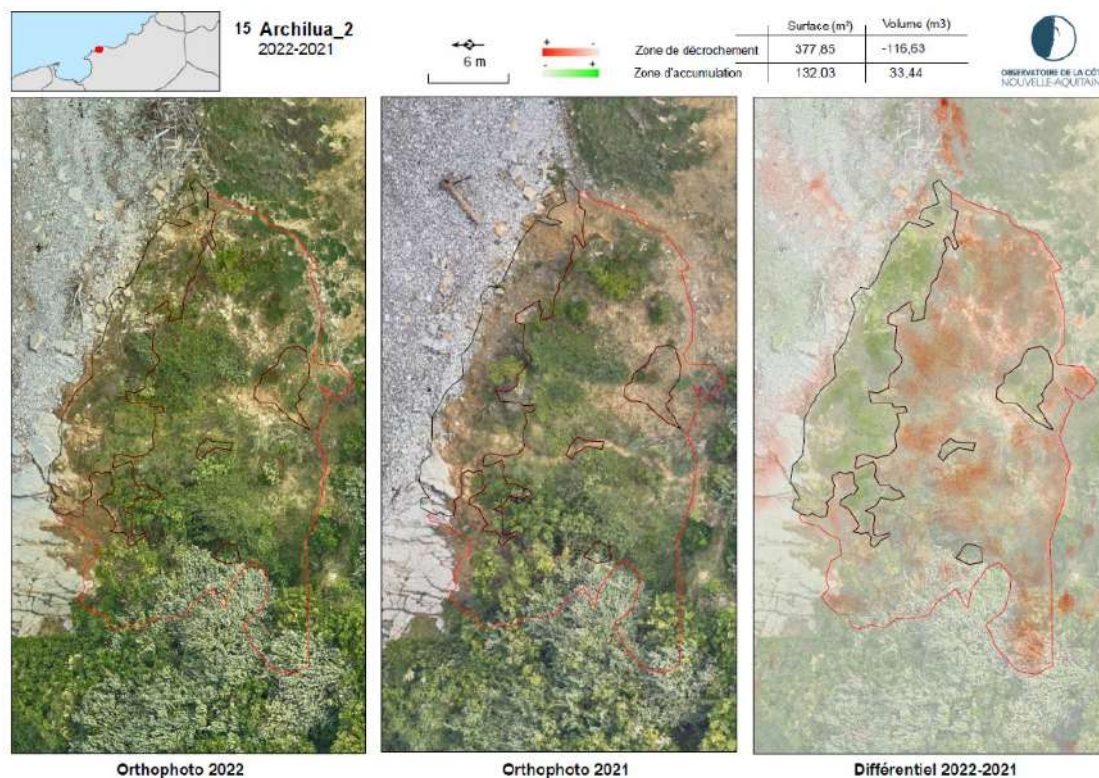


Illustration 51 - Site 2 du secteur d'Archilua : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2021 et 2022 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 52 - Site 2 du secteur d'Archilua : vue aérienne oblique, datée d'octobre 2022, et identification indicative de la zone en évolution au cours de la période 2021-2022 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloide Photo)

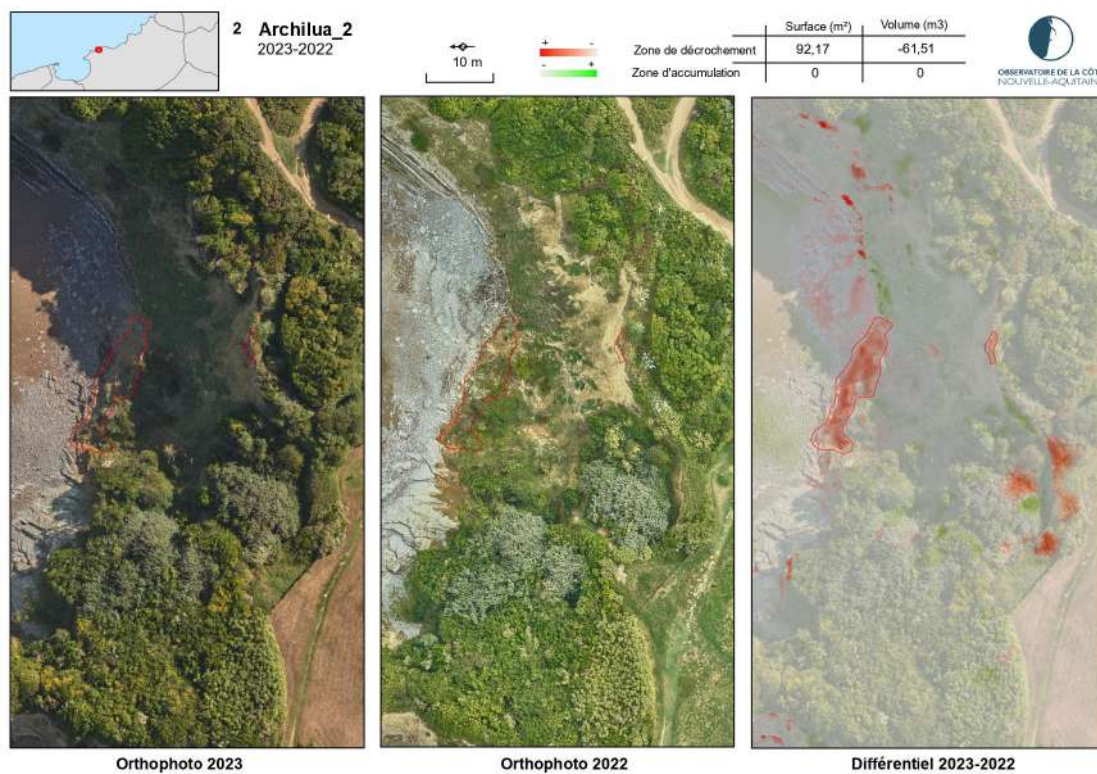


Illustration 53 - Site 2 du secteur d'Archilua : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

4.7. SECTEUR DE LA PILE D'ASSIETTES

L'illustration 54 montre le résultat du différentiel lidar pour l'ensemble du secteur de la Pile d'Assiettes, au cours de la période 2022-2023.



*Illustration 54 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de la Pile d'Assiettes
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Helimap)*

Sur le site 1, on observe la remobilisation, par les vagues, de bancs de flyschs précédemment éboulés. Le volume mobilisé est de l'ordre de 25 m^3 (Illustrations 54, 55 et 56).

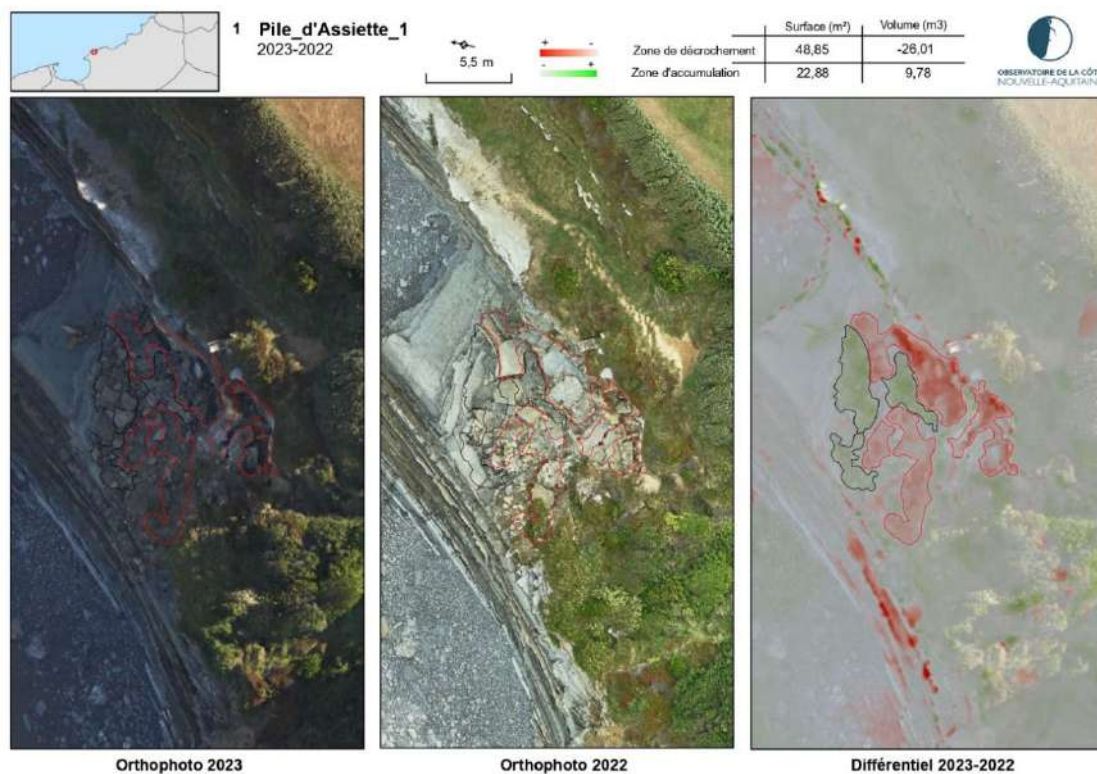


Illustration 55 - Site 1 du secteur de la Pile d'Assiettes : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)



Illustration 56 - Site 1 du secteur de la Pile d'Assiettes : vues en 3D des volumes mobilisés à partir des différentiels de nuages de points des campagnes 2022 (à gauche) et 2023 (à droite)
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, HéliMAP)

Sur le site 2, l'analyse différentielle 2022-2023 montre une légère poursuite du glissement observé lors de la période 2021-2022, avec un volume d'environ 40 m³, correspondant probablement au décrochement de bancs de flyschs fracturés au toit de la zone sous-cavée et au glissement de matériaux meubles sus-jacents (Illustration 59). En 2021-2022, la rupture de bancs de flyschs au toit de ce sous-cavage et le glissement de

la couverture meuble (terrains d'altération) située à l'aplomb avaient été mis en évidence, sans que ce glissement n'atteigne le sommet de versant. La zone de rupture s'étendait sur moins de 10 m de large, tandis que le volume décroché avait été évalué à environ 800 m³ (Illustration 57 à 59).

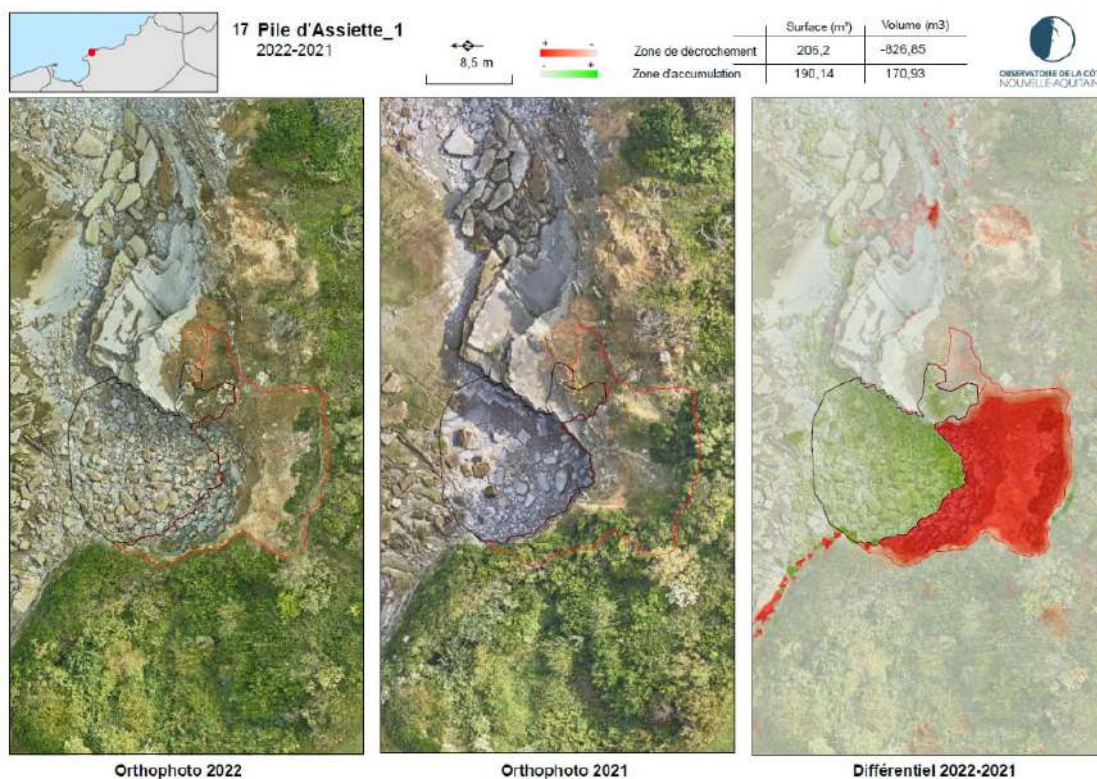


Illustration 57 - Site 2 du secteur de la Pile d'Assiettes : orthophotos et analyse différentielle des données lidar des campagnes 2022 et 2021 (extrait du rapport BRGM/RP-72363-FR)
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Hélimap)

