

OBSERVATOIRE DE LA CÔTE NOUVELLE-AQUITAINE

Document public

Rapport final

Modélisation 3D des falaises de la Pointe Sainte-Anne (Hendaye) : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2021 et 2023

RP-74092-FR
Version 1 du 17/12/2024

Martins L., Ayache B., Garnier C.



Ce rapport a été vérifié le 31/01/2025 et approuvé le 14/02/2025 selon la procédure interne en vigueur au sein du BRGM, qui garantit le respect de ses engagements contractuels, de l'intégrité et de l'impartialité du contenu scientifique et technique du présent rapport, de l'éthique et de la déontologie du BRGM, ainsi que des dispositions réglementaires et législatives auquel il est soumis pour l'exercice de son activité.

Avertissement

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

Le demandeur assure lui-même la diffusion qu'il souhaite des exemplaires de ce tirage initial, dont il est seul propriétaire.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la règlementation en vigueur, ainsi que par les termes de la convention.

Les justificatifs du contrôle qualité de ce rapport (auteur, vérificateur, approbateur) peuvent être communiqués à titre confidentiel au destinataire du rapport, à sa demande et dans le strict respect de la réglementation applicable au traitement des données à caractères personnels.

Le BRGM ne saurait être tenu responsable de la divulgation du contenu total ou partiel de ce rapport à un tiers non-autorisé 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/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots-clés : falaise, littoral, trait de côte, mouvement de terrain, Hendaye, 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 la Pointe Sainte-Anne (Hendaye) : acquisition, analyse "qualité" des données et analyse diachronique entre 2021 et 2023. Rapport final version 1 du 17/12/2024. BRGM/RP-74092-FR, 98 p., 60 Ill., 1 tab., 2 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 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 marine dans les différents environnements côtiers du littoral régional.

En 2020, l'OCNA a procédé à une qualification détaillée des aléas de mouvements de terrain affectant les falaises du Domaine d'Abbadia (rapport BRGM/RP-70256-FR), dont la gestion est assurée par la Ville d'Hendaye et le Conservatoire du Littoral. Cette étude a conduit à souligner le risque d'instabilité auquel sont soumis, à plus ou moins court terme, certains points de vue et cheminements présents sur le site. En 2021, dans le prolongement de cette étude et en lien avec les gestionnaires, l'OCNA a proposé un protocole de suivi de l'évolution des falaises, permettant de mettre en évidence une dégradation des conditions de stabilité et de prendre, si nécessaire, les mesures de sauvegarde adaptées (cf. Note technique NT_BDX-2022-006).

Il a été jugé nécessaire de déployer des suivis LiDAR aéroportés plus adaptés à l'environnement étudié (côte rocheuse), en comparaison avec les levés régionaux. Ces suivis visent à offrir une plus grande précision, avec pour objectif d'évaluer la capacité de ces données à suivre l'évolution du littoral, tant de façon qualitative et autant que possible quantitative. Une des particularités de ces acquisitions LiDAR aéroportées locales, réalisées à faible altitude, réside dans l'orientation des visées, qui sont perpendiculaires aux falaises sub-verticales. Cette approche permet d'obtenir une précision supérieure à celle des levés à visée nadirale (verticale), effectués en outre à une altitude plus élevée à l'échelle régionale.

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 :

- ➊ la première, sous SIG, à l'aide des modèles numériques de terrain (MNT) et leurs différentiels qui permettent d'étudier les falaises faiblement pentues ;
- ➋ 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.

L'analyse du différentiel LiDAR permet de pré-identifier les sites ayant subi des évolutions morphologiques d'ampleur variable dans les contextes géomorphologiques variés. Cette détection préliminaire est suivie d'une phase d'expertise intégrant la connaissance du terrain et des processus d'instabilités afin d'évaluer la pertinence des évolutions. Cette analyse permet également de caractériser les instabilités et d'estimer l'ordre de grandeur des volumes impliqués. Une analyse experte par photographie oblique complète le processus de façon systématique.

Il est important de souligner que les données issues du différentiel LiDAR présentent des incertitudes significatives qui ne garantissent pas un jeu de données totalement exploitable (notamment en lien avec la classification des nuages de point qui n'est pas optimale). Elles ne peuvent, à elles seules, suffire à une interprétation totalement fiable et définitive. Par conséquent, les estimations des volumes doivent être

considérées avec précaution. Un travail spécifique (mené dans le cadre du programme OCNA) visant à améliorer le traitement de l'incertitude sera lancé en 2025 afin d'automatiser et consolider la méthode.

La dynamique, mise en évidence au cours de cette période, est marquée par plusieurs phénomènes d'intensité variable :

- Hayzabia : poursuite de l'activité de glissements de terrain ; chutes de blocs depuis les bords libres de certaines dalles de flysch, voire rupture de portions de ces dalles ;
- baie de Loya : dynamique érosive principalement marquée par le démantèlement de certaines dalles de flysch et occurrence de chutes de blocs depuis les bords libres de ces dalles ;
- Pointe Sainte-Anne : poursuite de l'activité de mouvement de terrain, notamment avec l'extension latérale du glissement de terrain de décembre 2019, mobilisant 270 m³ (site 11), et la remobilisation d'environ 290 m³ de matériaux précédemment glissés dans un secteur actif depuis juin 2008 (site 13) ;
- crique Erdico Ura : dynamique érosive principalement marquée par la poursuite de l'activité de glissement de terrain, mobilisant environ 400 m³ (site 15b) de matériau, et la déstabilisation par glissement / éboulement d'environ 300 m³ de flyschs gréseux broyés (site 15a).

Sommaire

1. Introduction	11
2. Présentation du secteur d'étude.....	13
2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE	13
2.2. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE	19
2.3. TYPOLOGIE ET ACTIVITE "MOUVEMENT DE TERRAIN".....	22
3. Présentation des méthodes d'acquisition et données disponibles	27
3.1. METHODE	27
3.1.1. La 3D par photogrammétrie	27
3.1.2. La 3D à partir de levés LiDAR	27
3.2. LIVRABLES	28
3.3. ACCES AUX DONNEES	30
3.4. CONTROLE DE LA QUALITE DES DONNEES.....	30
3.4.1. Contrôle « qualité » altimétrique	30
3.4.2. Contrôle « qualité » de la donnée	31
4. Analyse diachronique	33
4.1. METHODE	33
4.2. SECTEUR D'HAYZABIA	38
4.3. SECTEUR DE LA BAIE DE LOYA.....	52
4.4. SECTEUR DE LA POINTE SAINTE-ANNE.....	58
4.5. SECTEUR DE LA CRIQUE ERDICO URA	72
5. Conclusion	79
6. Bibliographie	81

Liste des illustrations

Illustration 1 - Localisation des secteurs d'étude	12
Illustration 2 - Principe de l'altération.....	14
Illustration 3 - Altération observée à Hendaye ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2023.....	14
Illustration 4 - A : Log stratigraphique. Les formations inscrites en gras affleurent sur la côte basque. B : Carte géologique du Pays Basque français et schéma structural synthétique (d'après Razin, 1989 et Peter-Borie, 2008). En rouge, figurent les chevauchements majeurs : Φ sur les évaporites, argiles et ophites du Keuper et décollement ϕ dans le flysch d'Hayzabia. FU : unités frontales ; SU : unités septentrionales ; MU : unités méridionales (Illustrations A et B tirées de la thèse de Guillen, 2024). C : Carte géologique du secteur d'étude (Peter-Borie, 2008)	17
Illustration 5 - Répartition des épaisseurs d'altérites et de la couverture d'alluvions affleurantes sur la côte basque (Guillen, 2024 ; encadré rouge : secteur d'étude)	18
Illustration 6 - Nouveaux morphotypes des falaises basques améliorés à partir de la classification de Genna et al (2004) et des structures et épaisseurs de couverture altérifique et alluvionnaire (Guillen, 2024 ; encadré rouge : morphotypes présents sur le secteur d'étude).....	20
Illustration 7 - Répartition spatiale des morphotypes améliorés à partir de la classification de Genna et al (2004) et des cartographies détaillées de la couverture d'altérites et d'alluvions et des structures ; les numéros de morphotypes correspondent aux descriptions de l'Illustration 6 (Guillen, 2024 ; encadré rouge : secteur d'étude).....	21
Illustration 8 - Classes et répartition des relations géométriques entre le plan de stratification et le versant (Guillen, 2024 ; encadré rouge : secteur d'étude)	22
Illustration 9 - Localisation des mouvements de terrains présentés ci-dessous (ortho : OrthoLittoraleV2_2011_2012)	23
Illustration 10 - Eboulement survenu le 17 juin 2008 à la Pointe Sainte-Anne (extrait du rapport BRGM/RP-56616-FR)	24
Illustration 11 - Glissement de terrain survenu en décembre 2008 ; extrait du rapport BRGM/RP-56616-FR (©IGN 2000 et 2009)	24
Illustration 12 - Glissement de terrain survenu le 15 décembre 2019 (extrait du rapport BRGM/RP-70256-FR ; © Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2015, 2020)	25
Illustration 13 - Glissement de terrain survenu le 10 novembre 2020 (©BRGM)	25
Illustration 14 - Acquisition LiDAR (par hélicoptère) (source : Fernander-Diaz et al., 2014)	28
Illustration 15 - Résultats d'analyse de différentiel altimétrique à partir des MNT acquis à dates différentes (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023).....	34
Illustration 16 - Limite de la méthode sous SIG due à la qualité de la donnée (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023).....	35
Illustration 17 – Représentation en « rangée de pixels » des différences entre 2 MNT sur des parois sub-verticales (délimitées dans le polygone noir ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)	36
Illustration 18 - Nuage de points 2021 (à gauche) et 2023 (à droite) présentant des absences de données distinctes ne permettant pas de procéder à une analyse des évolutions (ici extrémité de la Pointe Sainte-Anne) (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023).....	37
Illustration 19 - Résultat de la fonction M3C2 pour la détection des évolutions significatives entre les nuages de points 2023 et 2021, sous Cloucompare® (en haut à gauche : nuage 2021, en haut à droite : nuage 2023 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023).....	37

Illustration 20 - Différentiel LiDAR 2023-2021 et sites d'évolution identifiés dans le secteur d'Hayzabia ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	39
Illustration 21 - Evolution du premier site, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023, observée sur photographies aériennes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	40
Illustration 22 - Evolution du site 1, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	41
Illustration 23 - Evolution du site 2, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023, observée sur photographies aériennes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	42
Illustration 24 - Evolution du site 2, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	43
Illustration 25 - Evolution du site 3, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023, observée sur photographies aériennes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	44
Illustration 26 - Evolution du site 3a dans le secteur Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	45
Illustration 27 - Evolution du site 3b dans le secteur Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	45
Illustration 28 - Evolution du site 4a dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	46
Illustration 29 - Evolution du site 4 dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	47
Illustration 30 - Evolution du site 4b dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	48
Illustration 31 - Evolution du site 4c dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	48
Illustration 32 - Evolution du site 5 dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (encadré noir : localisation du compartiment traité par analyse des nuages de point via Cloudcompare ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	49
Illustration 33 - Evolution du site 5 dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	50
Illustration 34 - Vue en 3D et analyse d'une partie du glissement du site 5 de Hayzabia (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)	51
Illustration 35 - Différentiel LiDAR 2023-2021 et sites d'évolution identifiés dans le secteur de la baie de Loya ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	53
Illustration 36 - Evolution des sites 6a et 6b du secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	54
Illustration 37 - Evolution du site 6a dans le secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	55
Illustration 38 - Evolution du site 6b dans le secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	55

Illustration 39 - Evolution du site 7 dans le secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	56
Illustration 40 - Evolution du site 7 dans le secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023, observée sur photographies aériennes (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	57
Illustration 41 - Différentiel LiDAR 2023-2021 ; sites d'évolution identifiés dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	59
Illustration 42 - Evolution du site 8 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	60
Illustration 43 - Evolution du site 8 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	61
Illustration 44 - Evolution du site 9 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	62
Illustration 45 - Evolution du site 9 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	63
Illustration 46 - Evolution du site 10 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	64
Illustration 47 - Nuage de points 2021 à gauche et 2023 à droite, affichant des absences de données, pour le site 10 (Pointe Sainte-Anne ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)	64
Illustration 48 - Evolution du site 10 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	65
Illustration 49 - Evolution du site 11 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)	66
Illustration 50 - Evolution du site 12 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	67
Illustration 51 - Evolution du site 13 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	68
Illustration 52 - Evolution du site 13 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	69
Illustration 53 - Evolution du site 14 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	70
Illustration 54 - Vue 3D, à partir des nuages de points, du glissement Pointe_Sainte_Anne_14 (nuage 2021 à gauche, nuage 2023 au milieu, et nuage 2023 avec le glissement en orange, à droite ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)	71
Illustration 55 - Evolution du site 14 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2022 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)	71
Illustration 56 - Différentiel LiDAR 2023-2021 ; sites d'évolution identifiés dans le secteur de la crique Erdico Ura (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	73
Illustration 57 - Evolution du site 15a dans le secteur de la crique Erdico Ura, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	74

Illustration 58 - Evolution du site 15b dans le secteur de la crique Erdico Ura, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	75
Illustration 59 - Evolution du site 16 dans le secteur de la crique Erdico Ura, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	76
Illustration 60 - Evolution du site 17 dans le secteur de la crique Erdico Ura, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).....	77

Liste des tableaux

Tableau 1 - Liste des livrables, réalisés par Instadrone (acquisitions 2021 et 2023)	29
--	----

Liste des annexes

Annexe 1 - Rapport de mission Instadrone 2021	83
Annexe 2 - Rapport de mission Instadrone 2023	91

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 marine dans les différents environnements côtiers du littoral régional.

L'OCNA 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'accrédition, 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.

En 2020, l'OCNA a procédé à une qualification détaillée des aléas de mouvements de terrain affectant les falaises du Domaine d'Abbadia (rapport BRGM/RP-70256-FR), dont la gestion est assurée par la Ville d'Hendaye et le Conservatoire du Littoral. Cette étude a conduit à souligner le risque d'instabilité auquel sont soumis, à plus ou moins court terme, certains points de vue et cheminements présents sur le site. En 2021, dans le prolongement de cette étude et en lien avec les gestionnaires, l'OCNA a proposé un protocole de suivi de l'évolution des falaises, permettant de mettre en évidence une dégradation des conditions de stabilité et de prendre, si nécessaire, les mesures de sauvegarde adaptées (cf. Note technique NT_BDX-2022-006).

Il a été jugé nécessaire de déployer des suivis LiDAR aéroportés plus adaptés à l'environnement étudié (côte rocheuse), en comparaison avec les levés régionaux. Ces suivis visent à offrir une plus grande précision, avec pour objectif d'évaluer la capacité de ces données à suivre l'évolution du littoral, tant de façon qualitative et autant que possible quantitative. Une des particularités de ces acquisitions LiDAR aéroportées locales, réalisées à faible altitude, réside dans l'orientation des visées, qui sont perpendiculaires aux falaises sub-verticales. Cette approche permet d'obtenir une précision supérieure à celle des levés à visée nadirale (verticale), effectués en outre à une altitude plus élevée à l'échelle régionale.

Une première campagne de levés topographiques par LiDAR et par photogrammétrie a ainsi été initiée, fin 2021, par l'OCNA en partenariat avec le Conservatoire du Littoral et la ville d'Hendaye, de façon à disposer d'un modèle 3D des falaises de la Pointe Sainte-Anne et d'acquérir des orthophotographies en élévation du linéaire levé.