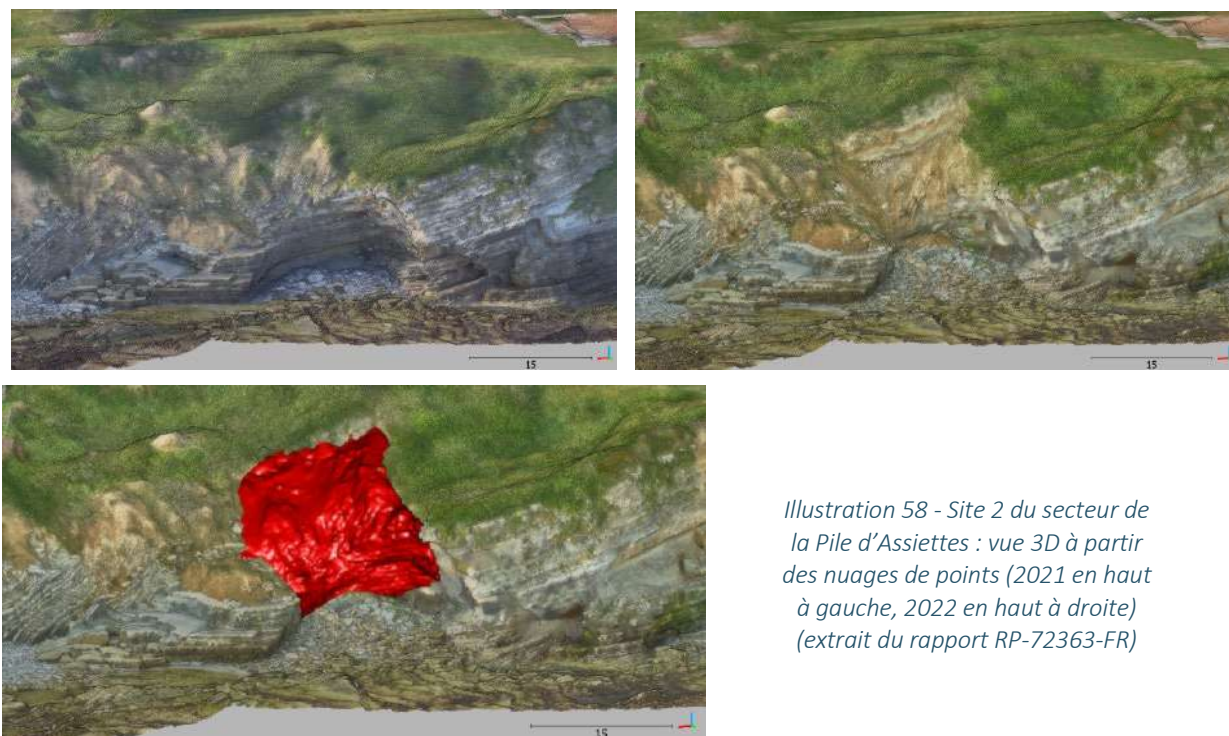


Illustration 58 - Site 2 du secteur de la Pile d'Assiettes : vue 3D à partir des nuages de points (2021 en haut à gauche, 2022 en haut à droite)
(extrait du rapport RP-72363-FR)



Illustration 59 - Site 2 du secteur de la Pile d'Assiettes : vue 3D des masses éboulés (en rouge) superposées au nuages de points 2023

4.8. SECTEUR DE SAINTE-BARBE

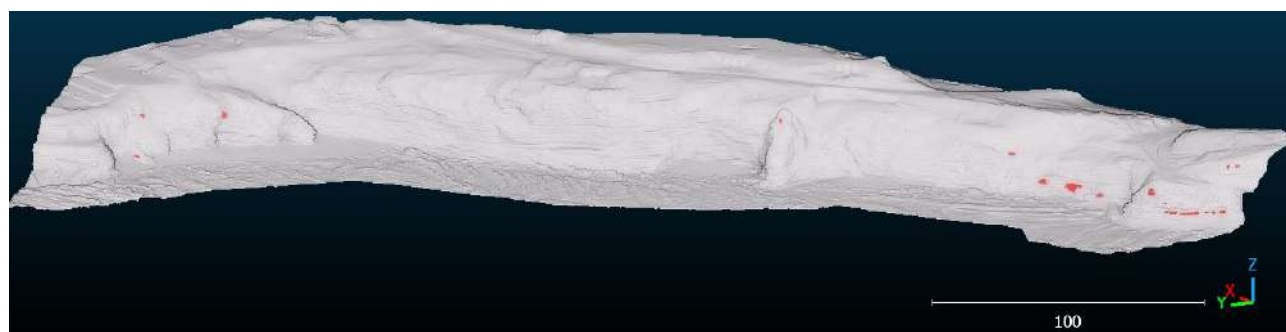
L'Illustration 60 montre le résultat du différentiel lidar pour l'ensemble du secteur de Sainte-Barbe, au cours de la période 2022-2023. Comme c'était le cas entre 2021 et 2022, le différentiel entre les MNT 2023 et 2022 ne permet pas d'observer d'évolution notable.

Néanmoins, une analyse du pan de falaise, à partir des nuages de points, permet d'observer quelques chutes de blocs en différents points du linéaire (Illustrations 61 et 62) :

- quatorze ont un volume inférieur à un mètre cube ;
- trois ont un volume de l'ordre de 5 m³.



*Illustration 60 - Différentiel lidar 2023-2022, dans le secteur de Sainte-Barbe
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Helimap)*



*Illustration 61 - Vue 3D de la falaise de Sainte-Barbe (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Helimap) ;
localisation des compartiments rocheux tombés entre 2022 et 2023 (en rouge)*



Illustration 62 - Zoom sur la partie sud de la vue 3D de la falaise de Sainte-Barbe (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Helimap) ; localisation des compartiments rocheux tombés entre 2022 et 2023 (en rouge)

5. Conclusion

La présente étude porte sur l'analyse des données lidar (et mesh 3D*), acquises par moyens aéroportés, en 2022 et 2023, s'intéressant à la partie « côte rocheuse » du littoral de Saint-Jean-de-Luz (depuis Sénix jusqu'à la Pointe Sainte-Barbe). Pour cette année 2023, les données ont été acquises par la commune de Saint-Jean-de-Luz et la Communauté d'Agglomération Pays Basque (CAPB), l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, intervenant en tant que conseil et procédant à l'analyse des données.

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 phénomènes de manière précise et régulière.

L'analyse de qualité des données montre que la précision altimétrique est conforme aux attentes et compatible avec l'amplitude des évolutions altimétriques caractérisées dans le cadre de l'étude. Sur la base d'une trentaine de points de contrôle, la racine de l'erreur quadratique moyenne en altitude (Z) est de 2,8 cm.

L'analyse diachronique des jeux de données de 2017 à 2022 (cf. rapports BRGM/RP-69865-FR, RP-70614-FR, RP-71453-FR et RP-72363-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 de mouvement de terrain 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 2022 et 2023. Conformément aux recommandations émises dans le rapport BRGM/RP-69865-FR, la campagne lidar 2023 par hélicoptère a été poursuivie. Néanmoins l'apport d'un nouveau capteur lidar par HéliMAP, plus performant, couplé à une vitesse de vol moins élevée, a permis de tester la densification du nuage de points sans avoir à réaliser un complément terrestre.

L'analyse de ces données a permis d'identifier plusieurs zones d'instabilité, survenues au cours de la période 2022-2023, et de caractériser notamment les volumes mobilisés. La dynamique, mise en évidence au cours de cette période, est marquée par plusieurs phénomènes d'intensité variable :

- Sénix : activité non marquée ;
- Mayarko : dynamique érosive principalement marquée par la reprise de l'activité glissement de terrain, avec un décrochement actif de près de 550 m³ ;
- Lafitenia : dynamique érosive sur l'ensemble du site, avec un processus quasi-généralisé d'attaque du pied de versant par les vagues, minorant les conditions de stabilité du versant. On observe également un glissement de terrain mobilisant un volume de 125 m³. La dynamique de Lafitenia est par ailleurs marquée par le glissement survenu fin 2021, resté stable entre 2022 et 2023, dont la zone de départ est clairement identifiable sur le levé lidar 2022 ;
- Erromardie : dynamique érosive intéressant principalement, à ce stade, les falaises en partie ouest de la plage. L'année écoulée se situe, de ce point de vue, dans le prolongement des années antérieures, avec une érosion plus ou moins active intéressant l'ensemble du linéaire. On note la

poursuite du glissement de décembre 2021 ayant impacté le sentier littoral, avec un volume mobilisé de l'ordre de 530 m³ (contre 1 250 m³ entre 2021 et 2022). Cet événement est représentatif, en termes d'ampleur, des instabilités pouvant plus largement affecter les falaises d'Erromardie ouest, à plus ou moins brève échéance ;

- Archilua : dynamique principalement marquée par la poursuite de la cinématique du glissement déclaré le 11/12/2020. C'est l'évolution la plus importante quantifiée par l'analyse différentielle des données lidar entre 2022 et 2023 ;
- Pile d'Assiettes : dynamique érosive marquée par un événement d'intensité limitée, sans incidence plus large à ce stade sur les conditions de stabilité du versant ; et une poursuite mineure (40 m³) d'un glissement survenu entre 2021 et 2022 ;
- Sainte-Barbe : chutes d'une vingtaine de blocs dont le volume est inférieur à 5 m³.

Sur la base de l'analyse des données 2022 et 2023, il est recommandé de poursuivre le suivi à l'automne 2024, selon le même protocole. 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 2024-2023 sous la forme d'un raster. L'analyse des données montre que l'utilisation d'un nouveau capteur lidar plus performant, couplé à une vitesse de vol moins élevée, a bien permis de densifier fortement le nuage de points, et conforte l'idée de s'affranchir désormais d'un complément terrestre et ainsi de diminuer le coût de l'acquisition des données.

6. Bibliographie

Ayache B., Garnier C., Martins L. (2023) - Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2021 et 2022. Rapport final. BRGM/RP-72363-FR

Ayache B., Garnier C., Martins L. (2022) - Modélisation 3D des falaises de Saint-Jean-de-Luz : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2020 et 2021. Rapport final. BRGM/RP-71453-FR

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

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

Garnier C. (2022) - Etat des lieux des glissements de terrain survenus fin 2021 sur le littoral basque (64) ; visite de mai 2022. Rapport final, version 1 du 01/09/2022. BRGM/RP-72047-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 maillé 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.

OGC : L'Open Geospatial Consortium, ou OGC, est un consortium international pour développer et promouvoir des standards ouverts, les spécifications OpenGIS, afin de garantir l'interopérabilité des contenus, des services et des échanges dans les domaines de la géomatique et de l'information géographique.

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 | 816 |
| Courrier arrivé le: | 09.10.16 |
| A suivre par: | C.M. |
| Copie pour inf.: | CG |
| N° de projet: | APAL AQUIOAS |
| Classement: | Tâche A / Suivi Coursier |

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- Compte-rendu de mission de Hélimap 2023



Rapport Technique LiDAR – Photogrammétrie

Relevés par méthode héliportée

Projet SJL7

Cartographie 3D à haute-résolution de falaises basques par relevés LiDAR héliportés (suivi d'érosion de la corniche de St-Jean-de-Luz)

29.09.2023



Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



Clients

MAIRIE DE ST-JEAN-DE-LUZ

A l'attention de M. BRUZY
Hôtel de Ville
Place Louis XIV
BP 229
64502 Saint-Jean-de-Luz / FRANCE

COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION PAYS BASQUE

Pôle territorial Sud Pays Basque
A l'attention de Mme Ines ALMANDOZ
5-7 rue Putillenea
64122 Urrugne / FRANCE

Offre n° 33761_A1

Contacts Sixense



Helimap System SA
Le Grand-Chemin 73
CH-1066 Epalinges
Tel. +41 21 7850202

www.helimap.ch
info@helimap.ch

Martino Sala, Chef de Projet
05/12/2023



2 / 36

Swiss Precision LiDAR Mapping  We map the inaccessible

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

**Table des matières**

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Introduction | 6 |
| 1.1. | Objectifs du projet | 6 |
| 1.2. | Emprise du projet | 6 |
| 1.3. | Conditions de relevé | 7 |
| 2. | Acquisition LiDAR-Photogrammétrie..... | 7 |
| 2.1. | Paramètres d'acquisition | 7 |
| 2.2. | Spécifications techniques..... | 8 |
| 2.3. | Acquisition des données | 9 |
| 2.3.1. | Caractéristiques d'acquisition | 9 |
| 2.3.2. | Conditions météorologiques | 9 |
| 2.3.3. | Trajectoire(s) effectuée(s) | 10 |
| 3. | Géoréférencement des données | 12 |
| 3.1. | Système de coordonnées..... | 12 |
| 3.2. | Rattachement GNSS et calcul de trajectoire | 12 |
| 3.3. | Géoréférencement du nuage de points | 14 |
| 3.4. | Géoréférencement des images..... | 14 |
| 4. | Traitements LiDAR..... | 15 |
| 4.1. | Précision du nuage de points | 15 |
| 4.2. | Traitement du nuage de points..... | 19 |
| 4.2.1. | Tuilage du nuage de points | 19 |
| 4.2.2. | Classification du nuage de points | 20 |
| 4.2.3. | Colorisation du nuage de points..... | 20 |
| 4.3. | Modèle Numérique de Terrain (MNT) | 20 |
| 4.4. | Produits complémentaires..... | 21 |
| 4.4.1. | Grilles | 21 |
| 4.4.2. | Mesh 3D texturé..... | 21 |
| 4.4.1. | Comparaison des DTM 2023-2022 | 21 |
| 5. | Traitements photogrammétriques | 21 |
| 5.1. | Traitement des images..... | 21 |
| 5.1.1. | Images nadir..... | 21 |
| 5.2. | Aérottriangulation et précision de la photogrammétrie | 22 |
| 5.2.1. | Vol Oblique..... | 22 |
| 5.2.2. | Vol Nadir..... | 24 |
| 5.3. | Orthomosaique | 25 |
| 5.4. | Contrôle LiDAR-photogrammétrie | 25 |
| 6. | Livrables | 27 |
| 7. | Annexes..... | 28 |
| 7.1. | Rattachement GNSS..... | 28 |
| 7.2. | Calcul de trajectoire | 29 |
| 7.2.1. | Vol V01 : Oblique..... | 29 |
| 7.2.2. | Vol V02 : Nadir | 32 |
| 7.3. | Ajustement des bandes du nuage de points | 35 |
| 7.3.1. | Vol V01 : Oblique..... | 35 |

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



| | | |
|--------|-----------------------|----|
| 7.3.2. | Vol V02 : Nadir | 36 |
|--------|-----------------------|----|

Table des figures et des tableaux

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Emprise du relevé LIDAR/Photogrammétrie commandé par le client (source : Google Earth) | 6 |
| Figure 2 : Photographie du système d'acquisition et de ses capteurs..... | 8 |
| Figure 3 : Trajectoire effectuée lors de la session d'acquisition OBLIQUE (source : Google Earth)..... | 10 |
| Figure 4 : Trajectoire effectuée lors de la session d'acquisition NADIR (source : Google Earth)..... | 11 |
| Figure 5 : Canevas de tuilage du nuage de points (source : MicroStation) | 19 |
| Figure 6 : Distribution des résidus XYZ sur les points d'ajustage pour le vol Oblique (source : Agisoft) | 23 |
| Figure 7 : Distribution des résidus OPK sur les points d'ajustage pour le vol Oblique (source : Agisoft) | 23 |
| Figure 8 : Distribution des résidus XYZ sur les points d'ajustage pour le vol Oblique (source : Agisoft) | 24 |
| Figure 9 : Distribution des résidus OPK sur les points d'ajustage pour le vol Oblique (source : Agisoft) | 25 |
| Figure 10 : Exemple de cohérence des données entre le LIDAR et l'orthophoto (source : TerraScan) | 26 |
| Tableau 1 : Sessions d'acquisition LIDAR/Photogrammétrie effectuées..... | 9 |
| Tableau 2 : Coordonnées de rattachement GNSS de la trajectoire..... | 12 |
| Tableau 3 : Rattachement GNSS des pivots et des stations virtuelles..... | 12 |
| Tableau 4 : Statistiques avant calage : OCR TerraScan..... | 15 |
| Tableau 5 : Statistiques après calage : OCR TerraScan..... | 17 |
| Tableau 6 : Résidus de l'aérottriangulation Oblique en position, angulaire et sur les GCP..... | 22 |
| Tableau 7 : Résidus de l'aérottriangulation Oblique en position, angulaire et sur les GCP..... | 24 |
| Tableau 8 : Livrables du projet – formats, noms et contenus | 27 |

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



1. Introduction

1.1. Objectifs du projet

La CAPB et la mairie de St-Jean-de-Luz, au nom de Mme Ines ALMANDOZ et M. BRUZY, nous ont mandaté pour effectuer un relevé LiDAR/Photogrammétrique pour le suivi d'érosion de la corniche de St-Jean-de-Luz. L'objectif de ce relevé est d'établir une orthophoto, un DTM, une modélisation 3D des falaises ainsi qu'une comparaison du DTM avec celui de 2022 (SJL6).

1.2. Emprise du projet

Selon le périmètre fourni par le client l'emprise du projet représente ~56Ha, représenté dans l'image suivante.



Figure 1 : Emprise du relevé LiDAR/Photogrammétrique commandé par le client (source : Google Earth)



Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



1.3. Conditions de relevé

A la demande du client, le relevé LiDAR/Photogrammétrie ne peut être effectué que sous les conditions suivantes :






-  Coefficient de marée idéalement majeur de 90 afin d'avoir la majeure couverture possible de la partie inférieure des falaises.
-  Vol par marée basse

2. Acquisition LiDAR-Photogrammétrie






2.1. Paramètres d'acquisition

Les caractéristiques des acquisition planifiées pour le relevé de la zone d'étude sont les suivantes :

Vol Nadir

-  Vol à ~180 m sur sol avec le système HS6 @ 1200 kHz.
-  Vitesse d'acquisition de ~12 m/s (~25 kt).
-  Taille moyenne de pixel au sol de ~1.6 cm.
-  Densité nominale de points LiDAR de ~200 pts/m².
-  Précision : <5 cm en altimétrie, ~5 cm en planimétrie ; 1 sigma sur surface dure.

Vol Oblique

-  Vol à ~100 m des falaises avec le système HS6 @ 2000 kHz.
-  Vitesse d'acquisition de ~12 m/s (~25 kt).
-  Taille moyenne de pixel au sol de ~1 cm.
-  Densité nominale de points LiDAR de ~400 pts/m².
-  Précision : <5 cm en altimétrie, ~5 cm en planimétrie ; 1 sigma sur surface dure.

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



2.2. Spécifications techniques

Le système d'acquisition LiDAR/Photogrammétrie utilisé est composé des capteurs suivants :

- ✚ Scanner laser : *Riegl VQ480ii*
- ✚ Centrale inertielle : *iXBlue IXSEA AirINS*
- ✚ Caméra nadir : *PhaseOne iXMRSN150-40mm*



Figure 2 : Photographie du système d'acquisition et de ses capteurs

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie*Projet SJL7***2.3. Acquisition des données****2.3.1. Caractéristiques d'acquisition**

Les données LiDAR/Photogrammétrie ont été acquises par méthode héliportée avec la compagnie HBE. Le système d'acquisition était positionné mobile monté sur un support type *Tyler*.

Les acquisitions ont été réalisées selon les conditions évoquées précédemment (marée basse) en 2 sessions, dont une première session oblique pour relever les falaises et une deuxième session nadir pour compléter l'acquisition sur l'entier du périmètre. Les deux sessions sont résumées ci-dessous.

Tableau 1 : Sessions d'acquisition LiDAR/Photogrammétrie effectuées

| Sessions | Date | Heures UTC | Temps d'acquisition | Rattachement GNSS | # bandes d'acquisition | # images |
|-------------|------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------|----------|
| V01 Oblique | 29.09.2023 | 08 :40h – 09 :15h | 35 min | BIAZ, SCOA, GNSS05 | 12 | 496 |
| V02 Nadir | 29.09.2023 | 09 :50h – 10 :20h | 30 min | BIAZ, SCOA, GNSS05 | 10 | 400 |

2.3.2. Conditions météorologiques

Les conditions météo étaient bonnes, avec une couverture nuageuse partielle. Il n'y a pas eu de pluie durant l'acquisition des données et le vent était faible. Pendant le premier survol (vol OBLIQUE), de la brume était parfois présente proche des falaises.

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



2.3.3. Trajectoire(s) effectuée(s)

Le tracé de la trajectoire effectuée pendant l'acquisition des données est représenté ci-dessous.



Figure 3 : Trajectoire effectuée lors de la session d'acquisition OBLIQUE (source : Google Earth)

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7





Figure 4 : Trajectoire effectuée lors de la session d'acquisition NADIR (source : Google Earth)

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

**3. Géoréférencement des données****3.1. Système de coordonnées**

Le système de coordonnées retenu en accord avec le client est le suivant :

-  Projection : L93 (code EPSG 2154)
-  Altimétrie : RAF09

3.2. Rattachement GNSS et calcul de trajectoire

La trajectoire de l'acquisition a été calculée grâce à un réseau de stations permanentes RGP et un pivot statique résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Coordonnées de rattachement GNSS de la trajectoire

| Point | Latitude (WGS84) | Longitude (WGS84) | Hauteur ellipsoïdale (WGS84) | Constellations GNSS utilisées |
|--------|---------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|
| SCOA | 43° 23' 42.83458" N | 01° 40' 54.05429" O | 59.436 m | GPS, GLONASS, GALILEO |
| BIAZ | 43° 28' 19.05829" N | 01° 32' 12.89321" O | 121.390 m | GPS, GLONASS |
| GNSS05 | 43° 24' 26.76275" N | 01° 38' 03.92842" O | 55.2126 m | GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU |

Les pivots statiques ont été déterminés et vérifiés avec *GrafNet* grâce à un réseau de stations permanentes RGP dont le détail est ci-dessous.

Tableau 3 : Rattachement GNSS des pivots et des stations virtuelles

| Point | Coordonnées connues | Rattachement GNSS | Durée d'observation |
|--------|---------------------|-------------------|---------------------|
| GNSS05 | Non | SCOA, BIAZ | 223 min |





Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



Une fois les pivots et les stations virtuelles calculées, ceux-ci sont importés en même temps que les stations permanentes dans *Inertial Explorer*. Les bras de leviers entre chaque capteur sont systématiquement vérifiés avant que le calcul de la trajectoire soit réalisé en WGS84.

La méthodologie de calcul en couplage lâche (*LC - Loosely Coupled*) est la suivante :

-  Calcul de trajectoire avec les données GNSS seules.
-  Analyse des résultats et amélioration des calculs GNSS.
-  Calcul couplé avec les données inertielles.
-  Analyse des résultats et amélioration des calculs combinés.

Pour un calcul en couplage serré (*TC - Tightly Coupled*), la trajectoire est calculée directement avec les données GNSS et inertielles combinées. Cette méthode est plus indiquée lorsque les données GNSS sont plus incertaines, notamment avec la présence de masques en zone urbaine par exemple.

Les résultats des différents calculs sont présentés en annexe de ce document au moyen de graphiques permettant de juger et valider la qualité de la détermination de la trajectoire du capteur durant l'acquisition. Cette étape est cruciale car l'ensemble des données sera par la suite rattaché ou généré sur la base de cette trajectoire.

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie



Projet SJL7



3.3. Géoréférencement du nuage de points

Une fois la trajectoire finalisée en WGS84, celle-ci est importée dans *RiProcess*. Les bras de levier et les boresights sont systématiquement vérifiés avant que le calcul du nuage de points soit réalisé, lui aussi en WGS84.



Une analyse du nuage de points brut est réalisée afin de détecter d'éventuelles zones à ajuster, qui peuvent être dues à :

-  Une mauvaise interprétation de la zone MTA (*Multiple Time Around*, qui est liée au capteur LiDAR utilisé), ce qui a pour effet de ne pas calculer correctement la distance mesurée entre le scanner et la surface d'acquisition.
-  Un décalage vertical ou horizontal entre les lignes de vol, ce qui a pour effet de créer des stries dans le nuage de points.

Une fois les zones MTA correctement ajustées, un ajustement automatisé relatif des trajectoires GNSS-INS est effectué par *RiPrecision* afin d'obtenir un nuage de points cohérent et corrigé des effets mentionnés ci-dessus.

3.4. Géoréférencement des images

Les orientations externes (EO) brutes des images ont été calculées dans le système de coordonnées final (L93-RAF09) avec *Cameo*, en se basant sur les paramètres suivants :

-  Trajectoire ajustée avec *RiPrecision*.
-  Géoïde RAF09.

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

**4. Traitements LiDAR****4.1. Précision du nuage de points**

Pour estimer la précision réelle du LiDAR, le nuage de points est comparé en altimétrie avec 51 points de contrôle pris sur le nuage Lidar du même projet fait en 2022.

Une analyse statistique des écarts est résumée ci-dessous.

Tableau 4 : Statistiques avant calage : OCR TerraScan

| Name | X | Y | 2022 Alti | 2023 Alti | dZ |
|-------|------------|-------------|-----------|-----------|--------|
| GCP01 | 325854.786 | 6268952.338 | 6.898 | 6.852 | -0.046 |
| GCP02 | 325760.37 | 6268903.228 | 15.714 | 15.657 | -0.057 |
| GCP03 | 325709.656 | 6268998.37 | 1.797 | 1.721 | -0.076 |
| GCP04 | 325711.539 | 6269041.478 | 0.195 | 0.14 | -0.055 |
| GCP05 | 325584.812 | 6268867.052 | 1.519 | 1.471 | -0.048 |
| GCP06 | 325548.283 | 6268813.409 | 0.577 | 0.523 | -0.054 |
| GCP07 | 325551.037 | 6268685.441 | 20.876 | 20.83 | -0.046 |
| GCP08 | 325502.13 | 6268651.915 | 9.082 | 9.012 | -0.07 |
| GCP09 | 325508.15 | 6268593.593 | 18.129 | 18.095 | -0.034 |
| GCP10 | 325247.878 | 6268561.099 | 3.166 | 3.136 | -0.03 |
| GCP11 | 325197.212 | 6268586.175 | 3.207 | 3.121 | -0.086 |
| GCP12 | 325159.081 | 6268527.652 | 2.463 | 2.443 | -0.02 |
| GCP13 | 325246.25 | 6268463.246 | 34.025 | 34.01 | -0.015 |
| GCP14 | 325352.472 | 6268186.918 | 40.986 | 40.931 | -0.055 |
| GCP15 | 325233.339 | 6268193.418 | 10.202 | 10.128 | -0.074 |
| GCP16 | 325314.239 | 6268037.559 | 47.757 | 47.686 | -0.071 |
| GCP17 | 325180.147 | 6268007.033 | 47.98 | 47.915 | -0.065 |
| GCP18 | 325056.162 | 6267977.943 | 42.595 | 42.539 | -0.056 |
| GCP19 | 324899.399 | 6267944.812 | 37.436 | 37.378 | -0.058 |
| GCP20 | 324741.517 | 6268064.346 | 3.222 | 3.167 | -0.055 |
| GCP21 | 324401.005 | 6267943.898 | 1.242 | 1.199 | -0.043 |
| GCP22 | 324478.871 | 6267699.501 | 22.079 | 22.004 | -0.075 |
| GCP23 | 324270.94 | 6267576.666 | 7.391 | 7.322 | -0.069 |
| GCP24 | 324113.532 | 6267485.802 | 6.461 | 6.402 | -0.059 |
| GCP25 | 324030.153 | 6267394.872 | 6.682 | 6.626 | -0.056 |
| GCP26 | 323927.915 | 6267445.019 | 0.783 | 0.724 | -0.059 |
| GCP27 | 323724.915 | 6267244.989 | 15.224 | 15.137 | -0.087 |
| GCP28 | 323674.593 | 6267257.729 | 4.186 | 4.111 | -0.075 |
| GCP29 | 323064.314 | 6267341.339 | 3.128 | 3.043 | -0.085 |
| GCP30 | 322873.616 | 6267321.736 | 0.226 | 0.131 | -0.095 |
| GCP31 | 322693.754 | 6267249.44 | 0.023 | -0.004 | -0.027 |



Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



| | | | | | |
|-------|------------|-------------|--------|--------|--------|
| GCP32 | 322700.158 | 6267159.595 | 10.352 | 10.271 | -0.081 |
| GCP33 | 322663.166 | 6267179.315 | -0.383 | -0.449 | -0.067 |
| GCP34 | 322612.978 | 6267148.15 | 0.55 | 0.488 | -0.062 |
| GCP35 | 322552.687 | 6267144.117 | 0.106 | 0.069 | -0.037 |
| GCP36 | 322534.094 | 6267170.308 | -0.205 | -0.231 | -0.026 |
| GCP37 | 322502.401 | 6267053.128 | 29.792 | 29.737 | -0.055 |
| GCP38 | 322443.884 | 6267142.316 | 3.817 | 3.763 | -0.054 |
| GCP39 | 322414.793 | 6267061.206 | -0.023 | -0.055 | -0.032 |
| GCP40 | 322372.813 | 6266953.044 | 35.465 | 35.411 | -0.054 |
| GCP41 | 322333.477 | 6266987.72 | -0.359 | -0.428 | -0.069 |
| GCP42 | 322280.62 | 6266921.985 | -0.251 | -0.318 | -0.067 |
| GCP43 | 322199.69 | 6266787.236 | 27.14 | 27.076 | -0.064 |
| GCP44 | 322200.459 | 6266811.327 | 18.736 | 18.678 | -0.058 |
| GCP45 | 322156.15 | 6266862.33 | -0.543 | -0.596 | -0.053 |
| GCP46 | 322575.504 | 6267084.796 | 28.426 | 28.363 | -0.063 |
| GCP47 | 322870.791 | 6267192.26 | 23.677 | 23.602 | -0.075 |
| GCP48 | 323089.149 | 6267243.406 | 46.449 | 46.359 | -0.09 |
| GCP49 | 324387.118 | 6267626.958 | 10.609 | 10.54 | -0.069 |
| GCP50 | 325253.976 | 6268294.993 | 26.461 | 26.41 | -0.051 |
| GCP51 | 325407.342 | 6268514.063 | 31.326 | 31.284 | -0.042 |
| GCP52 | 325873.999 | 6269070.479 | -0.549 | -0.546 | 0.003 |

| | |
|-------------------|--------|
| Average dZ | -0.057 |
| Minimum dZ | -0.095 |
| Maximum dZ | 0.003 |
| Average magnitude | 0.057 |
| Root mean square | 0.06 |
| Std deviation | 0.02 |

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



L'analyse des écarts est également conduite selon leur localisation dans l'emprise du projet. À la suite de ces deux analyses, nous avons pris la décision d'écarter le GCP 52 et d'appliquer une correction altimétrique constante en Z de +5cm.

Les statistiques des écarts finaux sont les suivantes :

Tableau 5 : Statistiques après calage : OCR TerraScan

| Name | X | Y | 2022 Alti | 2023 Alti | dZ |
|-------|------------|-------------|-----------|-----------|--------|
| GCP01 | 325854.786 | 6268952.338 | 6.898 | 6.902 | 0.004 |
| GCP02 | 325760.37 | 6268903.228 | 15.714 | 15.707 | -0.007 |
| GCP03 | 325709.656 | 6268998.37 | 1.797 | 1.771 | -0.026 |
| GCP04 | 325711.539 | 6269041.478 | 0.195 | 0.19 | -0.005 |
| GCP05 | 325584.812 | 6268867.052 | 1.519 | 1.521 | 0.002 |
| GCP06 | 325548.283 | 6268813.409 | 0.577 | 0.573 | -0.004 |
| GCP07 | 325551.037 | 6268685.441 | 20.876 | 20.88 | 0.004 |
| GCP08 | 325502.13 | 6268651.915 | 9.082 | 9.062 | -0.02 |
| GCP09 | 325508.15 | 6268593.593 | 18.129 | 18.145 | 0.016 |
| GCP10 | 325247.878 | 6268561.099 | 3.166 | 3.186 | 0.02 |
| GCP11 | 325197.212 | 6268586.175 | 3.207 | 3.171 | -0.036 |
| GCP12 | 325159.081 | 6268527.652 | 2.463 | 2.493 | 0.03 |
| GCP13 | 325246.25 | 6268463.246 | 34.025 | 34.06 | 0.035 |
| GCP14 | 325352.472 | 6268186.918 | 40.986 | 40.981 | -0.005 |
| GCP15 | 325233.339 | 6268193.418 | 10.202 | 10.178 | -0.024 |
| GCP16 | 325314.239 | 6268037.559 | 47.757 | 47.736 | -0.02 |
| GCP17 | 325180.147 | 6268007.033 | 47.98 | 47.965 | -0.015 |
| GCP18 | 325056.162 | 6267977.943 | 42.595 | 42.589 | -0.006 |
| GCP19 | 324899.399 | 6267944.812 | 37.436 | 37.428 | -0.008 |
| GCP20 | 324741.517 | 6268064.346 | 3.222 | 3.217 | -0.005 |
| GCP21 | 324401.005 | 6267943.898 | 1.242 | 1.259 | 0.017 |
| GCP22 | 324478.871 | 6267699.501 | 22.079 | 22.064 | -0.015 |
| GCP23 | 324270.94 | 6267576.666 | 7.391 | 7.382 | -0.009 |
| GCP24 | 324113.532 | 6267485.802 | 6.461 | 6.462 | 0.001 |
| GCP25 | 324030.153 | 6267394.872 | 6.682 | 6.686 | 0.004 |
| GCP26 | 323927.915 | 6267445.019 | 0.783 | 0.784 | 0.001 |
| GCP27 | 323724.915 | 6267244.989 | 15.224 | 15.197 | -0.027 |
| GCP28 | 323674.593 | 6267257.729 | 4.186 | 4.171 | -0.015 |
| GCP29 | 323064.314 | 6267341.339 | 3.128 | 3.113 | -0.015 |
| GCP30 | 322873.616 | 6267321.736 | 0.226 | 0.201 | -0.025 |
| GCP31 | 322693.754 | 6267249.44 | 0.023 | 0.066 | 0.043 |
| GCP32 | 322700.158 | 6267159.595 | 10.352 | 10.341 | -0.011 |
| GCP33 | 322663.166 | 6267179.315 | -0.383 | -0.379 | 0.004 |
| GCP34 | 322612.978 | 6267148.15 | 0.55 | 0.558 | 0.008 |



Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie*Projet SJL7*

| | | | | | |
|-------|------------|-------------|--------|--------|--------|
| GCP35 | 322552.687 | 6267144.117 | 0.106 | 0.139 | 0.033 |
| GCP36 | 322534.094 | 6267170.308 | -0.205 | -0.161 | 0.044 |
| GCP37 | 322502.401 | 6267053.128 | 29.792 | 29.807 | 0.015 |
| GCP38 | 322443.884 | 6267142.316 | 3.817 | 3.833 | 0.016 |
| GCP39 | 322414.793 | 6267061.206 | -0.023 | 0.015 | 0.038 |
| GCP40 | 322372.813 | 6266953.044 | 35.465 | 35.481 | 0.016 |
| GCP41 | 322333.477 | 6266987.72 | -0.359 | -0.358 | 0.001 |
| GCP42 | 322280.62 | 6266921.985 | -0.251 | -0.248 | 0.003 |
| GCP43 | 322199.69 | 6266787.236 | 27.14 | 27.146 | 0.006 |
| GCP44 | 322200.459 | 6266811.327 | 18.736 | 18.748 | 0.012 |
| GCP45 | 322156.15 | 6266862.33 | -0.543 | -0.526 | 0.017 |
| GCP46 | 322575.504 | 6267084.796 | 28.426 | 28.433 | 0.007 |
| GCP47 | 322870.791 | 6267192.26 | 23.677 | 23.672 | -0.005 |
| GCP48 | 323089.149 | 6267243.406 | 46.449 | 46.429 | -0.02 |
| GCP49 | 324387.118 | 6267626.958 | 10.609 | 10.6 | -0.009 |
| GCP50 | 325253.976 | 6268294.993 | 26.461 | 26.46 | -0.001 |
| GCP51 | 325407.342 | 6268514.063 | 31.326 | 31.334 | 0.008 |

| | |
|-------------------|--------|
| Average dZ | 0.001 |
| Minimum dZ | -0.036 |
| Maximum dZ | 0.044 |
| Average magnitude | 0.014 |
| Root mean square | 0.018 |
| Std deviation | 0.019 |

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



4.2. Traitement du nuage de points

L'ensemble des traitements du nuage de points est réalisé avec la suite *TerraSolid*, sauf exceptions spécifiées dans les paragraphes ci-dessous.

4.2.1. Tuilage du nuage de points

Le nuage de points ajusté a été découpé en 22 blocs. Le schéma de découpe est illustré dans la figure suivante.



Figure 5 : Canevas de tuilage du nuage de points (source : MicroStation)

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



4.2.2. Classification du nuage de points

Le nuage de points a été classifié selon les demandes du client, à savoir :

- ✚ 0 – Points non traités (en dehors de l'emprise du projet).
- ✚ 1 – Points non classifiés (dans l'emprise du projet).
- ✚ 2 – Sol.
- ✚ 4 – Végétation rase (50cm-200cm)
- ✚ 5 – Végétation haute (>200cm)
- ✚ 6 – Bâtiments

Les points ont été classifiés grâce à des routines automatiques, des contrôles et des modifications manuelles :

- ✚ Extraction des points dans l'emprise de la zone d'étude.
- ✚ Élimination du bruit et des mesures erronées (bruit bas et bruit haut).
- ✚ Sélection manuelle du nuage de points le plus adéquat (vol Oblique ou vol Nadir), notamment sur les zones de falaises
- ✚ Extraction automatique du sol.
- ✚ Contrôle manuel du sol par édition du model ombré.
- ✚ Classifications diverses.

4.2.3. Colorisation du nuage de points

Le nuage de points a été colorisé à partir des images orientées nadir et obliques dans Agisoft. Les valeurs RGB de chaque point sont stockées dans les fichiers LAS/LAZ des blocs.

4.3. Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Le MNT (*Modèle Numérique de Terrain*) final contient :

- ✚ Les points de sol dédensifiés avec algorithme de type *keypoint*, où la densité n'est conservée que dans les changements de terrain qui présentent une amplitude supérieure à la tolérance altimétrique fixée.

Le MNT est également triangulé avec la méthode TIN (*Triangulated Irregular Network*) pour la génération des courbes de niveau et de l'orthomosaïque.

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



4.4. Produits complémentaires

4.4.1. Grilles

Le MNT triangulé avec la méthode TIN (*Triangulated Irregular Network*) a été exporté de *TerraScan* au format d'une grille régulière de 10cm GeoTIFF.

4.4.2. Mesh 3D texturé

Le mesh 3D est constitué de l'ensemble des points de sol LiDAR et des points de falaises issus des scans aériens des deux vols, à savoir Oblique et Nadir. Le mesh 3D a été calculé dans *3DReshaper* puis colorisé à l'aide d'*Agisoft* avec les images aériennes nadir et obliques.

4.4.1. Comparaison des DTM 2023-2022

A la suite de la demande du client, un calcul de différences entre la grille altimétrique 2022 et celle de 2023 a été effectué. Ce calcul a été exécuté via QGIS, puis exporté sous format d'une grille régulière de 10cm. Les formats livrés pour ce produit sont une grille GeoTIFF par zone et des tuiles JPG/JWG également par zone.

5. Traitements photogrammétriques

5.1. Traitement des images

5.1.1. Images nadir

Les images acquises ont fait l'objet de corrections radiométriques et géométriques (distorsion radiale, aberrations chromatiques) avec *CaptureOne*. Les images ont ensuite été exportées au format JPG avec une compression 5% JPG.

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



5.2. Aérotriangulation et précision de la photogrammétrie

Les images au format JPG, leurs orientations externes (EO) et les orientations internes de la caméra (IO) sont importées dans *Agisoft*.

L'aérotriangulation a été calculée sur un total de 792 images, d'abord en calculant les points de liaison puis en réalisant une compensation paramétrique. Il est alors possible d'exporter les orientations internes (IO) ajustées de la caméra ou les orientations externes (EO) ajustées des images. Les images acquises pendant le vol oblique ont été ensuite séparées de celles du vol Nadir, puisque seulement les images Nadir ont été utilisées pour la création de l'orthophoto.

Les résultats de l'aérotriangulation sont présentés ci-dessous, séparés entre Oblique et Nadir.