Une deuxième campagne, menée par le même prestataire qu'en 2021 (société Instadrone) a été réalisée selon le même cahier des charges. Les levés ont été réalisés le 02 octobre (LiDAR et photos pour orthomosaïque verticale) et le 29 novembre 2023 (photos pour les élévations).

L'acquisition de données topographiques de haute résolution a pour but d'apporter les éléments de connaissance sur les caractéristiques géométriques et structurales de la falaise, indispensables à l'analyse des conditions de stabilité de celle-ci. L'approche vise *in fine*, par analyse différentielle des jeux de données, à permettre de suivre la dynamique érosive et les mouvements de terrain affectant le linéaire de falaise et d'apporter ainsi les éléments techniques permettant, le cas échéant, au gestionnaire de prendre les mesures de gestion appropriées.

Le présent rapport fait état des mouvements de terrain identifiés sur les falaises au droit du Domaine d'Abbadia entre 2021 et 2023. Le périmètre d'étude s'étend sur environ 4 km et comprend une bande incluant la falaise, une distance d'au moins 30 m en arrière du sommet de falaise et l'estran rocheux (ou la plage). Les falaises étudiées appartiennent, d'est en ouest, aux secteurs suivants (Illustration 1) :

1. Hayzabia
2. baie de Loya
3. Pointe Sainte-Anne
4. Crique Erdico Ura

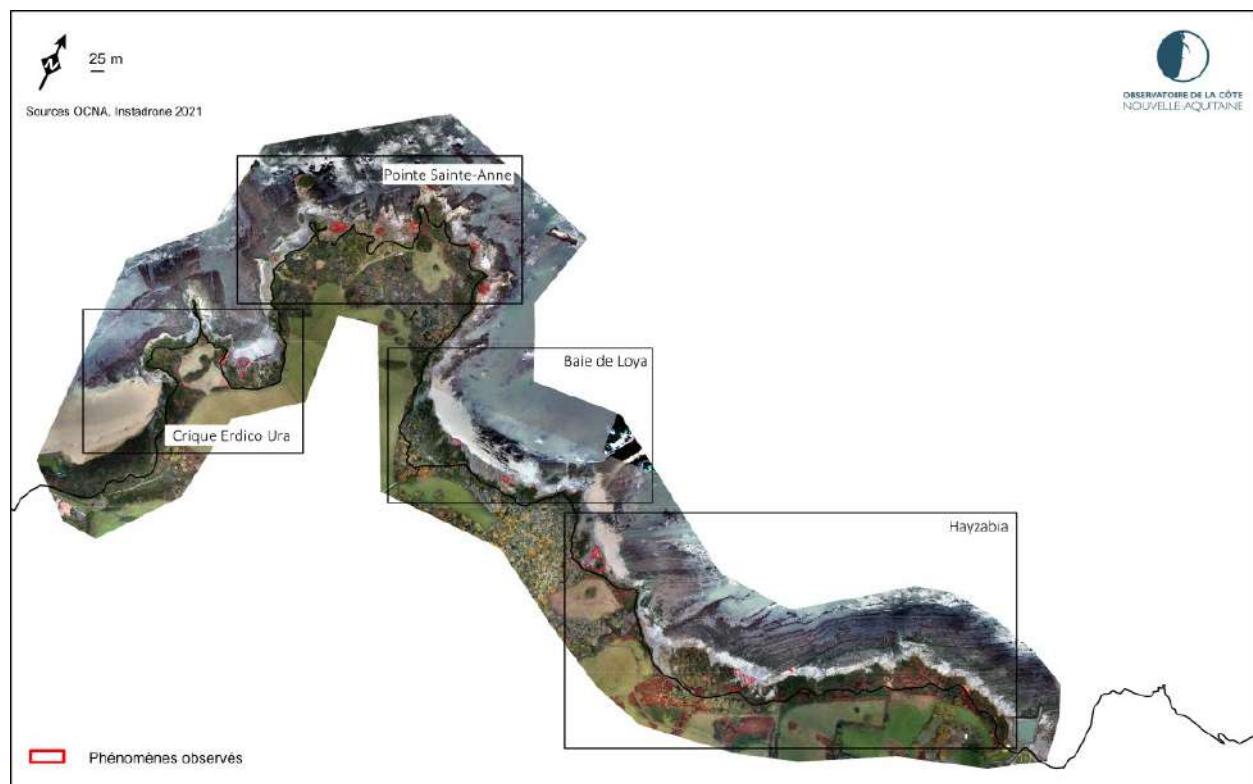


Illustration 1 - Localisation des secteurs d'étude

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

2. Présentation du secteur d'étude

2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE

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 et Guillen en 2024, dans le cadre de travaux de recherche menés lors du projet EZPONDA, représente les grandes unités stratigraphiques de la partie sud du littoral basque (Illustration 4).

Les formations lithologiques s'étalent du Keuper (Trias, 237 Ma) au Quaternaire (Pléistocène supérieur, 15 500 ans) (Razin, 1989 in Guillen, 2024) (Illustration 4-A). Leur structure est héritée de la formation de la chaîne pyrénéenne, orientée sur environ 1 000 km selon un axe WNW-ESE. Les Pyrénées se sont formées par la convergence nord-sud des plaques ibérique et européenne, lors du cycle pyrénéen de l'orogenèse alpine, entre 124 Ma (Crétacé inférieur) et 23 Ma (Oligocène) (Sibuet et al., 2004, in Guillen, 2024). Les déformations liées à cette convergence affectant le Pays Basque français sont attribuées du Lutétien (47 Ma) à l'Oligo-Miocène (23 Ma) (Choukroune et al., 1973 ; Muller et Roger, 1977 ; Choukroune et Mattauer, 1978, in Guillen, 2024).

Ainsi trois unités structurales se distinguent (Razin, 1989) : les unités méridionales (MU), les unités septentrionales (SU) et les unités frontales (FU). Seules les unités septentrionales (SU) affleurent sur les falaises d'Hendaye (Guillen, 2024 ; Illustration 4-B). Elles sont constituées de flyschs qui résultent de l'accumulation de dépôts provenant d'avalanches sous-marines dans le bassin de Saint-Jean-de-Luz, à distance de la source d'approvisionnement des matériaux (Razin, 1989, in Guillen, 2024).

Les falaises de la Pointe Sainte-Anne sont constituées de six lithologies (Illustration 4-C) :

- ➊ les flyschs gréseux broyés, du Campanien supérieur ;
- ➋ les flyschs gréseux d'Hendaye, du Campanien supérieur ;
- ➌ les marnes de Bidart, du Maestrichtien ;
- ➍ les marno-calcaires de Loya, du Santonien supérieur à Campanien moyen ;
- ➎ les Turbidites de Makila, du Santonien supérieur à Campanien moyen ;
- ➏ les calcaires rosés, du Danien.

On notera par ailleurs la présence :

- ➐ de **matériaux d'altération**. Les altérites sont des formations superficielles, résultant de l'altération et de la fragmentation sur place du substratum (Illustration 2 et Illustration 3). 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. 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 (principalement de type « glissement ») d'intensité variable, l'intensité étant directement dépendante de l'épaisseur et du niveau d'évolution de la frange altérée.

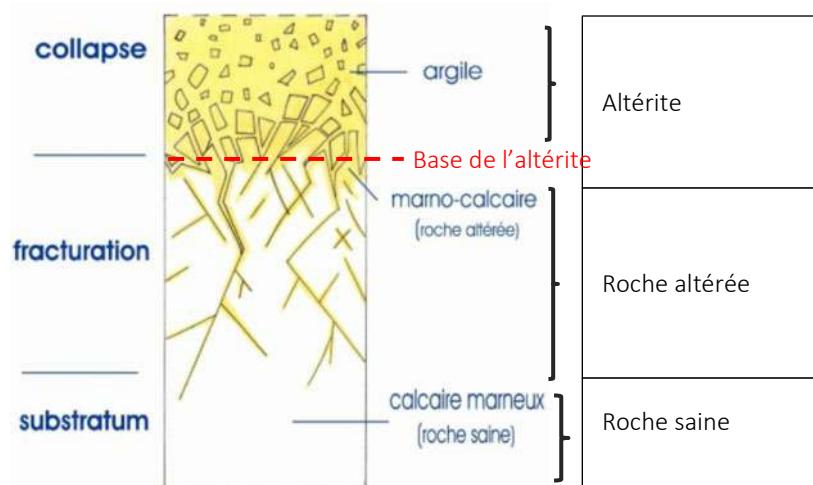


Illustration 2 - Principe de l'altération



Illustration 3 - Altération observée à Hendaye ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2023

- ➊ 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.

A l'occasion du projet EZPONDA (Guillen, 2024 et Martins, 2021), trois classes d'épaisseurs d'altérites ont été définies à partir de l'analyse des photographies obliques acquises par l'OCNA de 2018 et 2019 et d'observations de terrain : (1) peu épaisse, ≤ 2 m ; (2) moyennement épaisse, entre 2 et 5 m ; (3) fortement épaisse, ≥ 5 m. Ces épaisseurs ont été vectorisées sous SIG avec une information complémentaire : la présence ou l'absence d'alluvions mio-plio-quaternaires. Pour les falaises d'Hendaye, cette analyse met en évidence la présence d'altérites, continue et moyennement à fortement épaisse, sans formation allochtone (Illustration 5).

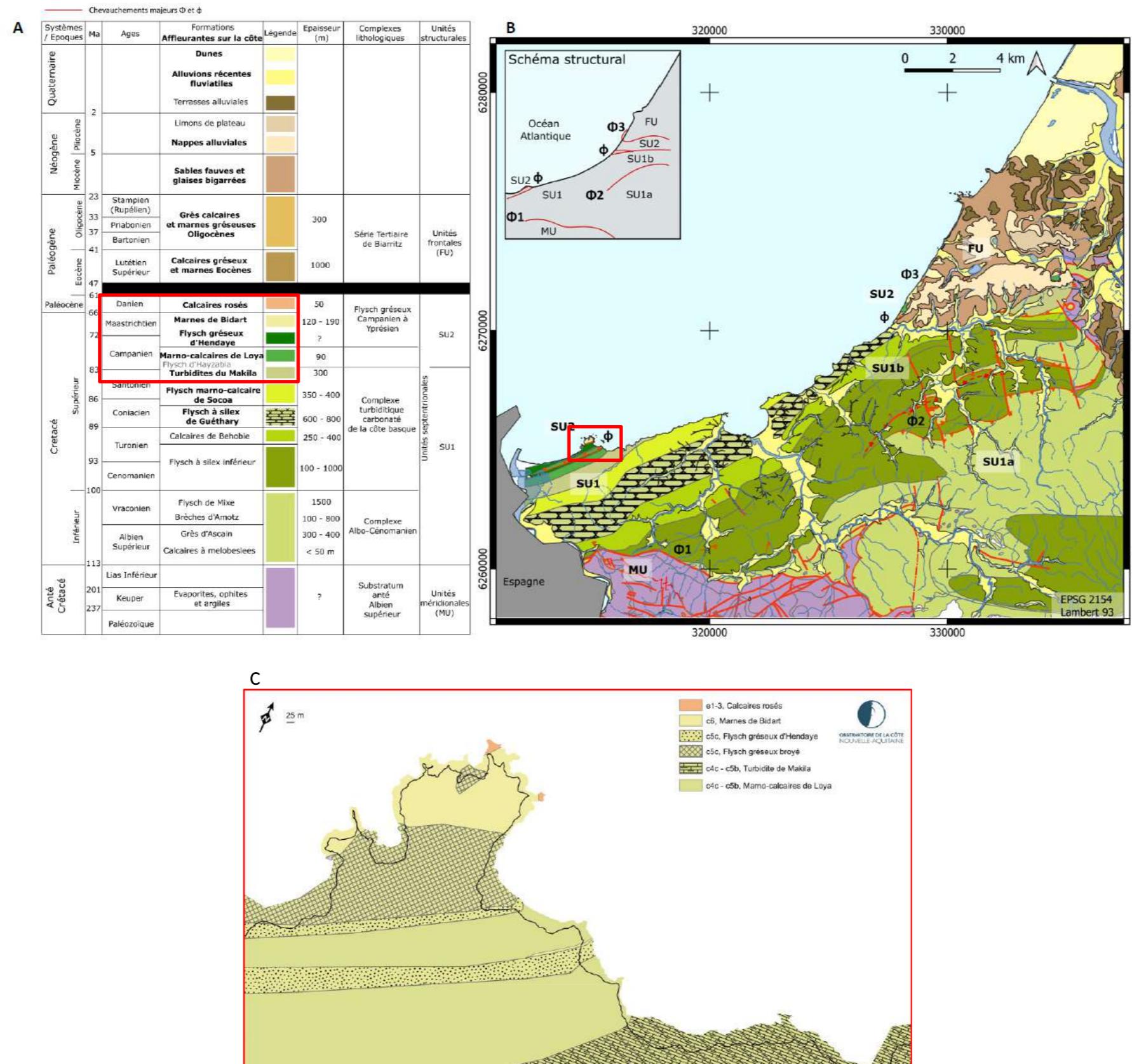


Illustration 4 - A : Log stratigraphique. Les formations inscrites en gras affleurent sur la côte basque. B : Carte géologique du Pays Basque français et schéma structural synthétique (d'après Razin, 1989 et Peter-Borie, 2008). En rouge, figurent les chevauchements majeurs : Φ sur les évaporites, argiles et ophites du Keuper et décollement ϕ dans le flysch d'Hayzabia. FU : unités frontales ; SU : unités septentrionales ; MU : unités méridionales (Illustrations A et B tirées de la thèse de Guillen, 2024).

C : Carte géologique du secteur d'étude (Peter-Borie, 2008)

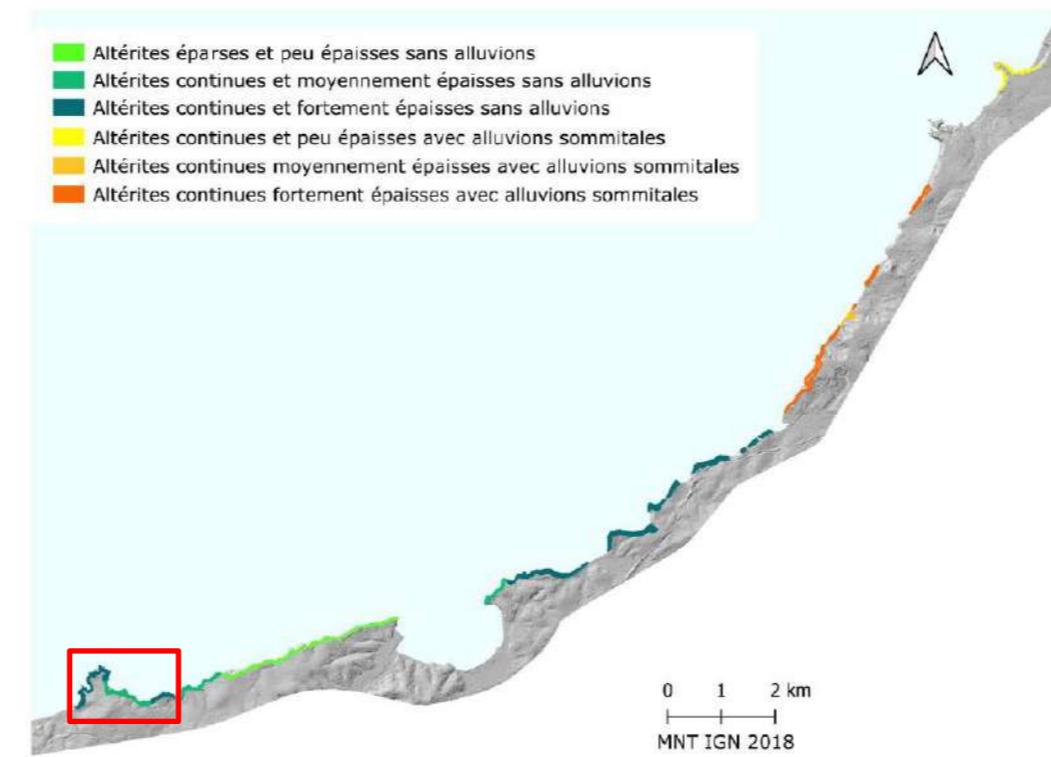


Illustration 5 - Répartition des épaisseurs d'altérites et de la couverture d'alluvions affleurantes sur la côte basque (Guillen, 2024 ; encadré rouge : secteur d'étude)

2.2. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

Le linéaire étudié s'étend sur plus de 4 km, depuis la plage des Deux Jumeaux à l'ouest (extrémité orientale de la grande plage d'Hendaye), au secteur d'Hayzabia, à l'extrémité orientale du territoire d'Hendaye. 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.

Une typologie de la côte rocheuses basque a été définie par Genna et al. en 2004, en fonction des caractéristiques géomorphologiques, du comportement mécanique des roches et de leur mode de dégradation. Cette typologie a été retravaillée dans le cadre de la thèse de Guillen (2024) et aboutit à huit nouveaux morphotypes, qui prennent en compte la structure et la lithologie du massif ainsi que la présence d'altération et d'alluvions (Illustration 6 et Illustration 7).

Sur le linéaire étudié on retrouve, les morphotypes :

- **1.2** : caractérisé par des roches à stratifications horizontales, avec la présence d'altérites fortement épaisses ;
- **4** : caractérisé par des roches déstructurées, avec la présence d'altérites moyennement à fortement épaisses ;
- **5.3** : caractérisé par des roches dures basculées, conformes, altérées.

Morphotypes de Genna et al. (2004a)	Nouveaux morphotypes	Schémas	Structures	Couverture altérítique et alluvionnaire	Localisation
1 : roches à stratifications horizontales avec altérites et couverture alluvionnaire	1.1 : roches à stratifications horizontales à oblique avec altérites peu épaisses et alluvions		Sub-horizontal ou pendage oblique	Altérites peu épaisses et alluvions	Anglet et Biarritz
	1.2 : roches à stratifications horizontales avec altérites fortement épaisses		Sub-horizontal ou déstructuré	Altérites fortement épaisses	Hendaye
2 : roches meubles à stratifications déformées avec altérites et couverture alluvionnaire récente	2 : roches meubles conformes obliques avec altérites moyennement à fortement épaisses et alluvions		Pendage conforme oblique à oblique	Altérites moyennement à fortement épaisses avec alluvions	Alternances des deux types à Bidart
3 : roches dures plissées avec altérites et couverture alluvionnaire récente	3 : roches déformées avec altérites moyennement à fortement épaisses et alluvions		Déstructuré		
4 : roches dures plissées avec altérites	4 : Roches déstructurées avec altérites moyennement à fortement épaisses		Déstructuré	Altérites moyennement à fortement épaisses	Guéthary, Saint-Jean-de-Luz et Hendaye
5 : roches dures basculées	5.1 : Roches dures basculées conformes		Conforme	Altérites épaisses et peu épaisses	Ciboure à Urrugne
	5.2 : Roches dures basculées non conformes		Non conforme ou déstructurée	Altérites moyennement épaisses	Urrugne
	5.3 : Roches dures basculées conformes altérrées		Conforme	Altérites moyennement à fortement épaisses	Hendaye

Illustration 6 - Nouveaux morphotypes des falaises basques améliorés à partir de la classification de Genna et al (2004) et des structures et épaisseurs de couverture altérítique et alluvionnaire (Guillen, 2024 ; encadré rouge : morphotypes présents sur le secteur d'étude)

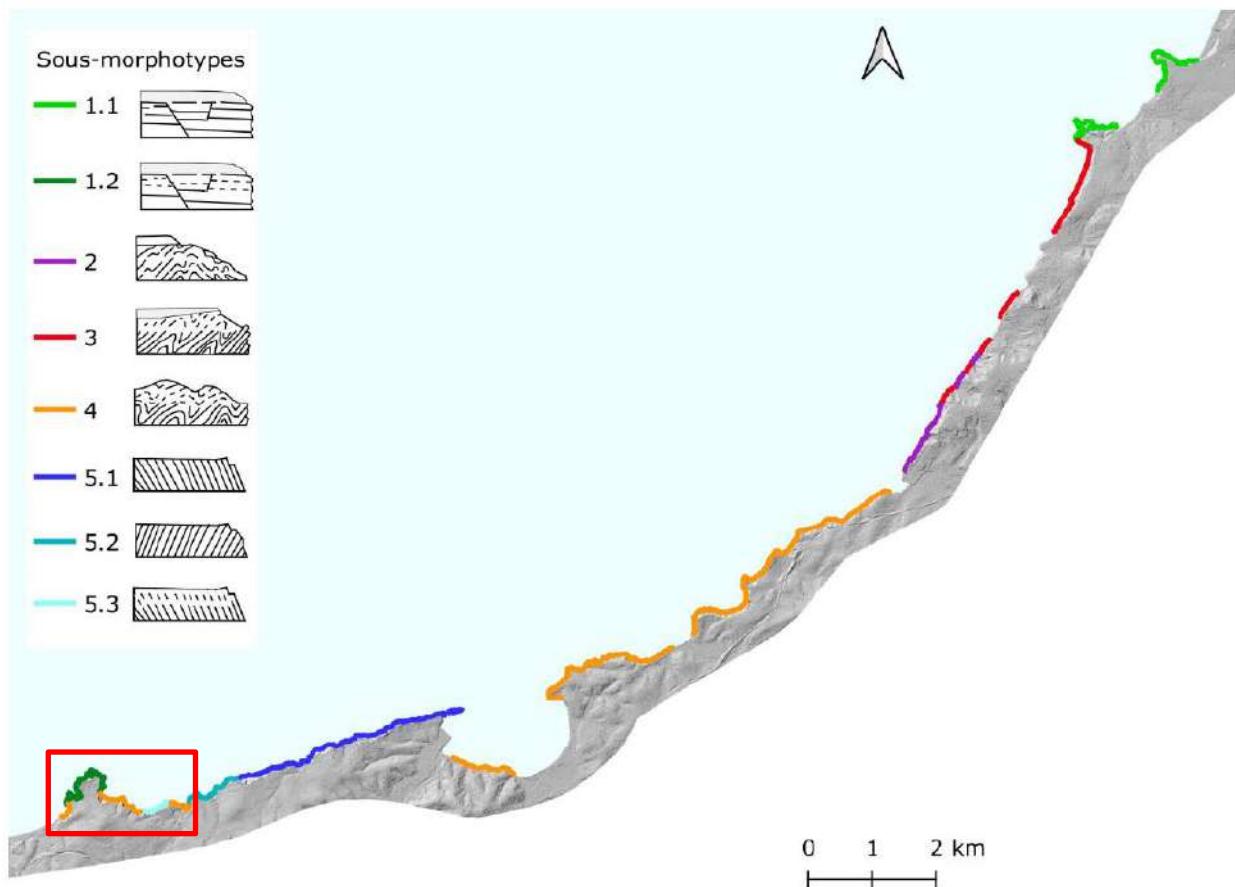


Illustration 7 - Répartition spatiale des morphotypes améliorés à partir de la classification de Genna et al (2004) et des cartographies détaillées de la couverture d'altérites et d'alluvions et des structures ; les numéros de morphotypes correspondent aux descriptions de l'Illustration 6 (Guillen, 2024 ; encadré rouge : secteur d'étude)

L'érosion des falaises peut également être évaluée à partir de la relation géométrique entre le plan de stratification et le versant (ou « structures ») (Trenhaile, 1987, in Guillen, 2024). Sur la côte basque, ces structures varient selon le pendage et l'orientation du plan de stratification en fonction du linéaire côtier.

L'analyse de photographies obliques récentes a permis de définir six classes de plans de stratification (Guillen, 2024 ; Illustration 8). Trois d'entre elles sont observées dans le secteur d'étude : les plans subhorizontaux (inférieurs à 15°), les formations déstructurées et les plans de pendage conformes (compris entre 15° et 75°), avec une orientation par rapport au linéaire côtier inférieure à 15°, plongeant en direction de la mer.

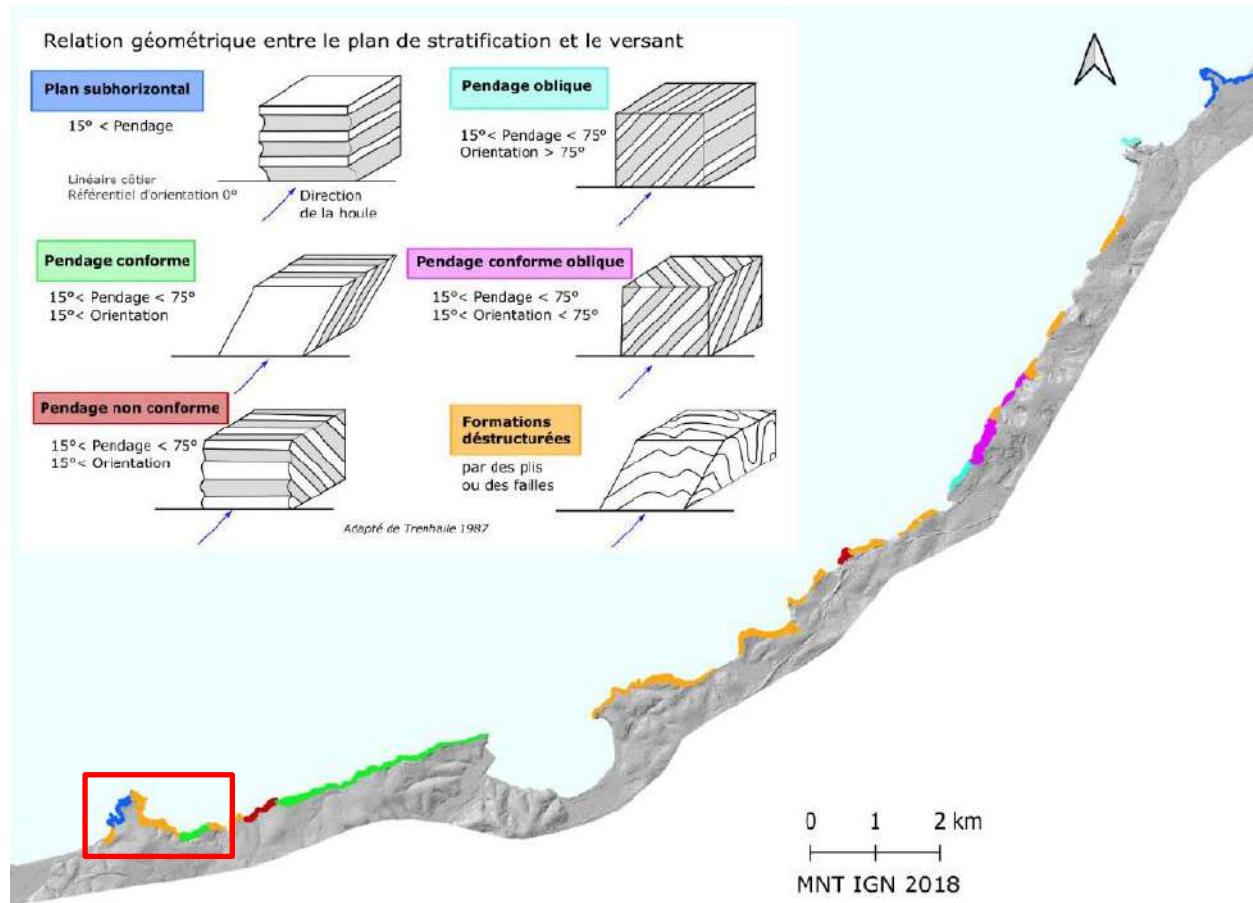


Illustration 8 - Classes et répartition des relations géométriques entre le plan de stratification et le versant
(Guillen, 2024 ; encadré rouge : secteur d'étude)

2.3. TYPOLOGIE ET ACTIVITE "MOUVEMENT DE TERRAIN"

Sous l'expression générique « mouvements de terrain » sont regroupés plusieurs types d'instabilités, 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.) et de la nature des terrains mobilisés.

Les principaux types de mouvements de terrain présents dans la zone d'étude sont les suivants (Guillen, 2024) :

- les glissements rocheux banc sur banc ; ils mobilisent une masse rocheuse sur une surface de rupture plane correspondant à la stratification (Hungr et al., 2014, in Guillen, 2024). Ces phénomènes peuvent être d'ampleur plus ou moins importante en fonction de la géométrie du versant et des caractéristiques structurales du matériel rocheux ;
- les chutes de blocs et éboulements ; ils sont caractérisés par la mobilisation de matériaux rocheux fracturés en blocs, de dimensions variables, le long de discontinuités (Hungr et al., 2014, in Guillen, 2024) ;
- les glissements de matériaux mixtes ; ces derniers sont des glissements rotationnels, translationnels ou composites (*i.e.* composés de différents types de ruptures successives dans le temps et l'espace) ; ils sont initiés dans des falaises dont le pied de versant est constitué de

matériaux rocheux, et dont le haut de versant est constitué de matériaux mixtes (altérites et/ou alluvions) ;

- les glissements de matériaux fins ; ils mobilisent des matériaux cohésifs qui sont des altérites et/ou des alluvions. La surface de rupture des glissements observés sur le terrain est rotationnelle, plus rarement translationnelle, voire roto-translationnelle.

Chacun de ces types de phénomène se manifeste ou est susceptible de se manifester, sur le littoral étudié, avec des intensités variables (volume mobilisé, cinématique, etc.), contribuant à l'érosion des falaises et au recul du trait de côte.

Ci-dessous figurent plusieurs événements majeurs, recensés par le BRGM via la BDMVT, illustrant l'activité des « mouvements de terrain » le long de la frange côtière de la Pointe Sainte-Anne.



Illustration 9 - Localisation des mouvements de terrains présentés ci-dessous (ortho : OrthoLittoraleV2_2011_2012)

- L'expertise (BRGM/RP-56616-FR) réalisée dans le cadre de l'OCA fait état d'un glissement de matériaux mixtes durant la nuit du 17 au 18 juin 2008 (1, Illustration 9). Ce phénomène a mobilisé un volume de 8 000 m³ emportant le sentier de promenade du Domaine d'Abbadia, initialement implanté à une quinzaine de mètres du bord de la falaise, et faisant apparaître la structure en béton armé d'un blockhaus (Illustration 10).