5.2.1. Vol Oblique

Tableau 6 : Résidus de l'aérotriangulation Oblique en position, angulaire et sur les GCP

| | | | | | |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| Résidus de positions GNSS-INS [cm] | X = 0.989 | Y = 0.9619 | Z = 1.350 | XY = 1.380 | XYZ = 1.931 |
| Résidus angulaires GNSS-INS [°] | O = 0.0015 | P = 0.0016 | K = 0.0018 | | XYZ = 0.0029 |

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

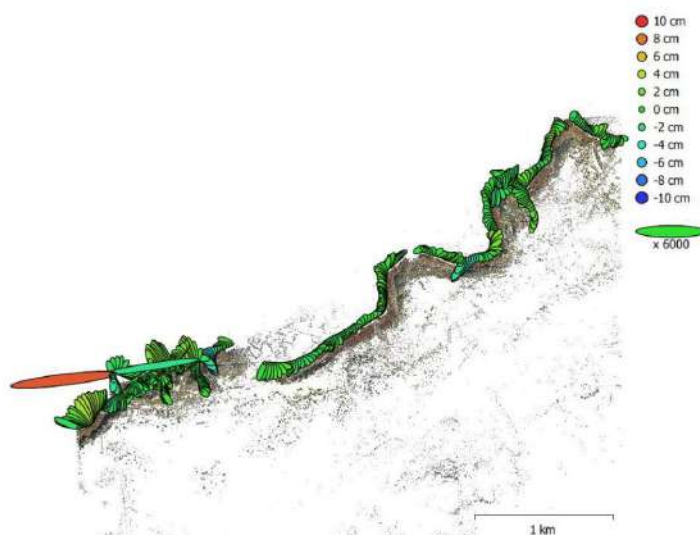


Figure 6 : Distribution des résidus XYZ sur les points d'ajustage pour le vol Oblique (source : Agisoft)

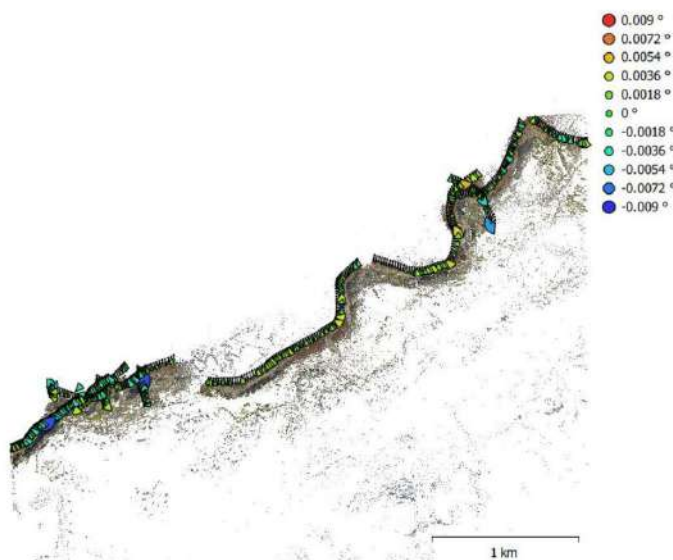


Figure 7 : Distribution des résidus OPK sur les points d'ajustage pour le vol Oblique (source : Agisoft)

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

**5.2.2. Vol Nadir**

Tableau 7 : Résidus de l'aérotriangulation Oblique en position, angulaire et sur les GCP

| | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|--------------|
| Résidus de positions GNSS-INS [cm] | X = 1.008 | Y = 1.122 | Z = 0.853 | XY = 1.508 | XYZ = 1.733 |
| Résidus angulaires GNSS-INS [°] | O = 0.0019 | P = 0.0020 | K = 0.0029 | | XYZ = 0.0040 |

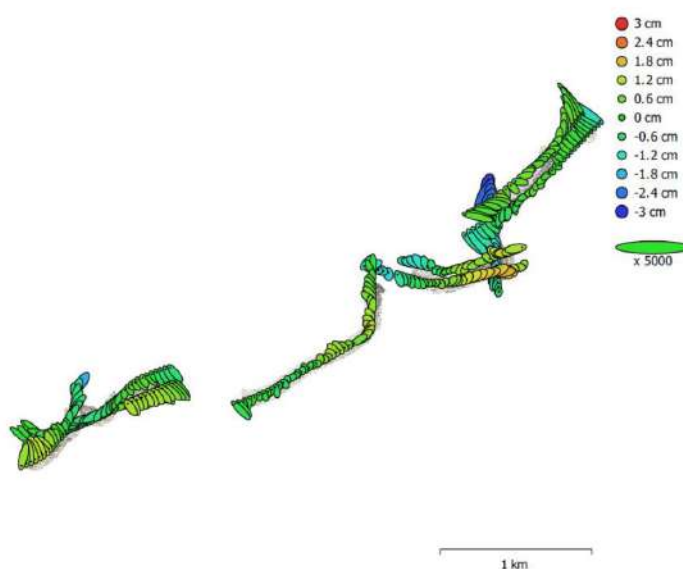


Figure 8 : Distribution des résidus XYZ sur les points d'ajustement pour le vol Oblique (source : Agisoft)

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

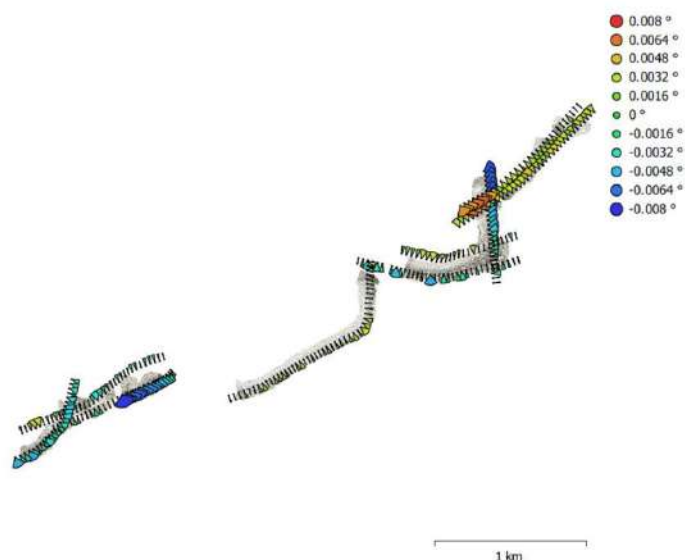


Figure 9 : Distribution des résidus OPK sur les points d'ajustage pour le vol Oblique (source : Agisoft)

5.3. Orthomosaïque

Une fois la phase d'aérottriangulation terminée, sont importées :

- ✧ Les orientations externes (EO) des images dans le système de coordonnées final (L93-RAF09).
- ✧ Le MNT triangulé.
- ✧ L'emprise de la zone d'étude.

L'orthomosaïque est calculée en bloc avec une résolution de 5 cm, puis l'édition s'effectue en modifiant directement les lignes de mosaïquage.

Au moment de l'export, l'orthomosaïque est découpée en tuiles de 10'000 x 10'000 pixels, soit 500m x 500m, au format TIF/TFW et avec une compression 5% LZW. Le canevas de découpage des tuiles est ensuite créé au format DWG.

5.4. Contrôle LiDAR-photogrammétrie



25 / 36

Swiss Precision LiDAR Mapping  We map the inaccessible

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



Une fois le nuage de points et les orthophotos générés, la cohérence entre ces deux produits est contrôlée dans *MicroStation* sur les éléments situés au niveau du sol.

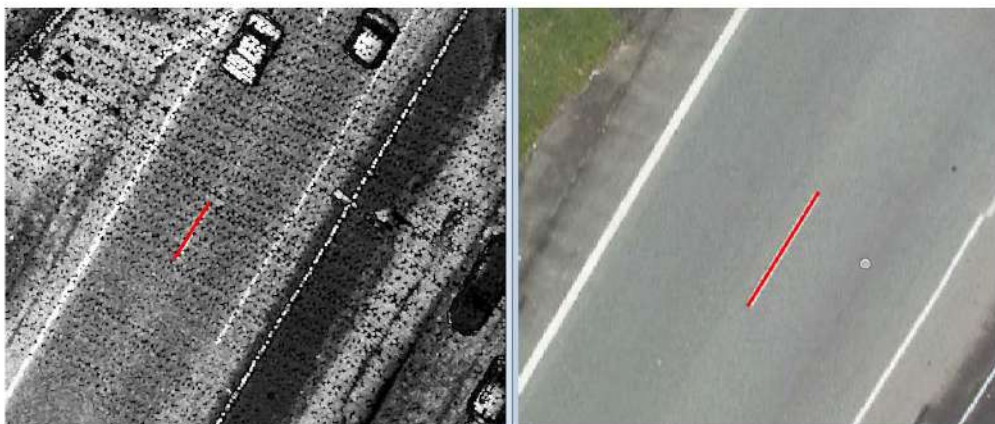


Figure 10 : Exemple de cohérence des données entre le LiDAR et l'orthophoto (source : TerraScan)

Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

**6. Livrables**

Une fois les données doublement contrôlées par nos soins, celles-ci sont mises à disposition du client.

Tableau 8 : Livrables du projet – formats, noms et contenus

| Données | Formats | Noms de fichier | Contenus |
|--------------------|----------------------|--|--|
| Rapport | PDF | rapport_mission_SJL7.pdf | Rapport technique et annexes |
| LiDAR | LAS 1.2 zippé LAZ | SJL7_L93_RAF09_xxxx_delivery.laz | Nuage de points filtrés |
| Ortho | TIF/TFW | ORTHO_5cm_SJL7_L93_xxxx_xxxx.tif/.tfw | Tuiles 10'000x10'000 px, résolution 5cm |
| MNT | XYZ | DTM_SJL7_L93_RAF09_xxxx_delivery.xyz | Grille au pas 10cm |
| | TIF/TFW | DTM- GRID_10cm_SJL7_L93_RAF09_xxxx_delivery.tif / .tfw | Keypoints dedensifiés |
| DSM | Ascii XYZ | SJL7_L93_RAF09_008_delivery_xxxxxx.xyz | MNS classifié, subdivisé par classe |
| DTM Comparaison | TIFF | DTM_Difference_2023- 2022_xxxx_GRID_10cm_L93_RAF09.tif / .tfw | Comparaison altimétrique entre 2022 et 2023 |
| | JPG/JGW | DTM_Difference_2023- 2022_xxxx_GRID_10cm_L93_RAF09.jpg / .JGW | |
| Mesh 3D | OBJ/JPG/MTL | SJL7_L93_Mesh3D_xxxx.obj / .obj / .mtl | Mesh 3D avec texture |

Les données seront disponibles sur notre FTP pendant une durée de 30 jours à compter de la livraison au client.

Pour se connecter au serveur, vous pouvez utiliser une interface type *Filezilla* avec les identifiants suivants :

-  <ftp://33761:SJL7@ftp.helimap.ch/>
-  Adresse : <ftp.helimap.ch/> ou <ftp2.helimap.ch/>
-  Identifiant : 33761
-  Mot de passe : SJL7

Les données seront également disponibles sur *beMap* et les identifiants seront envoyés individuellement par mail : <https://bemap.online/login>.

Rapport technique LIDAR - Photogrammétrie

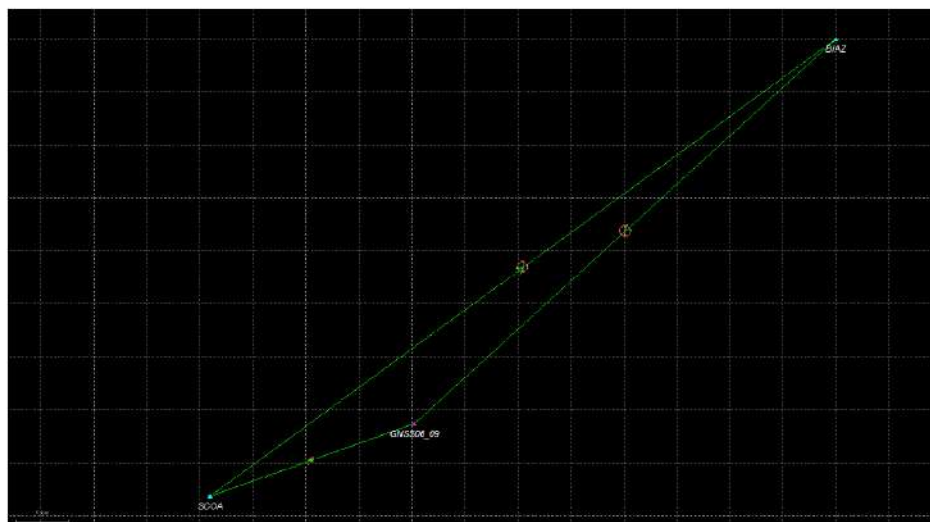
Projet SJL7



7. Annexes

7.1. Rattachement GNSS

Le détail des calculs *GrafNet* pour les pivots et les stations virtuelles est présenté dans le document exporté ci-dessous.



```
*****
OUTPUT VECTOR RESIDUALS (East, North, Height - Local Level)
*****

SESSION NAME      -- RE --  -- RN --  -- RH --  -- PPM --  DIST --  STD --
                   (m)      (m)      (m)      (km)      (m)
BIAZ to GNSS05_09 (1)  0.0051  -0.0025  -0.0196   1.915   10.7  0.0204
BIAZ to GNSS06_09 (1)  0.0008  0.0044  -0.0341   3.226   10.7  0.0201
SCOA to BIAZ (1)      -0.0009  0.0031  0.0249   1.734   14.5  0.0205
SCOA to GNSS05_09 (1) -0.0008  0.0004  0.0030   0.778    4.1  0.0083
SCOA to GNSS06_09 (1)  0.0001  -0.0009  0.0059   1.464    4.1  0.0083

RMS                  0.0024  0.0027  0.0210
```