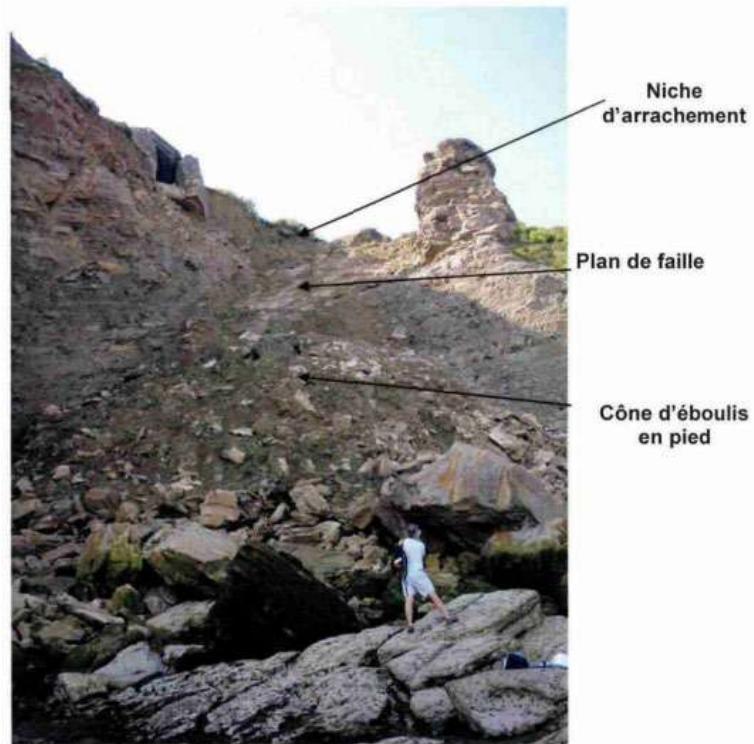


Illustration 10 - Eboulement survenu le 17 juin 2008 à la Pointe Sainte-Anne (extrait du rapport BRGM/RP-56616-FR)

En 2008, une autre expertise fait état d'un second glissement de terrain de matériaux mixtes, survenu en décembre (2, Illustration 9). Ce dernier a emporté la partie aval du sentier permettant d'accéder à l'estran. Selon le rapport BRGM/RP-65471-FR, ce phénomène a déplacé un volume de l'ordre de plusieurs milliers de m³ pour une profondeur moyenne de glissement de l'ordre de 2-3 m (Illustration 11).



Illustration 11 - Glissement de terrain survenu en décembre 2008 ; extrait du rapport BRGM/RP-56616-FR
(©IGN 2000 et 2009)

- Le rapport BRGM/RP-70256-FR fait état d'un glissement de matériaux mixtes, survenu le 15 décembre 2019 (3, Illustration 9). Cette instabilité a mobilisé un volume estimé à près de 4 000 m³, et a emporté l'un des sentiers ceinturant la Pointe Sainte-Anne, sur une dizaine de mètres (Illustration 11 et Illustration 12).



Illustration 12 - Glissement de terrain survenu le 15 décembre 2019 (extrait du rapport BRGM/RP-70256-FR ; © Observatoire de la Côte Aquitaine, Olivier Chaldebas, ULM Sud Bassin, 2015, 2020)

- Enfin, un glissement de terrain de matériaux mixtes est survenu le 10 novembre 2020, à proximité immédiate du sentier littoral, à mi-chemin entre Hayzabia et Asporotstippi (4, Illustration 9). Le phénomène s'est traduit par un décrochement principal sur un linéaire de falaise d'une vingtaine de mètres avec, en tête, une niche d'arrachement sommitale sub-verticale de près de 5 mètres de hauteur (Illustration 13).



Illustration 13 - Glissement de terrain survenu le 10 novembre 2020 (@BRGM)

3. Présentation des méthodes d'acquisition et données disponibles

La nécessité de visualiser et mesurer des instabilités, d'intensité potentiellement limitée (p.x. chutes de blocs de plusieurs dizaines de dm³), et la relative faible étendue du secteur (linéaire d'environ 4 km) à étudier induisent son survol au moyen d'un appareil « léger » (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 juste et exhaustive des terrains complexes et accidentés, présentant des reliefs à forte pente, et des falaises en surplomb, comme c'est le cas à la Pointe Sainte-Anne. Le couplage d'un matériel d'acquisition aéroporté performant et des levés DGPS terrestres permet d'accroître la précision des levés.

Le BRGM a sollicité l'expertise de sous-traitants pour réaliser l'acquisition et la représentation en trois dimensions des falaises. Après une consultation de potentiels prestataires au début de l'été 2021, le choix s'est porté sur la société Instadrone, qui a proposé une approche **LiDAR/photogrammétrie par drone** pour l'ensemble des falaises de la zone étudiée. La technologie LiDAR 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.

En 2023, une seconde acquisition, selon les mêmes spécificités, permet une analyse de l'évolution des falaises.

Les levés ont eu lieu les 18 et 20 novembre 2021 pour le premier levé, et le 2 octobre 2023 pour le second (cf. Rapports de mission en annexe).

3.1. METHODE

3.1.1. La 3D par photogrammétrie

Le levé stéréoscopique par photogrammétrie permet de positionner tout point dans l'espace à partir de son observation sous deux points de vue différents. Le matériel peu encombrant, composé d'une caméra et éventuellement d'un récepteur GPS, peut être transporté 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 14) :

 d'un scanner laser ;

- ➊ 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 ;
- ➋ 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.

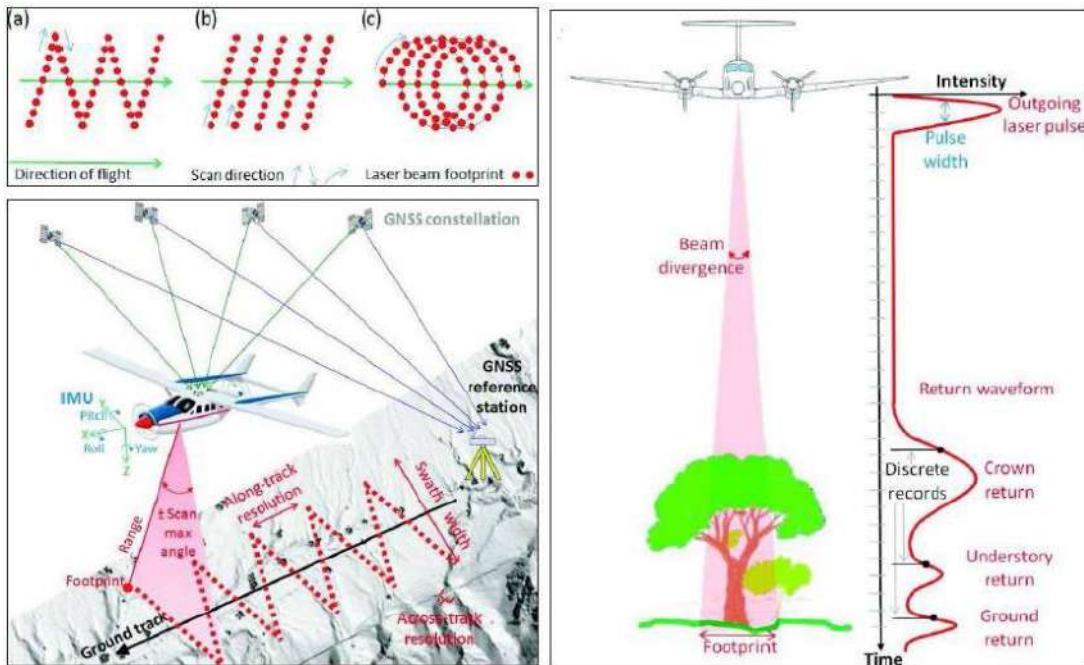


Illustration 14 - Acquisition LiDAR (par hélicoptère) (source : Fernander-Diaz et al., 2014)

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 tirs 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 photogrammétrie, les images permettent de lever d'éventuelles incertitudes lors de la classification des points, mais également d'apporter des rendus supplémentaires offrant ainsi une vision de l'environnement investigué : orthophotographies, texturage de mesh 3D.

3.2. LIVRABLES

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

De manière à avoir une illustration du secteur et permettre de faciliter l'exploitation des données topographiques et leur interprétation, des orthophotographies nadirales et en élévation ont été réalisées pour les 2 missions.

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 Instadrone (LiDAR + photogrammétrie)	Illustration
Données brutes	Nuages de points	X	
	Emprise	X	
Données traitées	MNT	X résolution 25 cm	
	Mesh3D texturé	X	
	Orthophotographie nadirale	résolution 5 cm	
	Orthophotographie d'élévation	résolution 1,5 cm	
Rapport de mission		X	

Tableau 1 - Liste des livrables, réalisés par Instadrone (acquisitions 2021 et 2023)

3.3. ACCES AUX DONNEES

Les deux jeux de données 2021 et 2023 des levés disposent d'une fiche de métadonnées décrivant les produits et les dates. Ces fiches ainsi que les données sont accessibles et téléchargeables depuis la plateforme Opendata PIGMA

(<https://www.pigma.org/portail/fr/recherche?responsibleParty.organisationName=BRGM%20Nouvelle-Aquitaine/%20OCNA>) ainsi que depuis le site web de l'OCNA, via [l'espace cartographique](#) ou la [page OGC](#).

Les liens directs vers les jeux de données sont détaillés ci-après :

LiDAR Hendaye 2021	LiDAR Hendaye 2023
Adresse du service WMS : http://ws.carmencarto.fr/WMS/114/LIDAR ?	
Couche de l'emprise : Emprise_Hendaye_2021	Couche de l'emprise : Emprise_Hendaye_2023
Télécharger les données	Télécharger les données
Métadonnée	Métadonnée

3.4. CONTROLE DE LA QUALITE DES DONNEES

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

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

Les points contrôlés portent notamment sur :

- ➊ la qualité du produit MNT issu du levé LiDAR ;
- ➋ le bon recouvrement des clichés (photogrammétrie), pour une représentation 3D, afin d'éviter les parties cachées ;
- ➌ la vérification de la précision des données (comparaison avec les levés DGPS terrestres) ;
- ➍ la conformité des livrables avec le cahier des charges (format, emprise, résolution).

Nous présentons ici uniquement la comparaison avec les levés DGPS terrestres, afin d'estimer la qualité des jeux de données 2021 et 2023.

3.4.1. Contrôle « qualité » altimétrique

Un contrôle « qualité » altimétrique a été réalisé par Instadrone à partir des points de calage fournis par l'OCNA ou levés au DGPS par Instadrone : 19 points en 2021 et 28 en 2023 (cf. rapports de mission Instadrone en annexe).

A partir de ces points, nous pouvons estimer l'erreur (ou écart) quadratique moyen(ne) de l'altimétrie des jeux de données, selon la formule suivante :

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

L'erreur altimétrique moyenne calculée est de 1,5 cm en 2021 et de 3,8 cm en 2023. Cela est satisfaisant et conforme aux attentes du cahier des charges (5 cm).

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 Instadrone, 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 Instadrone est naturellement plus élevée (70 points / m² contre 8 à 16 points / m² pour un levé régional).

Les erreurs estimées des MNT 2021 (1,5 cm) et 2023 (3,8 cm) nous imposent de prendre en compte l'incertitude propagée dans le différentiel et d'en déduire une limite de détection. Nous appliquons pour cela la méthode proposée par Brasington et al. (2003), adaptée au domaine côtier, $\delta Z_{DoD} = \sqrt{(\delta Z_{last})^2 + (\delta Z_{first})^2}$ où δZ_{DoD} est l'incertitude propagée dans le DoD (*DEM of Difference*, soit le MNT différentiel) ; δZ_{last} (3,8 cm) et δZ_{first} (1,5 cm) sont respectivement les précisions verticales du MNT le plus récent et du MNT le plus ancien. La limite de détection est LoD où $LoD(k) = k * \delta Z_{DoD}$ avec k comme facteur de seuil sans dimension. Nous utiliserons k = 1, valeur régulièrement adoptée dans la littérature.

Cela conduit à écarter la classe] -0,4 ; 0,4 cm [du différentiel. Celle-ci a été étendu à] -0,15 ; 0,15 cm [afin de limiter le bruit et ne retenir que des différences remarquables.

Cela étant, ces erreurs ne garantissent pas un jeu de données totalement exploitable, il convient également de s'assurer de la bonne classification des nuages de point ou de l'exhaustivité des mesures (cf. § 3.4.2 et 4.1).

3.4.2. Contrôle « qualité » de la donnée

Les 2 jeux de données 2021 et 2023 présentent des hétérogénéités de traitement ne facilitant pas leurs analyses. Cela est décrit dans le chapitre 4.1 présentant la méthode de traitement utilisée pour l'analyse diachronique et ses limites.

En résumé, voici les principales remarques :

- classifications différentes des zones boisées ;
- LiDAR ne couvrant pas l'ensemble des falaises, notamment subverticales ;
- valeurs de MNT erronées sur le platier rocheux pour le jeu de données 2021 ;
- mesh 3D 2021 non texturé.

Les points évoqués ci-dessus constituent des pistes de progrès pour les futures acquisitions, aussi bien pour les prochains levés que pour la description des besoins dans le cahier des charges.

4. Analyse diachronique

Une analyse diachronique a été réalisée pour la période 2021-2023, à partir des données produites par Instadrone. La méthode, rappelée ci-dessous, est la même que pour les analyses réalisées sur les falaises de Saint-Jean-de-Luz (rapports BRGM/RP-69865-FR, RP-70614-FR, RP-71453-FR et RP-72363-FR) en collaboration avec la Communauté d'Agglomération Pays Basque et la Ville de Saint-Jean-de-Luz. Elle propose deux approches différentes selon la configuration des falaises : versants plus ou moins végétalisés, à pentes modérées à fortes, ou 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 (évolutions supérieures à 5 m³), pour la période précitée, dans chaque secteur étudié.

Cette analyse permet de pré-identifier les sites ayant subi des évolutions morphologiques, d'ampleur variable, dans les contextes géomorphologiques variés. Cette détection préliminaire est suivie d'une phase d'expertise intégrant la connaissance du terrain et des processus d'instabilité, afin d'évaluer la pertinence des évolutions. Cette analyse permet également de caractériser les instabilités et d'estimer l'ordre de grandeur des volumes impliqués. Une analyse experte par photographie oblique complète le processus de façon systématique.

Il est important de souligner que les données issues du différentiel LiDAR présentent des incertitudes significatives qui ne garantissent pas un jeu de données totalement exploitable (notamment en lien avec la classification des nuages de point qui n'est pas optimale). Elles ne peuvent, à elles seules, suffire à une interprétation totalement fiable et définitive. Par conséquent, les estimations des volumes doivent être considérées avec précaution. Un travail spécifique (mené dans le cadre du programme OCNA) visant à améliorer le traitement de l'incertitude sera lancé en 2025 afin d'automatiser et consolider la méthode.

4.1. METHODE

La caractérisation des mouvements de terrain sur les falaises d'Hendaye est opérée selon une approche géomatique, à partir des données acquises par Instadrone (jeux de données 2021 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 secteurs au cours du temps est facilitée par le calcul du différentiel d'altitude entre les deux jeux de données.

Afin de prendre en compte la précision des données (4 cm en Z sur le différentiel) 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'ampleur jugées significatives¹ (cf. § 3.4.1 puis Illustration 15).

Il convient de préciser que le différentiel calculé met en avant de nombreux secteurs ne correspondant vraisemblablement pas à des évolutions, et nécessite un regard critique sur la donnée. Ceci est dû notamment à une classification des nuages de points distinctes entre les 2 jeux de données, ou encore à des artefacts au niveau du platier rocheux (Illustration 16).

¹ 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.

L'analyse du différentiel entre les MNT 2023 et 2021 (Illustration 15) permet de mettre en avant les évolutions significatives entre les 2 années (secteurs en rouge et vert). Puis une digitalisation manuelle des contours des secteurs, pour lesquels une évolution est identifiée, est réalisée afin de produire une couche SIG de polygones. Celle-ci est alors utilisée pour la fonction statistique zonale qui permet de calculer la somme des différences par polygones, correspondant à un volume en mètre cube. Les 2 secteurs présentés ci-dessus (Pointe_Sainte_Anne_12 et Hayzabia_4) sont décrits dans les chapitres 4.2 et 4.4.

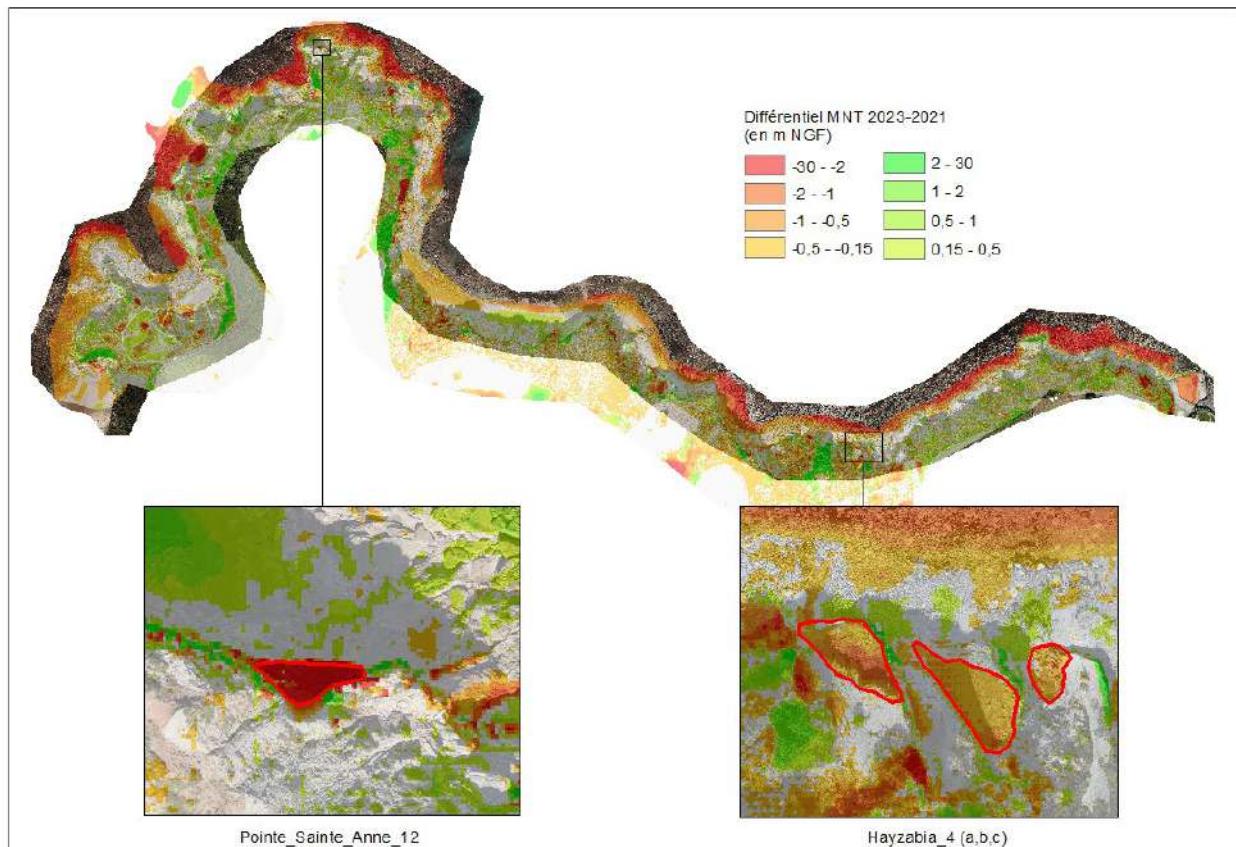
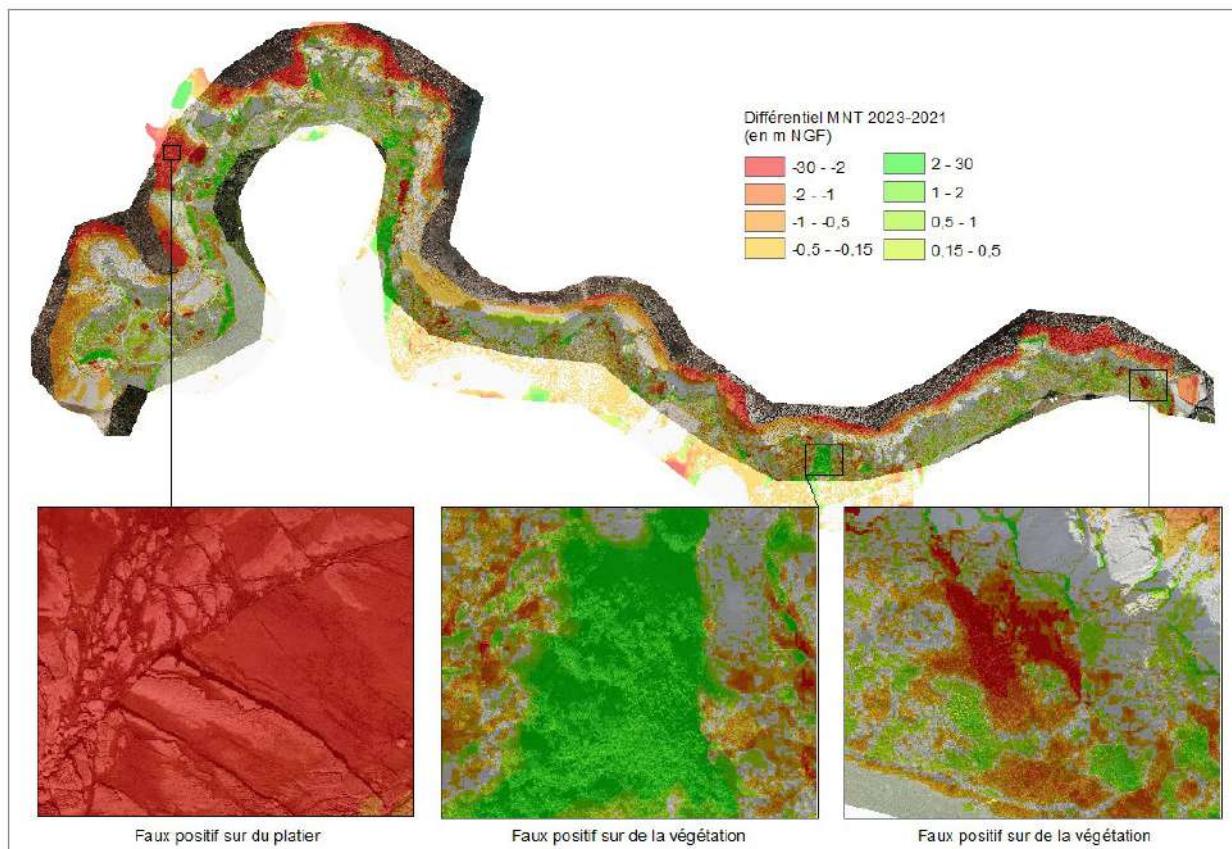


Illustration 15 - Résultats d'analyse de différentiel altimétrique à partir des MNT acquis à dates différentes
©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)



*Illustration 16 - Limite de la méthode sous SIG due à la qualité de la donnée
©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)*

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 17).

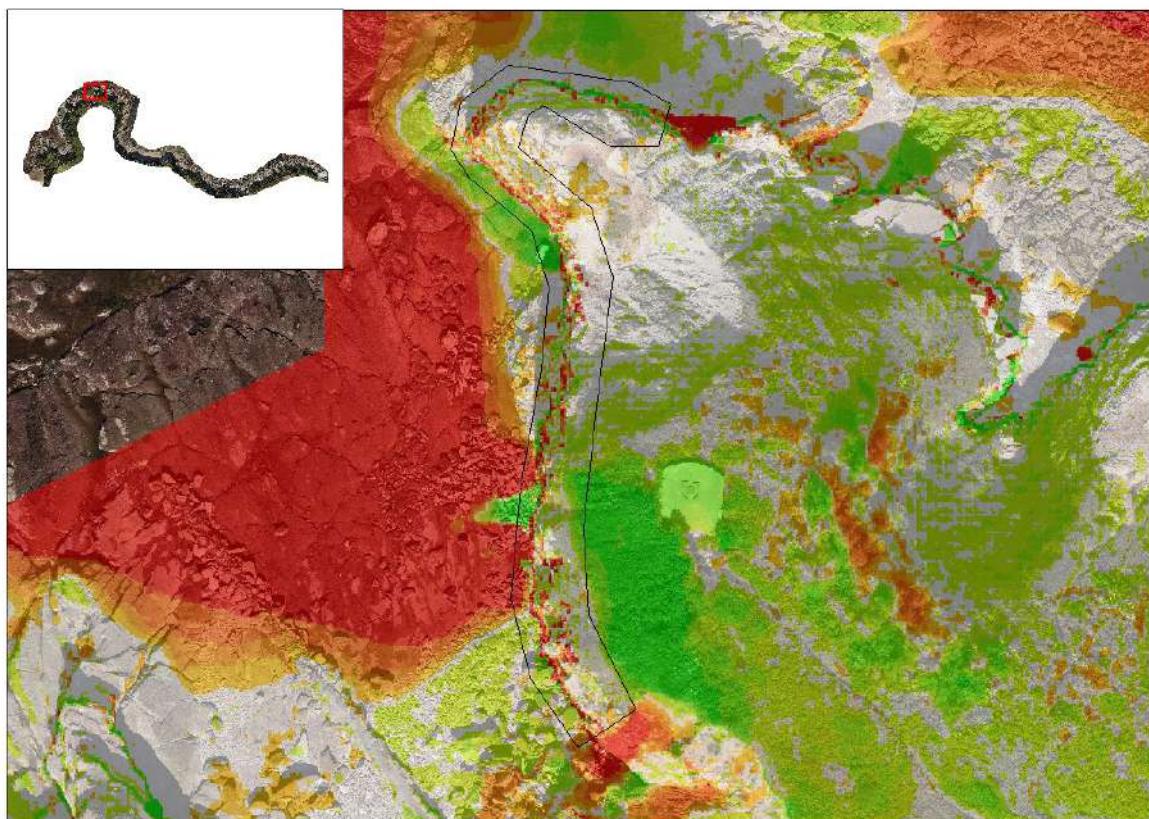
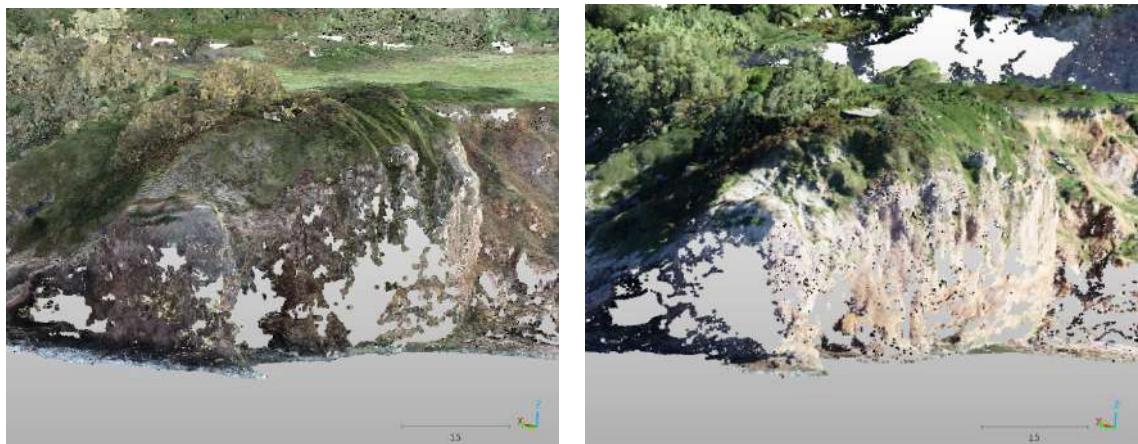


Illustration 17 – Représentation en « rangée de pixels » des différences entre 2 MNT sur des parois sub-verticales (délimitées dans le polygone noir ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)

C'est pourquoi dans le cas de la falaise de la Pointe Sainte-Anne, 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.

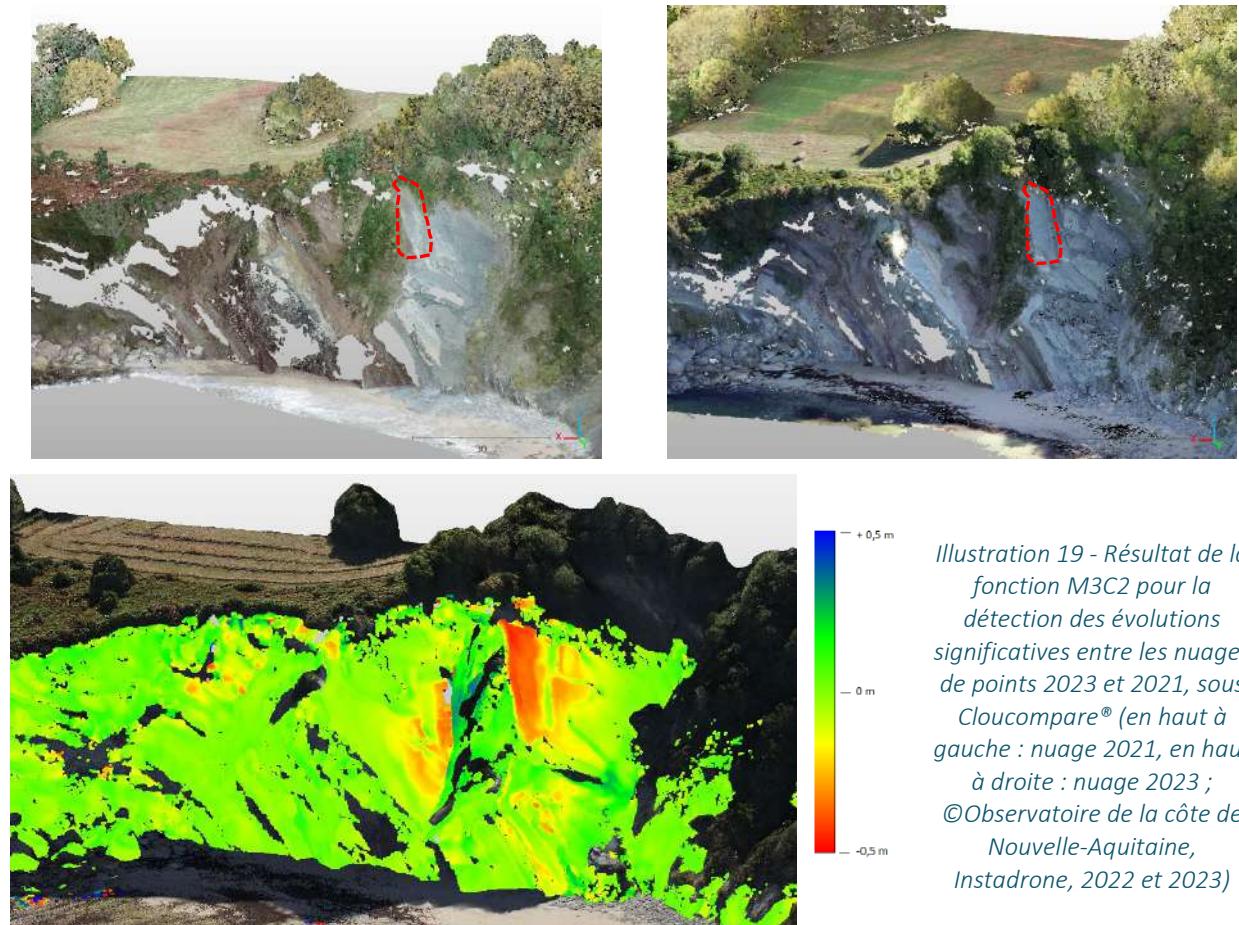
Néanmoins, les jeux de données livrés présentent des limites d'utilisation, avec des classifications de la végétation parfois erronées et ne pointant pas les mêmes zones d'un jeu de données à l'autre, comme déjà vu sur les MNT. Des zones non levées par le LiDAR, sans doute en raison de leurs fortes inclinaisons et d'une visée du LiDAR pas assez oblique, sont également à déplorer (Illustration 18).