§ - This session is flagged as a 3-sigma outlier

```
*****
CONTROL POINT RESIDUALS (ADJUSTMENT MADE)
*****

STA. NAME      -- RE --  -- RN --  -- RH --
                   (m)      (m)      (m)
BIAZ            0.0013  0.0002  -0.0067
SCOA           -0.0013  -0.0002  0.0067

RMS             0.0013  0.0002  0.0067
```



Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

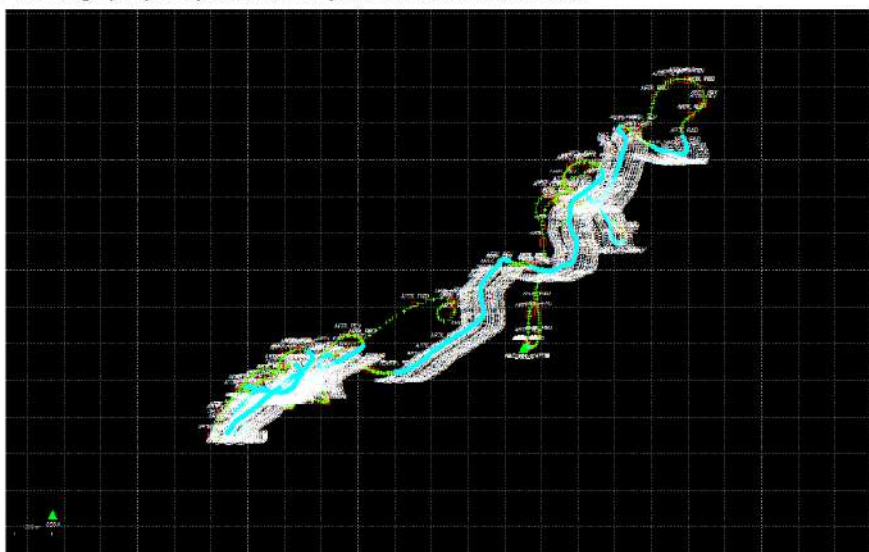


7.2. Calcul de trajectoire

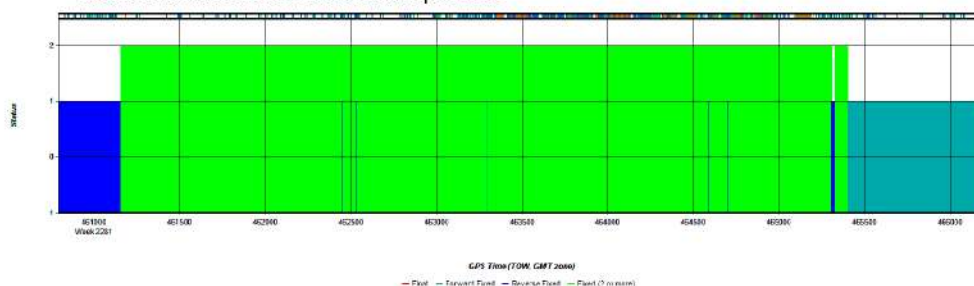
7.2.1. Vol V01 : Oblique

Les résultats des différents calculs sont présentés au moyen de graphiques commentés ci-dessous.

Le 1er graphique représente la trajectoire GNSS-INS effectuée.



Le 2^e graphique représente le statut des ambiguïtés au cours de l'acquisition. La valeur 2 indique que les ambiguïtés sont fixées dans les deux sens de calcul (chronologique et antichronologique). Les barres rouges en haut du graphique illustrent la position temporelle de chaque prise de vue (images) et donc caractérisent les bandes d'acquisition.

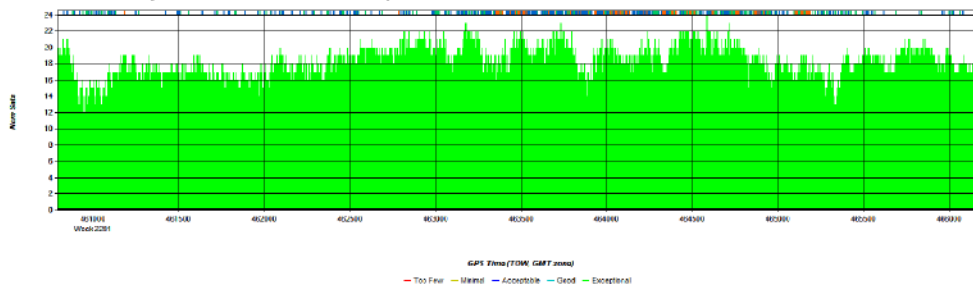


Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

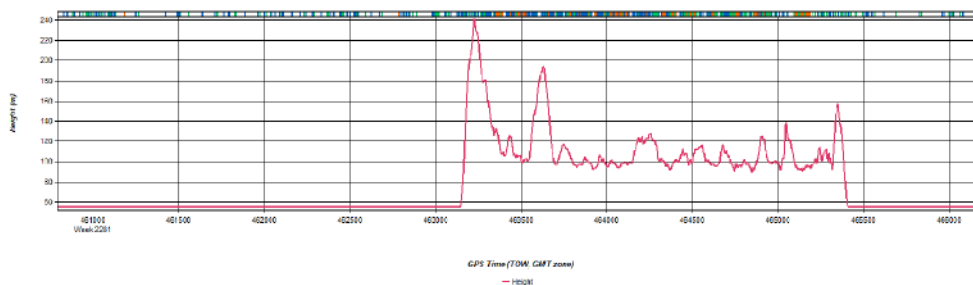
Projet SJL7



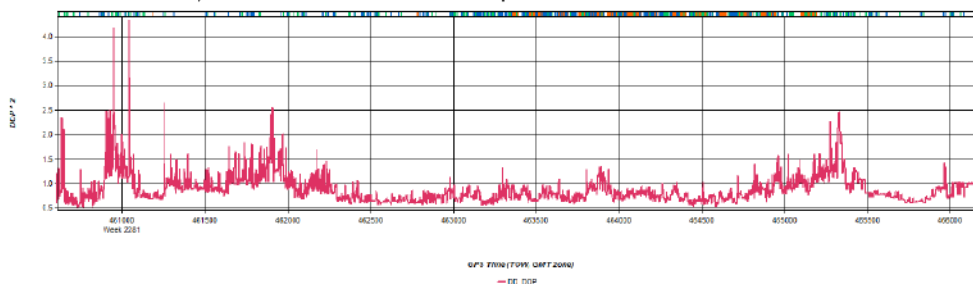
- Le 3^e graphique représente le nombre de satellites visibles durant l'acquisition. Le nombre de satellites doit toujours au minimum être supérieur à 7.



- Le 4^e graphique représente la hauteur de vol durant l'acquisition, exprimée en mètres par rapport au niveau de la mer.



- Le 5^e graphique représente le « differential DOP » durant l'acquisition. 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.

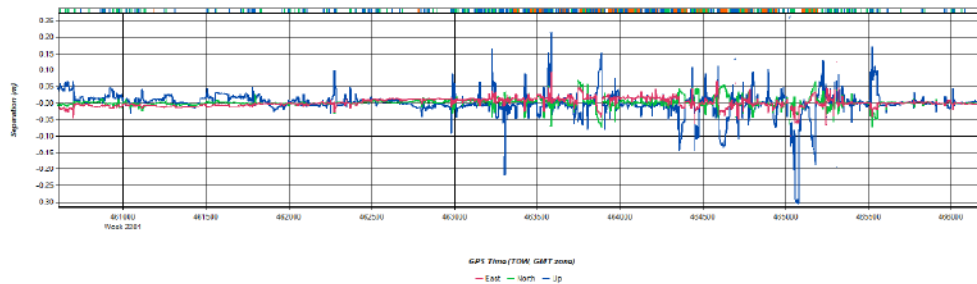


Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

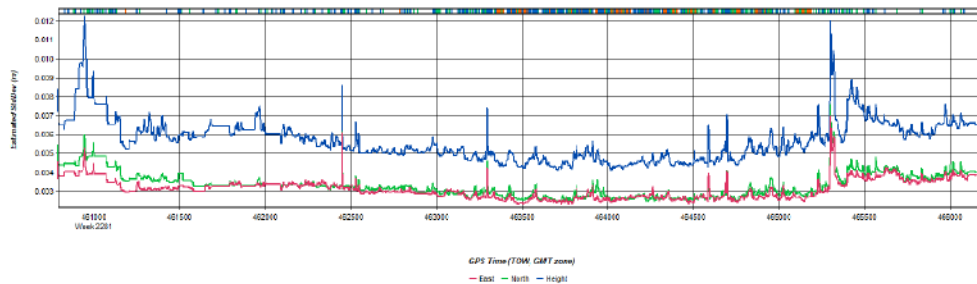
Projet SJL7



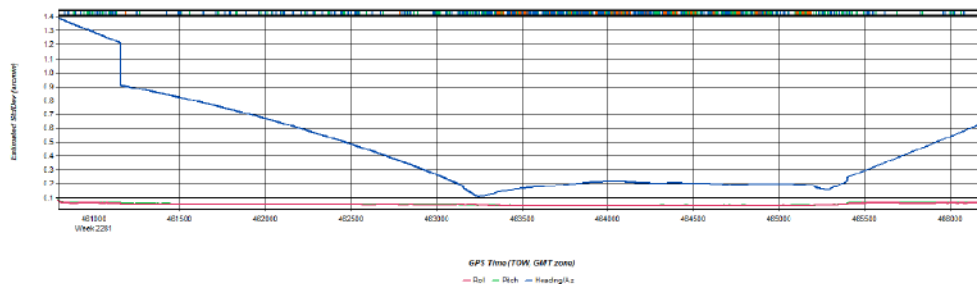
- Le 6^e graphique représente la différence entre la solution chronologique et la solution antichronologique. Une différence inférieure à 10cm est garante d'une bonne qualité de la trajectoire.



- Le 7^e graphique représente la précision estimée de la trajectoire en m. En vert et rouge sont représentées les composantes planimétriques, en bleu, la composante altimétrique.



- Le 8^e graphique représente la précision angulaire de la trajectoire au cours du vol selon les 3 angles Roll, Pitch et Heading.



Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

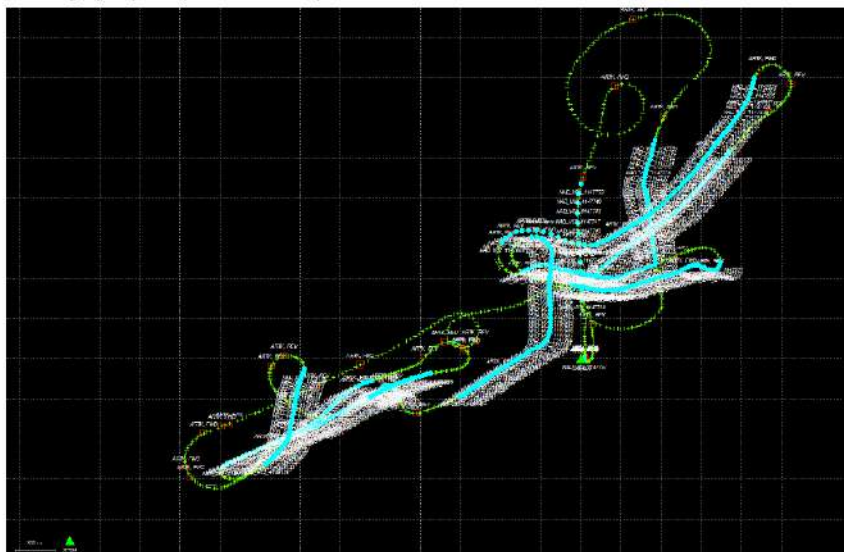
Projet SJL7



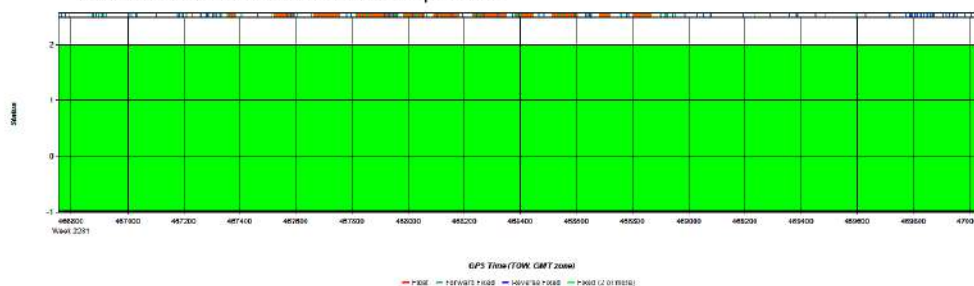
7.2.2. Vol V02 : Nadir

Les résultats des différents calculs sont présentés au moyen de graphiques commentés ci-dessous.

- Le 1er graphique représente la trajectoire GNSS-INS effectuée.



- Le 2è graphique représente le statut des ambiguïtés au cours de l'acquisition. La valeur 2 indique que les ambiguïtés sont fixées dans les deux sens de calcul (chronologique et antichronologique). Les barres rouges en haut du graphique illustrent la position temporelle de chaque prise de vue (images) et donc caractérisent les bandes d'acquisition.

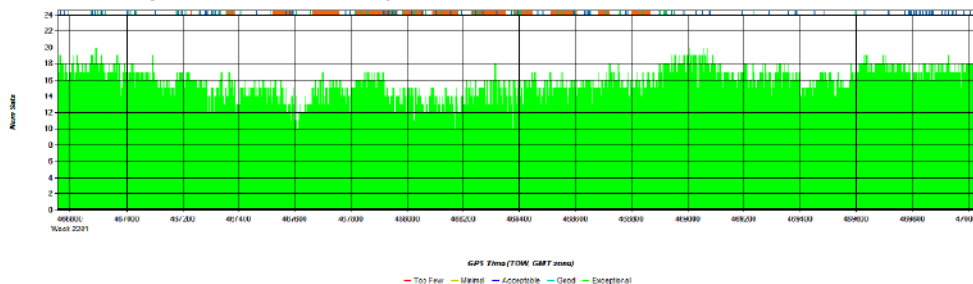


Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

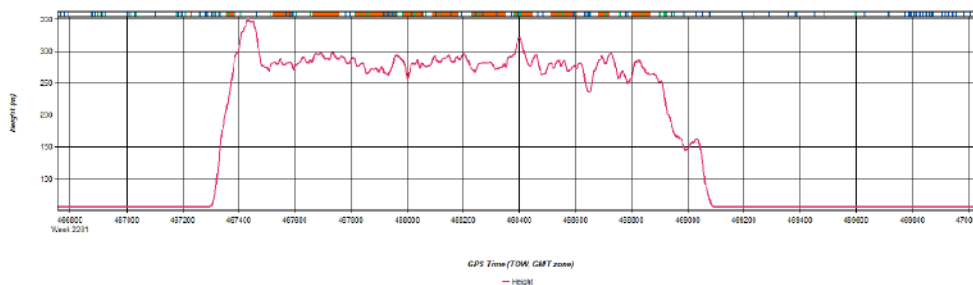
Projet SJL7



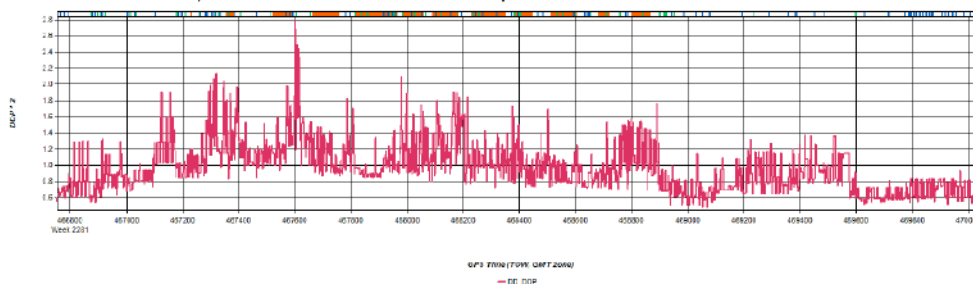
- Le 3^e graphique représente le nombre de satellites visibles durant l'acquisition. Le nombre de satellites doit toujours au minimum être supérieur à 7.



- Le 4^e graphique représente la hauteur de vol durant l'acquisition, exprimée en mètres par rapport au niveau de la mer.



- Le 5^e graphique représente le « differential DOP » durant l'acquisition. 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.

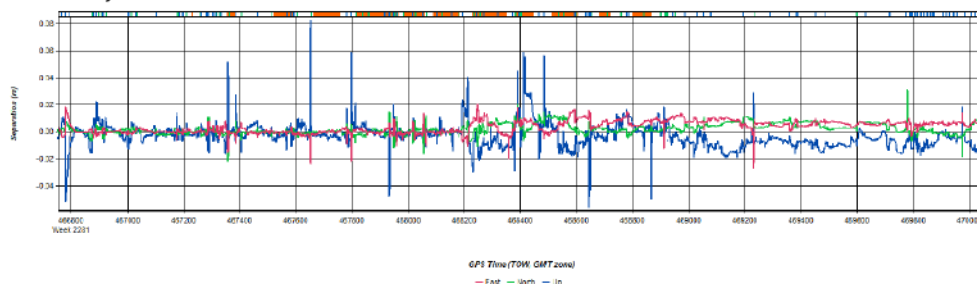


Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

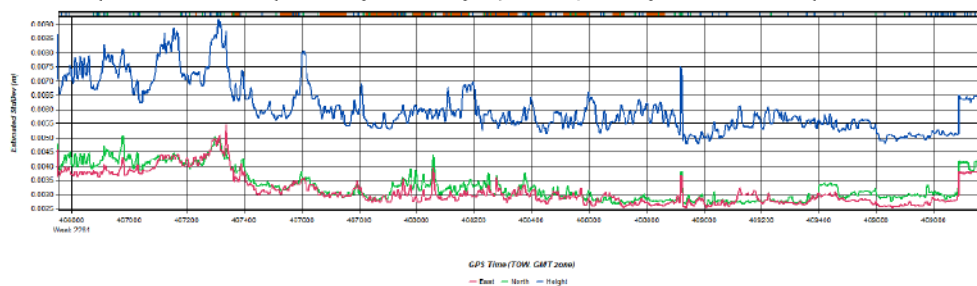
Projet SJL7



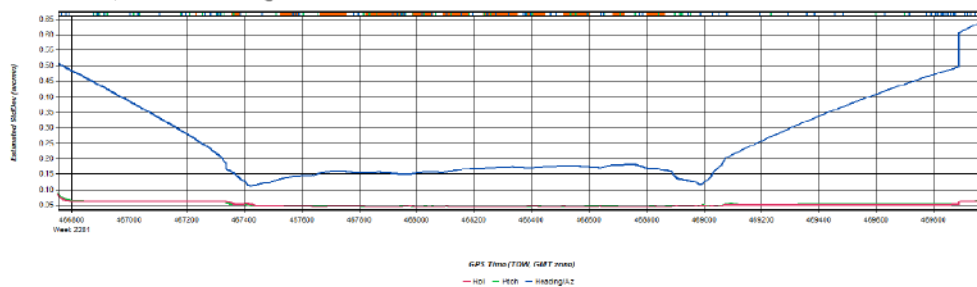
- Le 6^e graphique représente la différence entre la solution chronologique et la solution antichronologique. Une différence inférieure à 5-10cm est garante d'une bonne qualité de la trajectoire.



- Le 7^e graphique représente la précision estimée de la trajectoire en m. En vert et rouge sont représentées les composantes planimétriques, en bleu, la composante altimétrique.



- Le 8^e graphique représente la précision angulaire de la trajectoire au cours du vol selon les 3 angles Roll, Pitch et Heading.



Rapport technique LiDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7



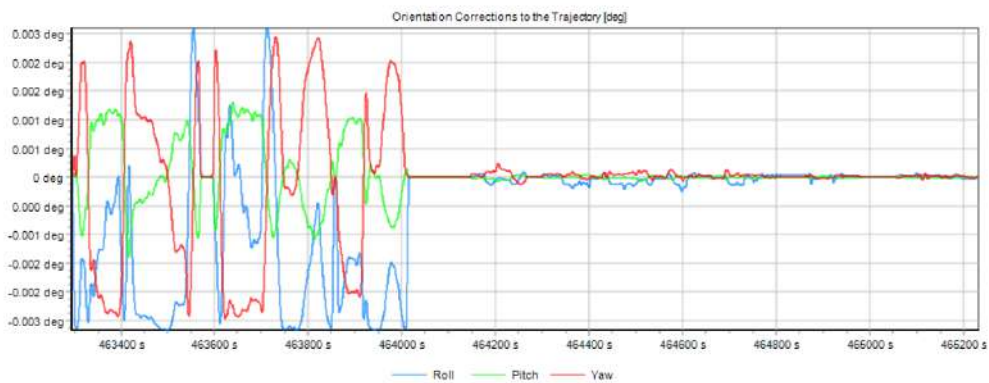
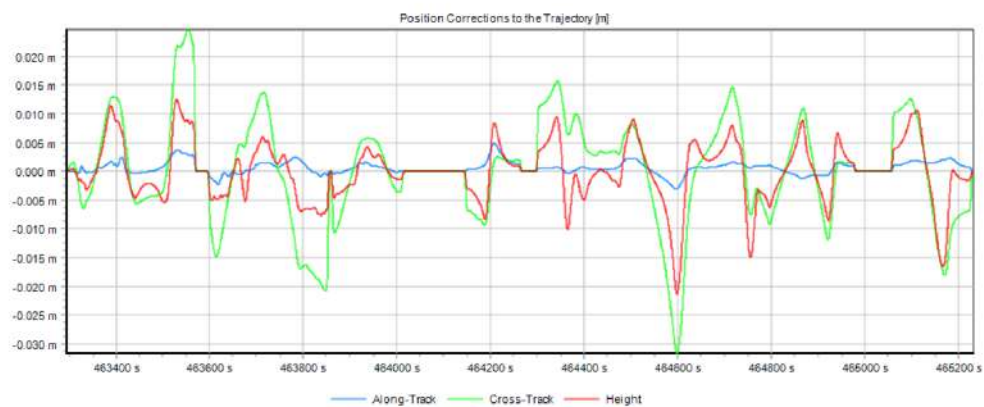
7.3. Ajustement des bandes du nuage de points

7.3.1. Vol V01 : Oblique

Le détail des ajustements *RiPrecision* est présenté dans le document exporté ci-dessous.

| Statistics of Position Corrections | | | |
|------------------------------------|--------------|---------|---------|
| | abs mean [m] | rms [m] | max [m] |
| Along-Track: | 0.0010 | 0.0013 | 0.0049 |
| Cross-Track: | 0.0076 | 0.0097 | -0.0317 |
| Height: | 0.0043 | 0.0056 | -0.0213 |
| Total Positional Deviation: | 0.0091 | 0.0112 | 0.0383 |

| Statistics of Orientation Corrections | | | |
|---------------------------------------|----------------|-----------|-----------|
| | abs mean [deg] | rms [deg] | max [deg] |
| Roll Angle: | 0.00074 | 0.00122 | -0.00267 |
| Pitch Angle: | 0.00027 | 0.00047 | -0.00149 |
| Yaw Angle: | 0.00068 | 0.00103 | -0.00247 |
| Total Angular Deviation: | 0.00110 | 0.00167 | 0.00269 |



Rapport technique LIDAR - Photogrammétrie

Projet SJL7

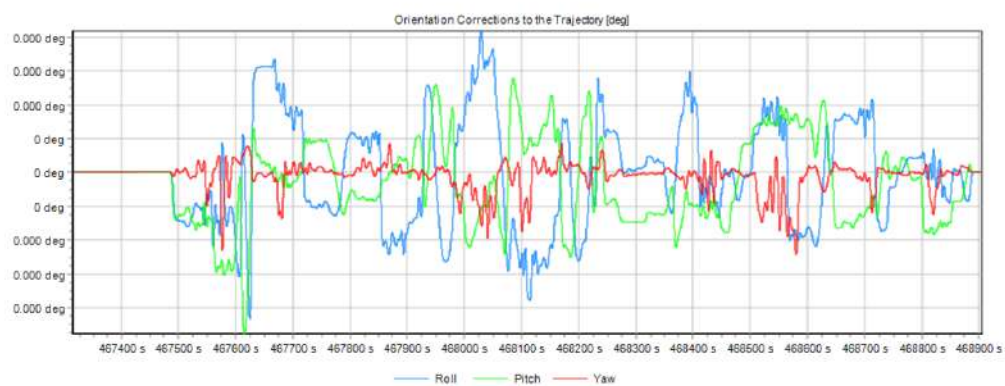
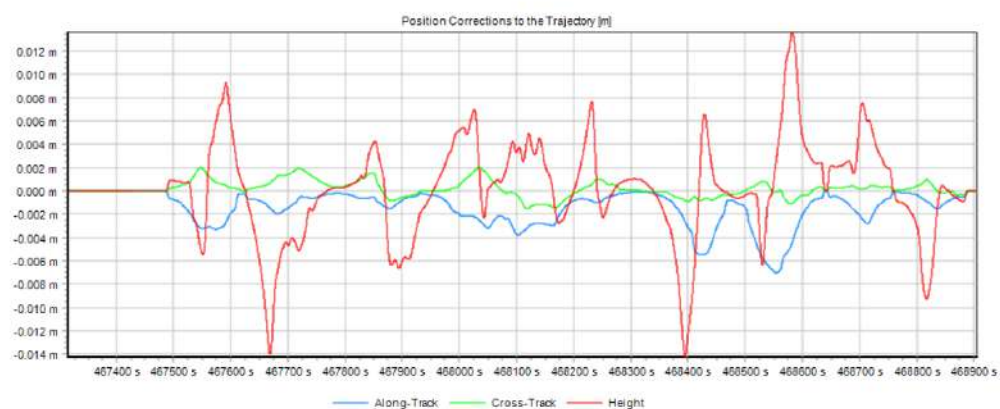


7.3.2. Vol V02 : Nadir

Le détail des ajustements *RiPrecision* est présenté dans le document exporté ci-dessous.

| Statistics of Position Corrections | | | |
|------------------------------------|--------------|---------|---------|
| | abs mean [m] | rms [m] | max [m] |
| Along-Track: | 0.0016 | 0.0022 | -0.0070 |
| Cross-Track: | 0.0006 | 0.0008 | 0.0020 |
| Height: | 0.0031 | 0.0043 | -0.0142 |
| Total Positional Deviation: | 0.0039 | 0.0049 | 0.0145 |

| Statistics of Orientation Corrections | | | |
|---------------------------------------|----------------|-----------|-----------|
| | abs mean [deg] | rms [deg] | max [deg] |
| Roll Angle: | 0.00007 | 0.00008 | -0.00022 |
| Pitch Angle: | 0.00006 | 0.00007 | -0.00024 |
| Yaw Angle: | 0.00001 | 0.00002 | -0.00012 |
| Total Angular Deviation: | 0.00010 | 0.00011 | 0.00024 |



Annexe 3- Cahier des charges BRGM



Protocole de suivi de l'évolution du littoral

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

21/08/2022



1

21 août 2023

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023

SOMMAIRE

| | |
|---|---|
| 1. Contexte et objectifs | 3 |
| 2. Nature de la prestation demandée | 3 |
| 3. Emprise..... | 4 |
| 4. Méthode..... | 7 |
| 5. Calendrier..... | 8 |
| 6. Livrables..... | 9 |

Liste des annexes

| | |
|---|----|
| Photographies obliques des sites..... | 11 |
| Fiche simplifiée de saisie des métadonnées..... | 17 |

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023

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 Nouvelle-Aquitaine (OCNA, anciennement 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 en 2016 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'OCNA 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, etc.), 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 chaque année jusqu'en 2022 sur les falaises de Saint-Jean-de-Luz (acquisition entre août et novembre).