Nous pouvons en déduire que le modèle 3D (mesh 3D) fourni en 2023 (qui ne présente pas de trou) a été réalisé à partir d'un traitement photogrammétrique. Il aurait alors été pertinent de combler le nuage LiDAR par une extraction de points du nuage généré à partir du modèle photogrammétrique, en le précisant dans les informations du nuage de points restitué (champ scalaire).



*Illustration 18 - Nuage de points 2021 (à gauche) et 2023 (à droite) présentant des absences de données distinctes ne permettant pas de procéder à une analyse des évolutions (ici extrémité de la Pointe Sainte-Anne)
©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)*

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 jeux de données différents (à l'aide de la fonction M3C2, Lague 2013, James 2017) et ainsi de caractériser les mouvements de terrain (Illustration 19).



La digitalisation des évolutions significatives depuis les 2 nuages permet de générer un mesh et ainsi en déduire un volume. Les évolutions constatées entre 2021 et 2023, pour les différents secteurs d'étude, sont décrites et caractérisées par la suite.

4.2. SECTEUR D'HAYZABIA

L'analyse diachronique des jeux de données de 2021 à 2023, couplée à l'observation des jeux d'images aériennes de ces mêmes périodes, permettent d'identifier cinq sites au sein du secteur d'Hayzabia qui présentent des évolutions (Illustration 20).



Illustration 20 - Différentiel LiDAR 2023-2021 et sites d'évolution identifiés dans le secteur d'Hayzabia
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

Sur le site le plus à l'est du secteur d'Hayzabia (site 1), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer la poursuite de l'activité « ravinement / glissement de terrain », avec la mobilisation d'environ 75 m³ de matériau provenant de la frange altérée des Turbidites de Makila, au niveau d'une cicatrice d'arrachement pré-existante (1 ; Illustration 21 et Illustration 22). Cette dernière recule jusqu'à 80 cm.

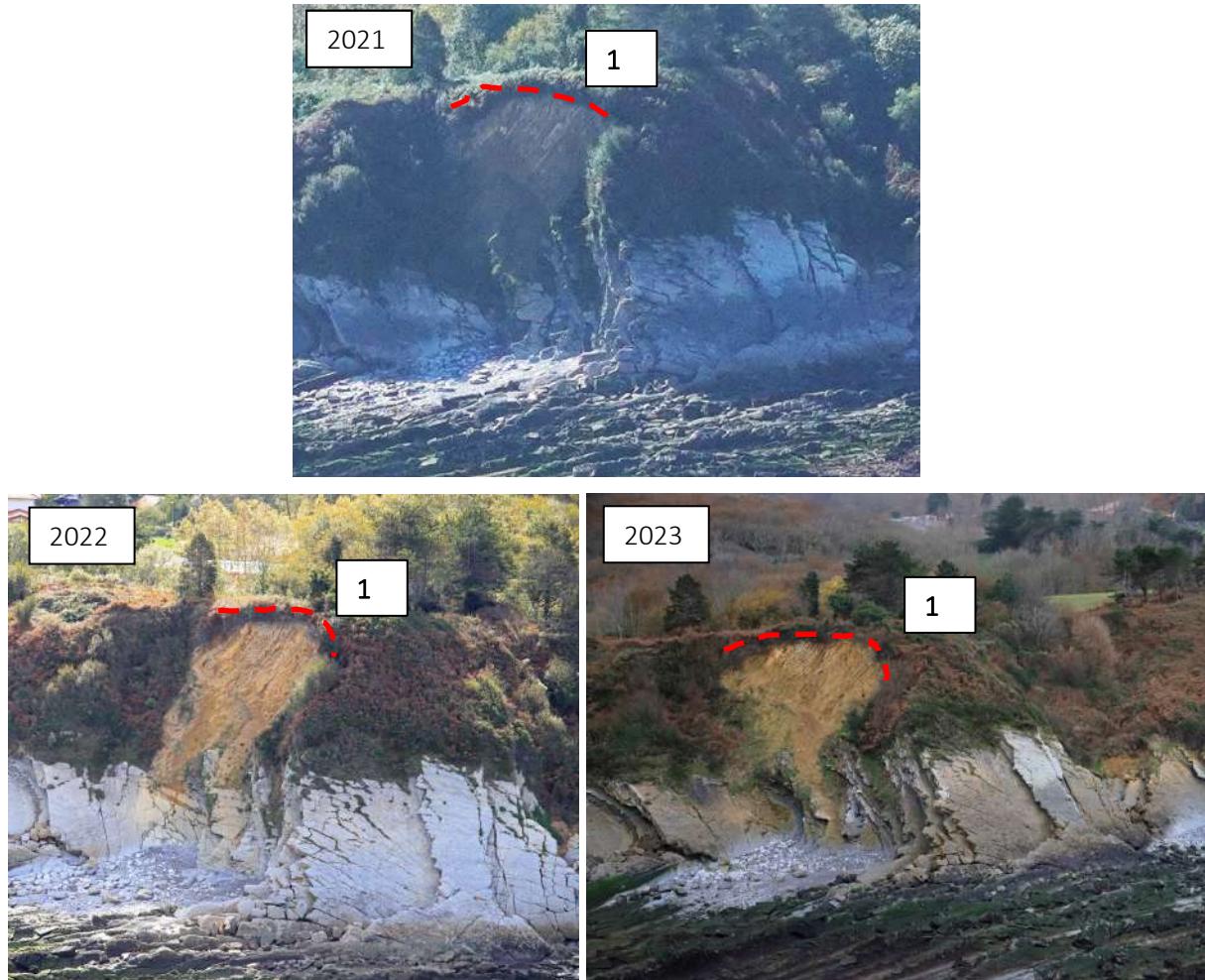
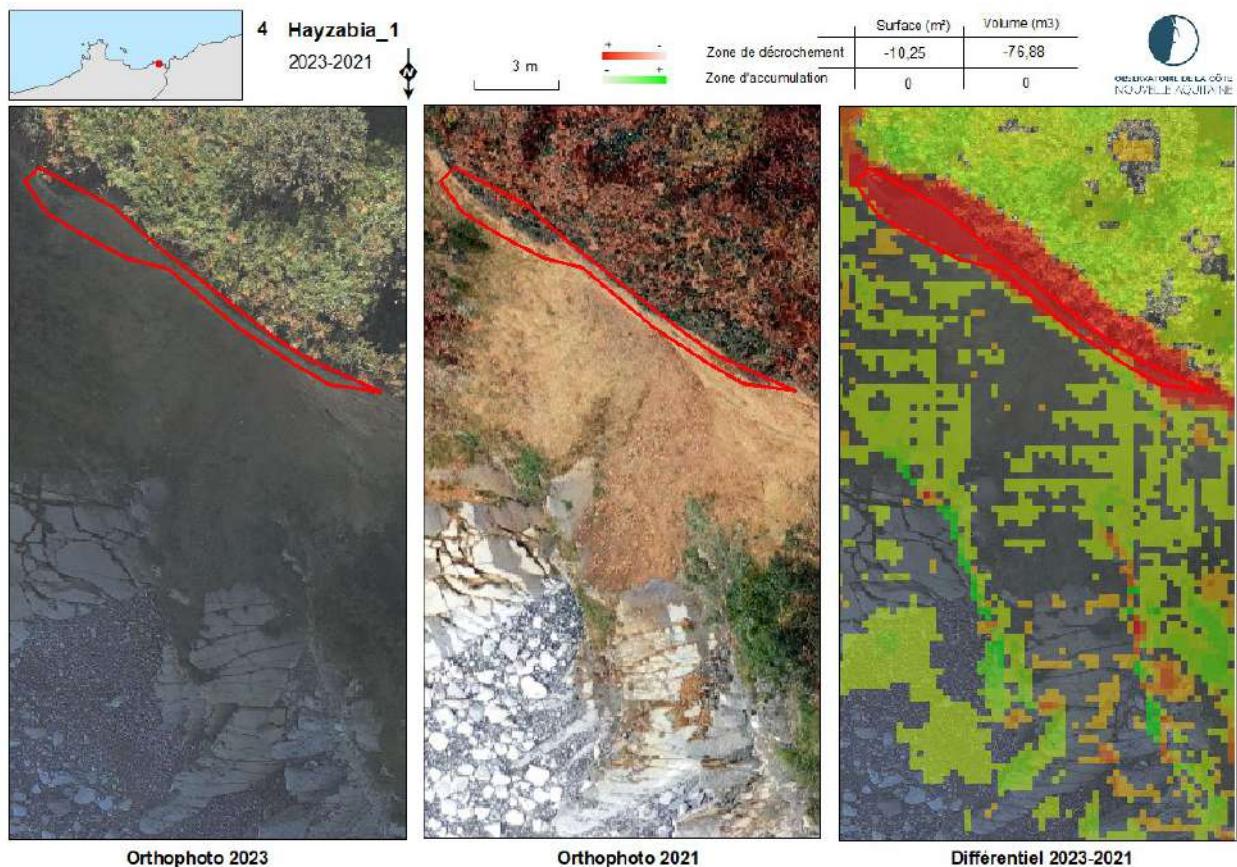


Illustration 21 - Evolution du premier site, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023, observée sur photographies aériennes (@Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; @Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)



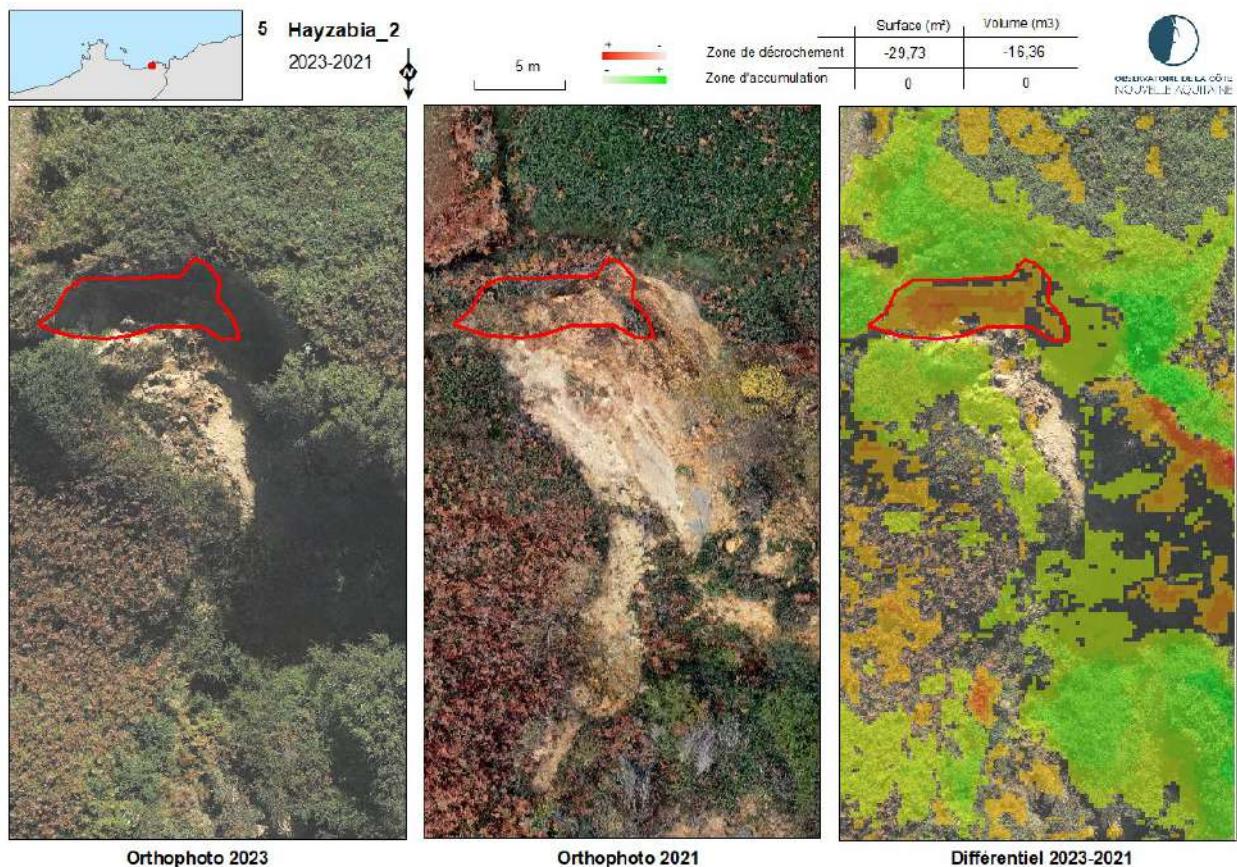
*Illustration 22 - Evolution du site 1, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*

Concernant le deuxième site du secteur d'Hayzabia, l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 met en évidence la poursuite de l'activité du glissement de terrain survenu le 10 novembre 2020, mobilisant 16 m³ de matériau altéré provenant des Turbidites de Makila (Illustration 23 et Illustration 24).

En 2020, le phénomène s'était traduit par un décrochement sur un linéaire d'une vingtaine de mètres, avec une niche d'arrachement sommitale sub-verticale de près de 5 mètres de hauteur (Illustration 14).



Illustration 23 - Evolution du site 2, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023, observée sur photographies aériennes (@Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; @Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)



*Illustration 24 - Evolution du site 2, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*

Sur le troisième site du secteur d'Hayzabia, l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer :

- la chute d'un bloc d'environ 13 m³, à partir des bords libres d'une dalle de flysch. L'analyse des photographies obliques permet de restreindre l'occurrence de l'événement entre le 07 novembre 2021 et le 23 octobre 2022 (3a ; Illustration 25 et Illustration 26) ;
- la chute d'un bloc d'environ 7 m³ à partir des bords libres d'une dalle de flysch. L'analyse des photographies obliques permet de restreindre l'occurrence de l'événement entre le 23 octobre 2022 et le 12 décembre 2023 (3b ; Illustration 25 et Illustration 27).