Dans le but de réaliser un suivi interannuel et de pouvoir quantifier l'évolution de ce littoral (mouvements de terrain, recul du trait de côte, zones d'érosion, volumes déplacés), la Communauté d'Agglomération Pays Basque (CAPB) dans le cadre de la Stratégie de Gestion des risques littoraux, souhaite réaliser, en lien avec la commune de Saint-Jean-de-Luz, une nouvelle campagne d'acquisition au cours de l'automne ou début d'hiver 2023, selon l'organisation suivante :

- la CAPB prend en charge la préparation et les acquisitions terrestres et héliportées.
- la commune de Saint-Jean-de-Luz prend en charge le traitement des données acquises,
- le BRGM, apportera son soutien technique pour l'analyse des données recueillies, dans le cadre de l'OCNA.

2. Nature de la prestation demandée

La Commune de Saint Jean de Luz, l'OCNA et la CAPB font appel à un sous-traitant pour l'élaboration d'une représentation 3D de linéaires stratégiques du littoral rocheux basque.

Les rendus attendus sont notamment une orthophoto, des mesh 3D, 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)
- Senix (200ml).

Les linéaires approximatifs sont mentionnés entre parenthèses à titre indicatif.



Les falaises présentent une hauteur variable comprise entre une vingtaine et une quarantaine de mètres. A titre indicatif, le tableau ci-dessous présente une approximation de la hauteur maximale de la falaise sur le linéaire à prospecter :

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

Les cartes suivantes offrent un zoom plus important sur les zones à prospecter. Des photographiques aériennes obliques figurent également en annexe 1. Un shapefile définissant l'emprise souhaitée est également fourni avec le présent document.

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023



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



Secteur d'Erromardie

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023



Secteurs de Lafitenia, 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, à défaut supérieurs à 85).

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 30 m au moins 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 de St-Jean-de-Luz).

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 générale là où le nuage de points initial est incomplet sur les falaises.

Les nuages de point terrestres et hélicoptés devront alors être fusionnés en un seul nuage. Ce complément d'acquisition par voie terrestre fera pleinement partie de la prestation (cf.6. Livrables).

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023



http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr/static-files/potree/StJDL_2020.html

A noter que l'accès au pied de falaise sur ces secteurs n'est pas aisé, il peut se faire via notamment certains accès privés, une demande d'autorisation devra être formalisée avec l'aide de la commune de Saint Jean de Luz.

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

La classification du nuage de point devra permettre de distinguer clairement 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, la CAPB et la commune de Saint-Jean-de-Luz confirmeront au BRGM le soin de réaliser 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 2023 et fin novembre 2023, en période de gros coefficient (si possible coefficients >100, à défaut >85) 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 2023, sauf en cas d'acquisition fin novembre (rendu début janvier 2024).

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023

Périodes d'acquisition répondant aux critères de marée

Calendrier des marées Septembre 2023 43°24' N
1°39' W **Saint-Jean-de-Luz**

| Septembre 2023 | Octobre 2023 | Novembre 2023 | Décembre 2023 |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| 01 V Gilles 110 112 | 01 D Thérèse... 111 108 | 01 M Toussaint 84 78 | 01 V Florence 69 64 |
| 02 S Ingrid 112 110 | 02 L Léger 104 98 | 02 J Défunts 71 63 | 02 S Viviane 60 54 |
| 03 D Grégoire 107 101 | 03 M Gérard 91 83 | 03 V Hubert 56 49 | 03 D François-Xav... 50 45 |
| 04 L Rosalie 95 87 | 04 M François... 75 66 | 04 S Charles 42 36 | 04 L Barbara 41 38 |
| 05 M Raïssa 79 70 | 05 J Fleur 57 46 | 05 D Sylvie 31 29 | 05 M Gérard 36 35 |
| 06 M Bertrand 61 52 | 06 V Bruno 40 33 | 06 L Bertille 29 | 06 M Nicolas 35 36 |
| 07 J Reine 44 37 | 07 S Serge 28 | 07 M Carine 31 35 | 07 J Ambroise 39 |
| 08 V Nativité 32 | 08 D Pélage 26 28 | 08 M Geoffroy 40 45 | 08 V Immaculée C. 43 47 |
| 09 S Alain 30 31 | 09 L Denis 32 38 | 09 J Théodore 51 56 | 09 S Pierre Fourier 51 56 |
| 10 D Inès 35 41 | 10 M Ghislain 44 51 | 10 V Léon 62 66 | 10 D Romaric 61 65 |
| 11 L Adelphe 47 53 | 11 M Firmin 57 63 | 11 S Armistice 71 75 | 11 L Daniel 70 73 |
| 12 M Apollinaire 59 64 | 12 J Wilfried 68 73 | 12 D Christian 79 82 | 12 M JF de Chantal 77 80 |
| 13 M Aimé 69 73 | 13 V Géraud 77 81 | 13 L Brice 84 86 | 13 M Lucie 82 84 |
| 14 J Croix Glorieuse 77 80 | 14 S Juste 84 86 | 14 M Sidoine 87 87 | 14 J Odile 85 86 |
| 15 V Roland 83 85 | 15 D Thérèse... 88 89 | 15 M Albert 86 84 | 15 V Ninon 85 84 |
| 16 S Edith 86 87 | 16 L Edwige 89 88 | 16 J Marguerite 82 79 | 16 S Alice 83 80 |
| 17 D Renaud 87 87 | 17 M Baudoin 87 85 | 17 V Elisabeth 75 71 | 17 D Gaël 77 74 |
| 18 L Nadège 85 83 | 18 M Luc 82 78 | 18 S Aude 66 61 | 18 L Gatien 71 67 |
| 19 M Emilie 80 77 | 19 J René 73 68 | 19 D Tanguy 56 52 | 19 M Urbain 64 61 |
| 20 M Davy 72 67 | 20 V Adeline 62 56 | 20 L Edmond 49 48 | 20 M Théophile 59 57 |
| 21 J Matthieu 62 56 | 21 S Céline 50 44 | 21 M P. de Marie 49 52 | 21 J Hiver 57 |
| 22 V Maurice 49 43 | 22 D Elodie 40 38 | 22 M Cécile 56 | 22 V Françoise-Xav. 57 59 |
| 23 S Automne 38 35 | 23 L Jean... 40 | 23 J Clément 61 67 | 23 S Armand 61 63 |
| 24 D Thècle 35 | 24 M Florentin 45 52 | 24 V Flora 72 77 | 24 D Adèle 66 69 |
| 25 L Hermann 39 47 | 25 M Crépin 60 69 | 25 S Catherine 81 85 | 25 L Noël 71 74 |
| 26 M Côte Damien 55 65 | 26 J Dimitri 77 85 | 26 D Delphine 88 89 | 26 M Etienne 75 77 |
| 27 M Vincent de P. 75 84 | 27 V Emeline 91 97 | 27 L Sévrin 90 90 | 27 M Jean 78 78 |
| 28 J Venceslas 92 100 | 28 S Jude 101 103 | 28 M Jacques... 89 87 | 28 J Innocents 78 78 |
| 29 V Mich. Gab. Ra 105 110 | 29 D Narcisse 104 104 | 29 M Saturnin 85 82 | 29 V David 77 75 |
| 30 S Jérôme 112 112 | 30 L Bienvenu 102 99 | 30 J André 78 74 | 30 S Roger 73 71 |
| | 31 M Quentin 95 90 | | 31 D Sylvestre 68 65 |

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 texturé au format OBJ + JPG + MTL
Pour la texture, les images auront une résolution permettant de représenter des détails photographiques de 5cm.

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023

- une orthophotographie verticale segmentée en dalles régulières au format GeoTIFF et à une résolution de 5cm
- Différentiel LiDAR à partir des MNT des millésimes 2021 et 2022 (différentiel 2022-2021) (le millésime 2021 sera fourni).

En complément du levé héliporté, 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 héliporté et complémentaire devront alors être fusionnés en un seul. La colorisation du nuage de points est attendue.

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

Option : réalisation d'orthophotos en élévation sur les seuls secteurs de falaise. Ces photos seront également ortho rectifiées dans un plan vertical (vue en élévation) dont l'azimut s'ajuste sur la direction moyenne de la falaise par tronçon. Les orthophotos en élévation, découpées par dalles de longueur variable correspondant aux tronçons linéaires, seront produites en format Geotif compressés sans perte et contiendront des pyramides de résolution internes. Une exactitude de calage géométrique de l'orthophoto meilleure ou égale à 2 cm dans le référentiel Lambert-93/NGF69 est attendue.

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 – OCNA 2023

Annexe 1

Photographies obliques des sites St-Jean-de-Luz

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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023



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 – OCNA 2023



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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023



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

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



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

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



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

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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023



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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023



Site de Mayarko (partie Ouest)

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



Site de Mayarko (partie Est)

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



Site de Senix

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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023



Annexe 2

Fiche simplifiée de saisie des métadonnées

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

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023

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

 **géo catalogue** 

Saisie des métadonnées d'une donnée géographique

* la saisie des informations marquées d'un astérisque est obligatoire dans le cas d'une donnée concernée par INSPIRE

Description

*Intitulé de la ressource :

*Résumé de la ressource :

*Identificateur de ressource unique :

*Catégorie thématique (1) :
(2) :
(3) :

*Thème INSPIRE :

*Rectangle de délimitation géographique : Rectangle de l'emprise des données en degrés décimaux (par défaut, France métropolitaine)

| | |
|-----------------|----------------------|
| Région : | <input type="text"/> |
| Département : | <input type="text"/> |
| Commune (A-L) : | <input type="text"/> |
| Commune (L-Z) : | <input type="text"/> |
| Lat N / S | 51.09 41.36 |
| Long O / E | -5.79 9.56 |

*Référence temporelle

Date de la ressource (création) : j/mm/aaaa

Date de la ressource (publication) : j/mm/aaaa

Date de la ressource (dernière révision) : j/mm/aaaa

Etendue temporelle : (début) j/mm/aaaa
(fin) j/mm/aaaa

*Généalogie de la ressource :

Contact(s)

*Contact sur les métadonnées

Organisme :
Adresse :
Ville :

Pour tout renseignement complémentaire : contact@geocatalogue.fr V1.0 - Copyright BRGM

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023

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

Code postal :
e-mail :

*Responsable de la ressource
Organisme :
Adresse :
Ville :
Code postal :
e-mail :
rôle :

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

Limitations d'accès public

| Restrictions d'accès public au sens d'INSPIRE | Valeurs autorisées mais insuffisantes à établir la base légale des limitations d'accès public | contraintes de sécurité |
|---|---|-------------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Les conditions d'accès et d'utilisation décrivent les conditions applicables à l'accès et à l'utilisation des séries et des services de données géographiques, et, le cas échéant, les frais correspondants. Si aucune condition ne s'applique à l'accès à la ressource et à son utilisation, on utilisera la mention «aucune condition ne s'applique». Si les conditions sont inconnues, on utilisera la mention «conditions inconnues».

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

Mots-clés décrivant la ressource
Séparer les mots-clés par des :

Accès à la ressource

| | Adresse URL | Nom |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Lien Internet | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Lien vers service de visualisation | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Lien vers le téléchargement | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Informations sur les métadonnées

*Langue des métadonnées :

*Type de ressource :

Limite d'utilisation des métadonnées :

Informations complémentaires sur la ressource

*Langue décrivant la ressource :

Jeu de caractères de la ressource :

Pour tout renseignement complémentaires : contact@geocatalogue.fr V1.0 - Copyright BRGM

Cahier des charges – MNT Saint-Jean-de-Luz – OCNA 2023

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

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

Pour tout renseignement complémentaire : contact@geocatalogue.fr

V1.0 - Copyright BRGM



OBSERVATOIRE DE LA CÔTE
NOUVELLE-AQUITAINE
Réseau d'experts au service du littoral



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

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

BRGM Nouvelle-Aquitaine

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

A propos de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine

Véritable réseau d'experts au service du littoral, l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine est chargé de suivre l'érosion et la submersion sur le littoral régional. Le BRGM et 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, de la Charente-Maritime, le Syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon (SIBA), le BRGM et l'ONF.

Le rôle de l'Observatoire est de mettre au service de l'ensemble des acteurs du littoral un outil scientifique et technique d'observation, d'aide à la décision et de partage de la connaissance pour la gestion et la prévention des risques côtiers.

L'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine travaille en étroite collaboration avec le GIP Littoral et les Universités de Bordeaux (unité mixte de recherche EPOC), de Pau et des Pays de l'Adour (laboratoire SIAME) et de La Rochelle (unité mixte de recherche LIENSs), ainsi que le Centre de la mer de Biarritz (programme ERMMA), le Conservatoire du littoral et le Cerema.

L'enjeu est d'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