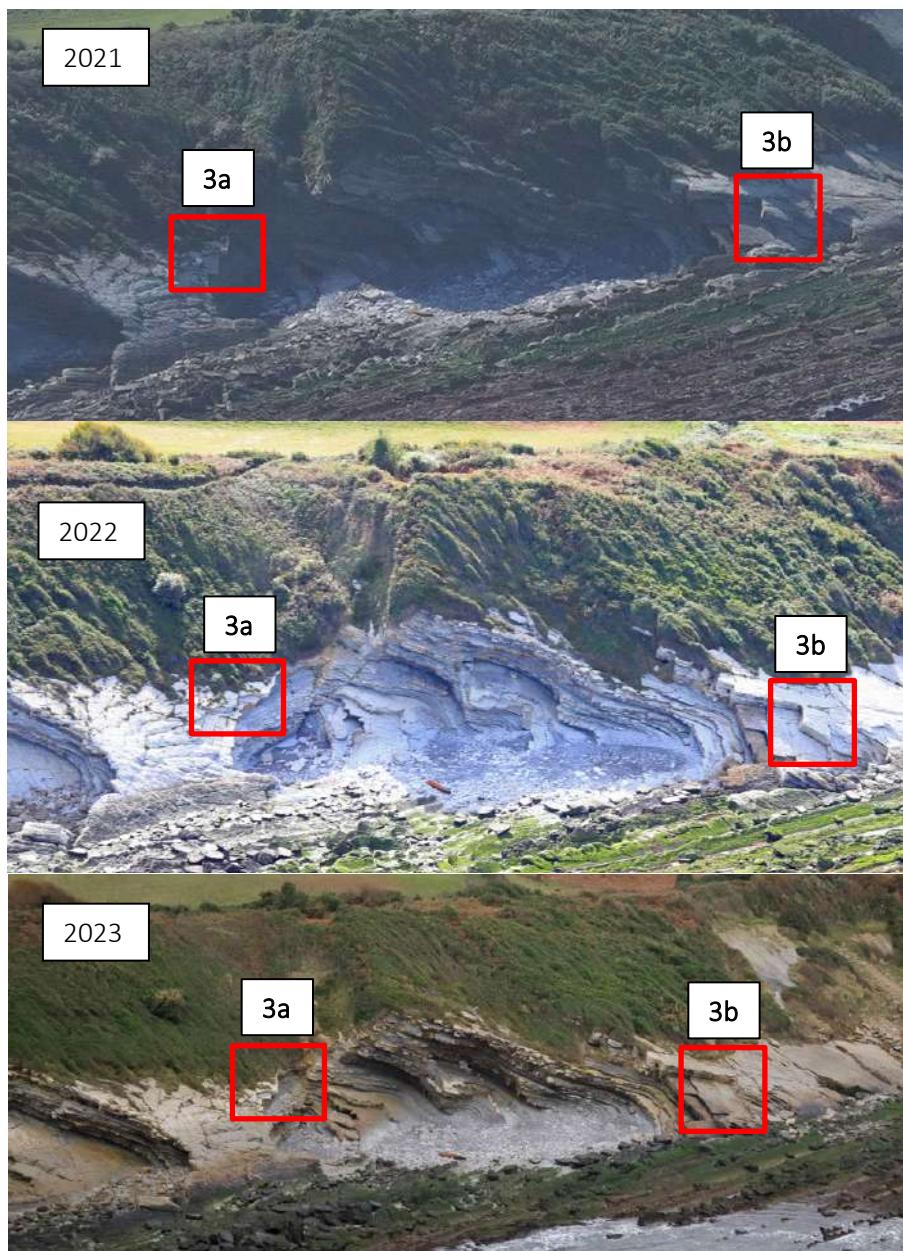
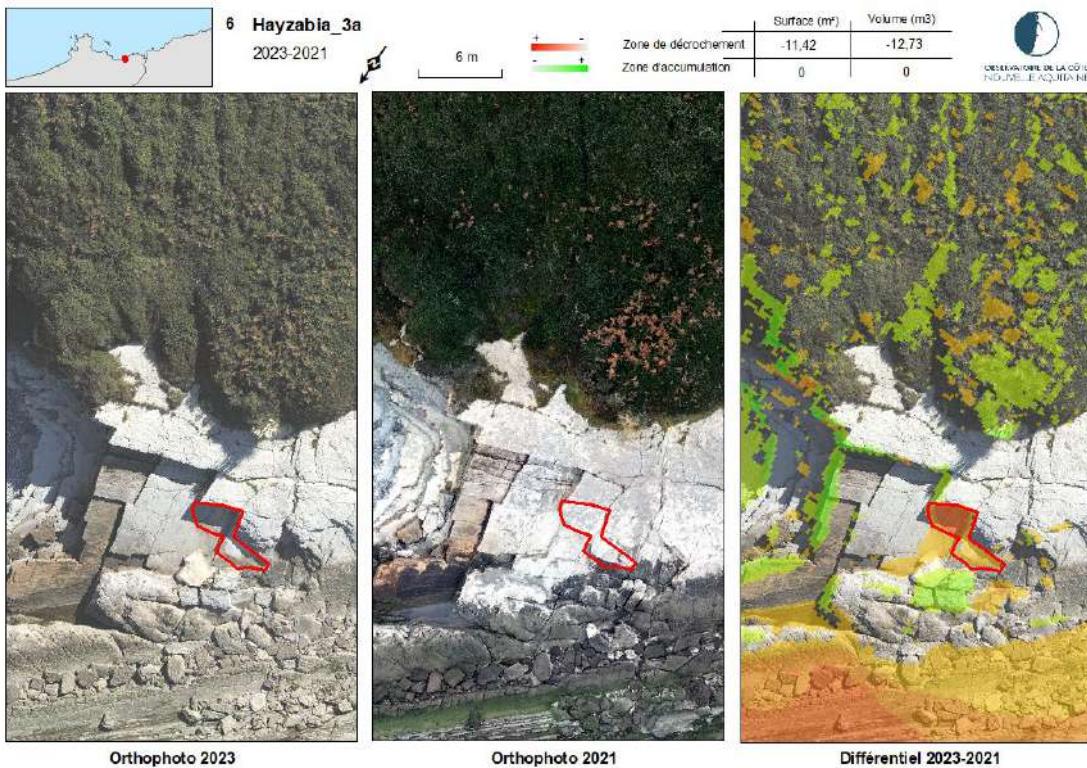
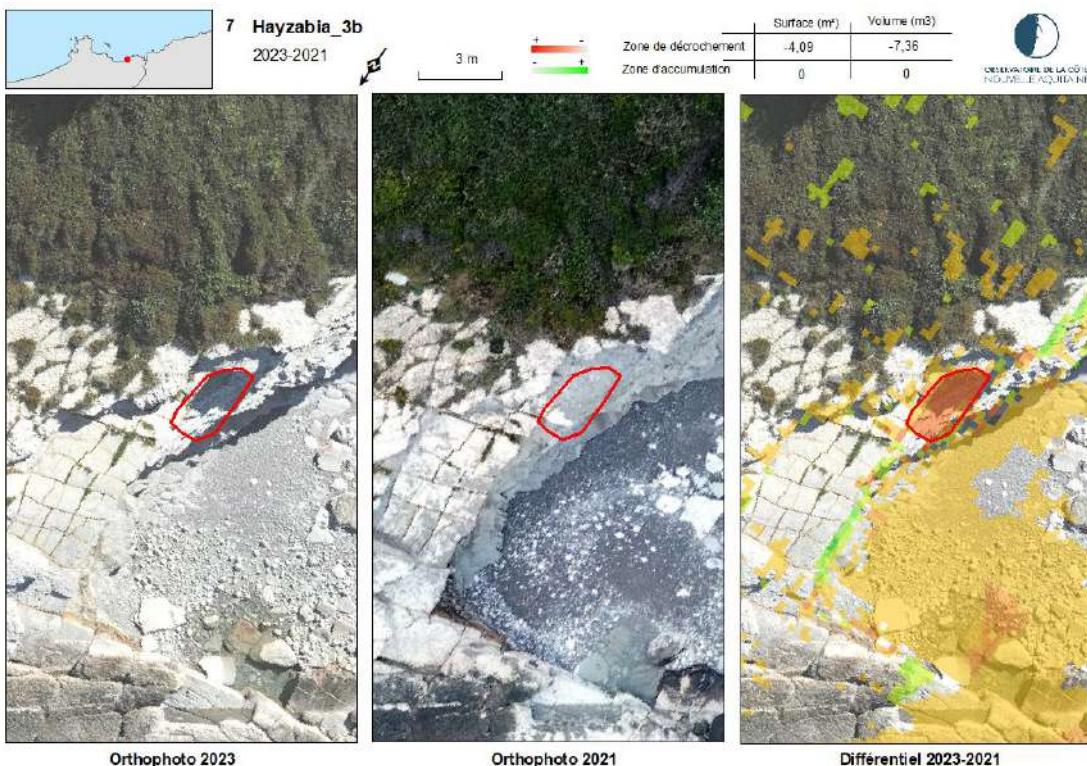


Illustration 25 - Evolution du site 3, dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023, observée sur photographies aériennes (@Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; @Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)



*Illustration 26 - Evolution du site 3a dans le secteur Hayzabia entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*



*Illustration 27 - Evolution du site 3b dans le secteur Hayzabia entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*

Pour le quatrième site du secteur d'Hayzabia, l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer :

- un glissement de la couverture meuble, caractérisé par un décrochement en sommet de falaise passant de 3 mètres de large en 2021 à 7 mètres en 2023. Ce glissement est accompagné d'une rupture de plusieurs dalles de flysch en pied de falaise, en position de surplomb, sur une hauteur de 13 mètres et mobilisant au total environ 500 m³ (Illustration 28). L'analyse des photographies obliques permet de restreindre l'occurrence de cette rupture du pied de falaise entre le 23 octobre 2022 et le 12 décembre 2023 (4a, Illustration 29) ;
- un deuxième glissement "banc sur banc", mobilisant une dalle de flysch en surplomb d'environ 50 cm d'épaisseur pour un total de 90 m³ (Illustration 30). L'analyse des photographies obliques permet de restreindre l'occurrence de ce phénomène entre le 23 octobre 2022 et le 12 décembre 2023 (4b, Illustration 29 et Illustration 30) ;
- la remobilisation par les vagues de bancs de flyschs précédemment éboulés. Le volume mobilisé est de l'ordre de 25 m³ (Illustration 31).

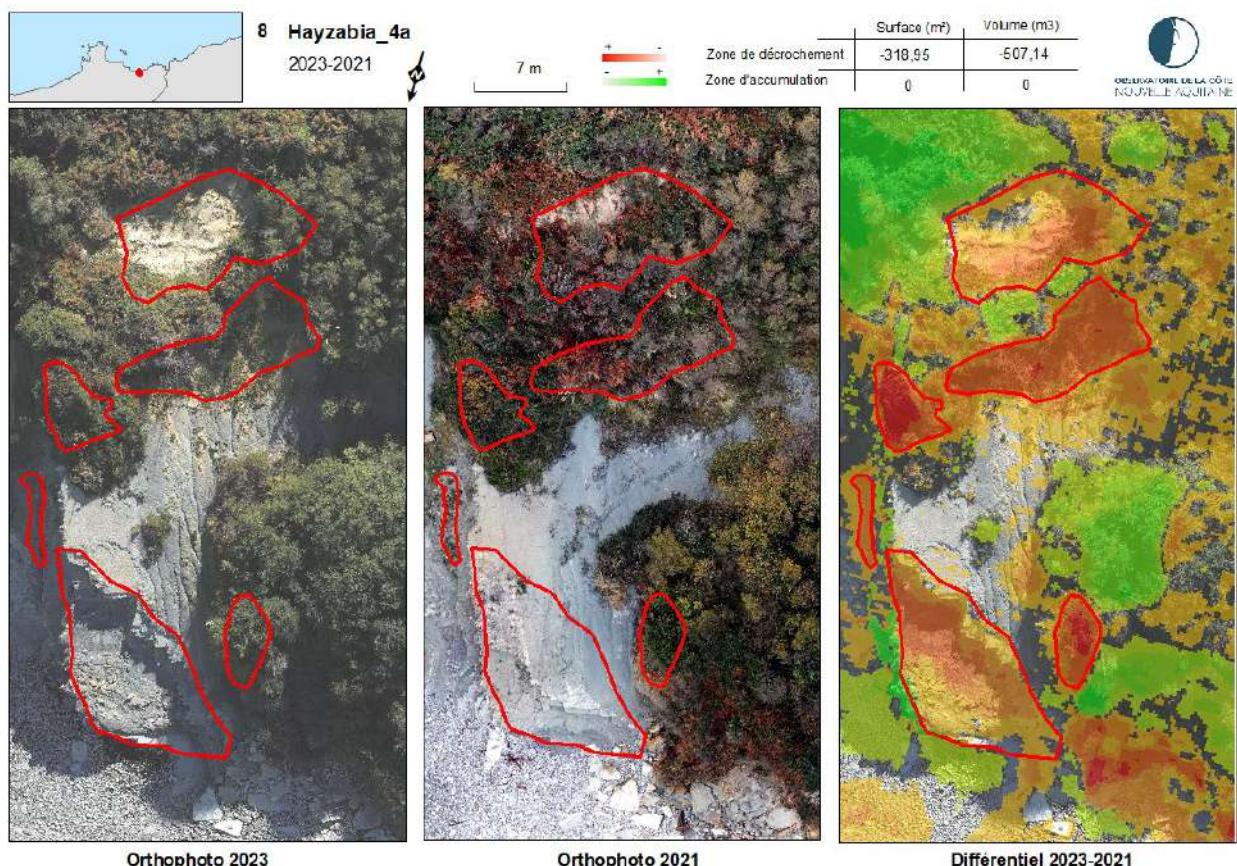


Illustration 28 - Evolution du site 4a dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (@Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

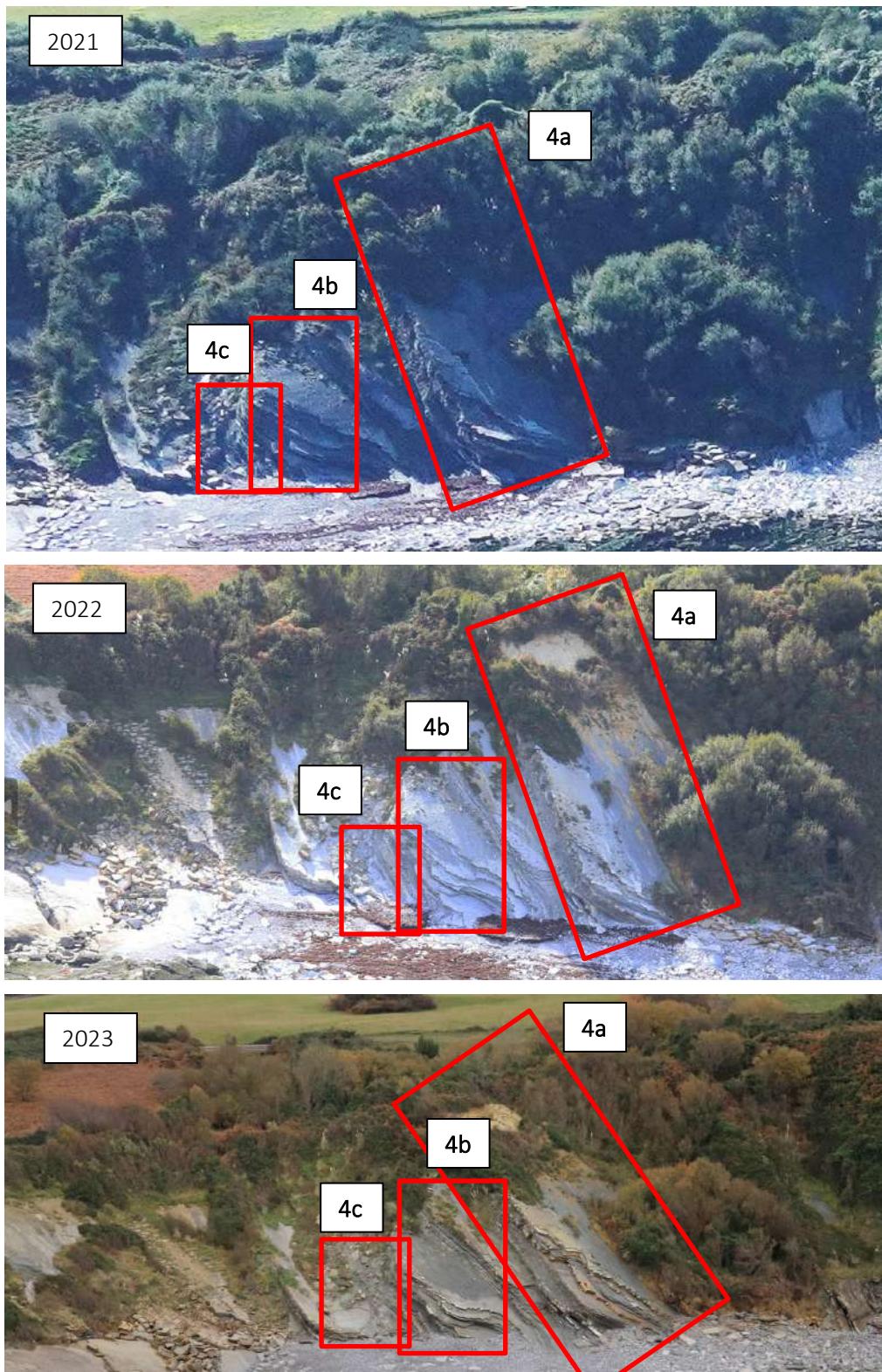
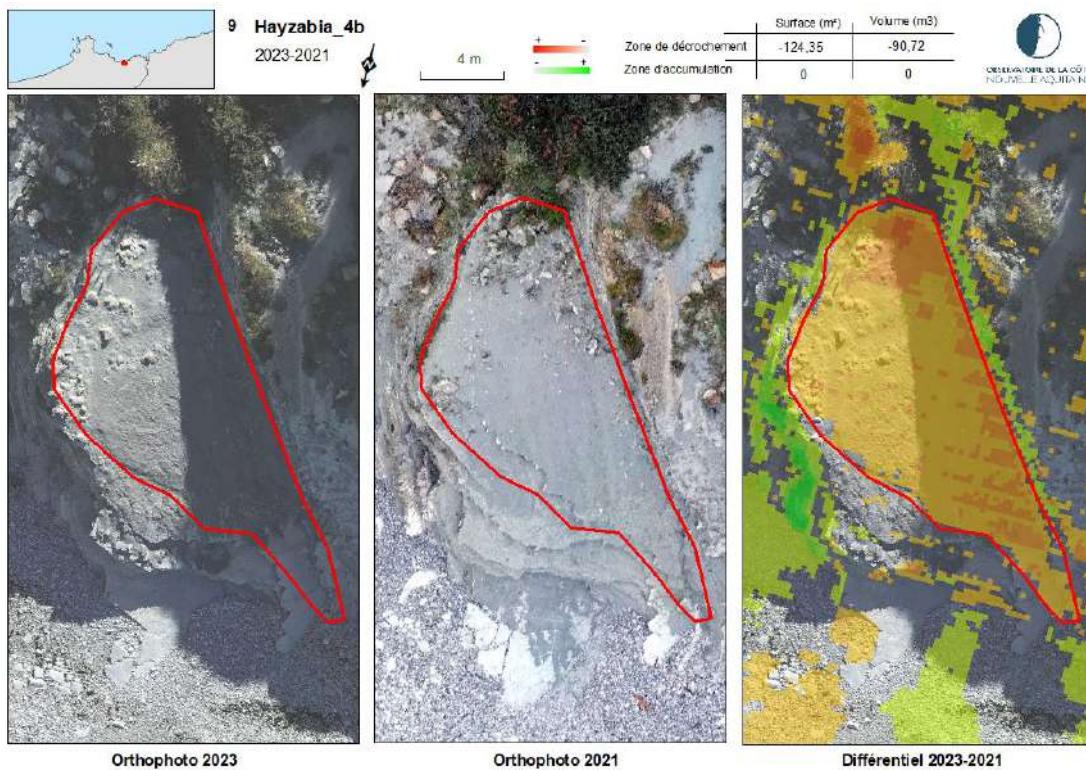
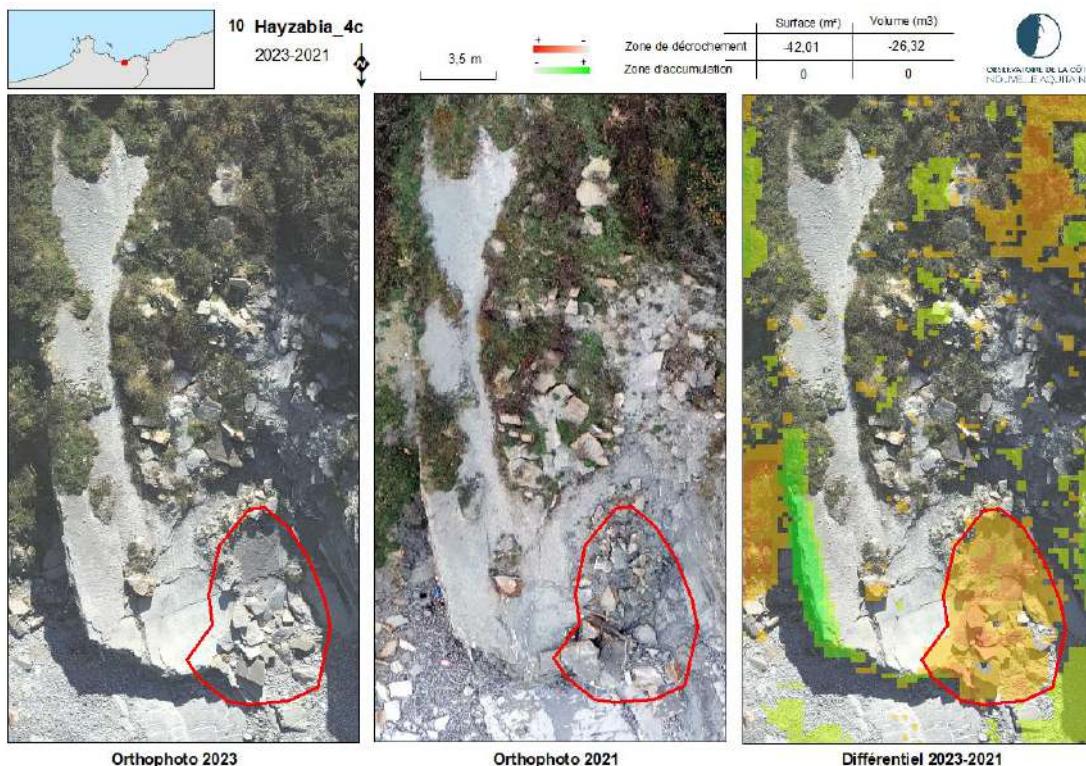


Illustration 29 - Evolution du site 4 dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; @Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)



*Illustration 30 - Evolution du site 4b dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*



*Illustration 31 - Evolution du site 4c dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*

Enfin, l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 met en évidence l'évolution d'un cinquième site dans le secteur d'Hayzabia, avec la rupture de dalles de flysch en partie basse de la falaise et le glissement de terrain "banc sur banc", en partie supérieure. Entre 2021 et 2023, cette évolution mobilise environ 1 200 m³ de marno-calcaires (Illustration 32 et Illustration 33).

L'analyse des nuages de points permet d'obtenir le volume d'un compartiment d'un volume de 140 m³ et une surface de 350 m² (soit une épaisseur de dalle de 40 cm) (Illustration 34).

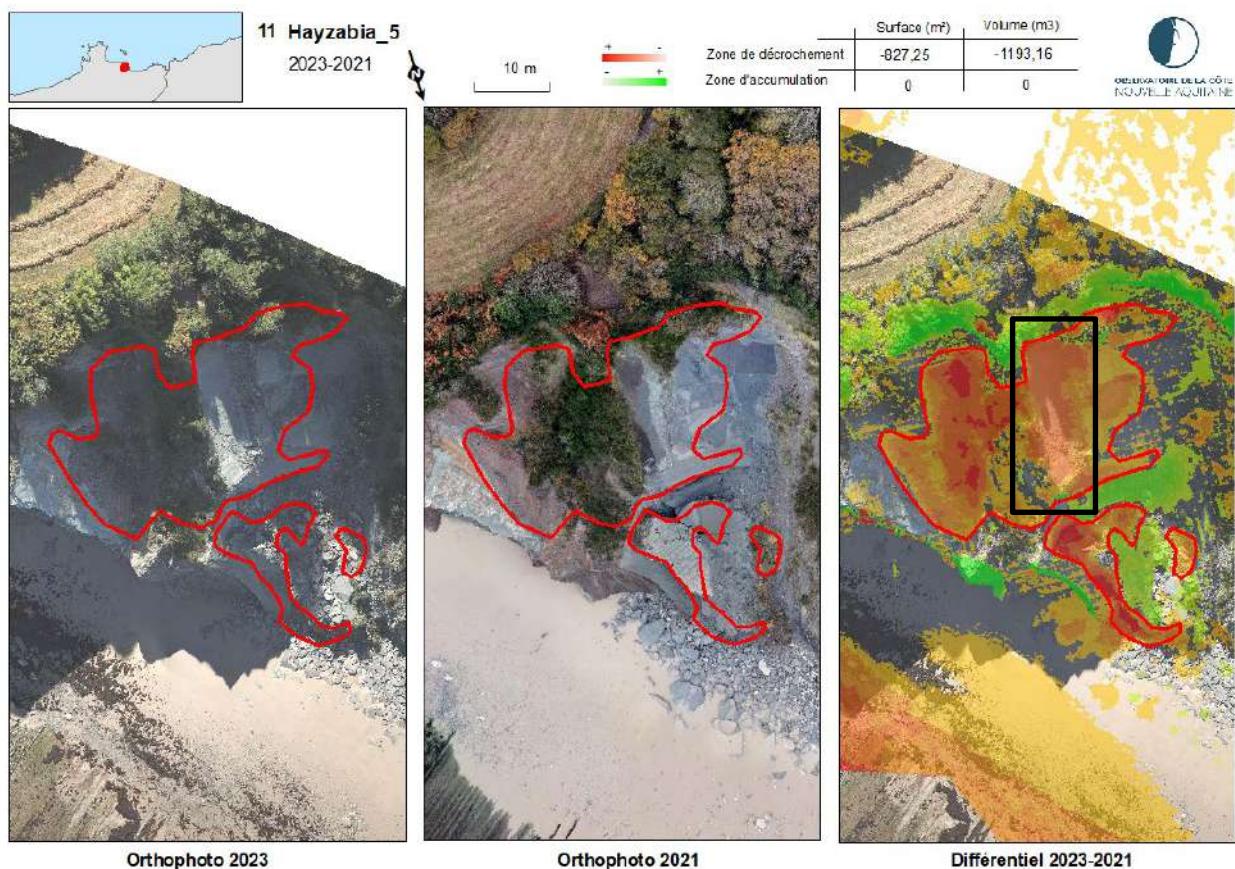


Illustration 32 - Evolution du site 5 dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (encadré noir : localisation du compartiment traité par analyse des nuages de point via Cloudcompare ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)



Illustration 33 - Evolution du site 5 dans le secteur d'Hayzabia entre 2021 et 2023 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; @Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)

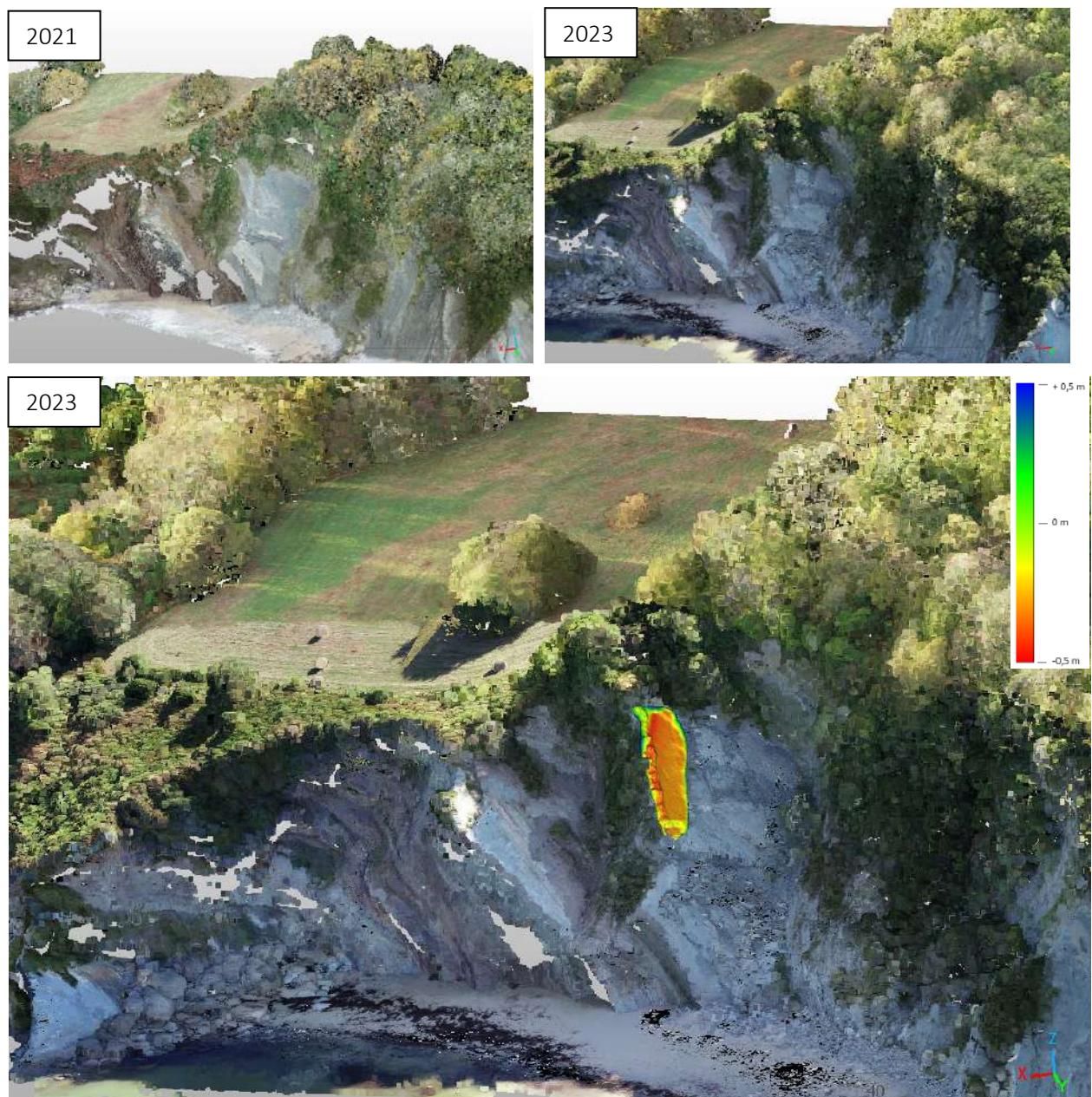


Illustration 34 - Vue en 3D et analyse d'une partie du glissement du site 5 de Hayzabia
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)

4.3. SECTEUR DE LA BAIE DE LOYA

L'analyse différentielle des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer les évolutions de quatre sites au sein du secteur de la baie de Loya (Illustration 20 et Illustration 35).

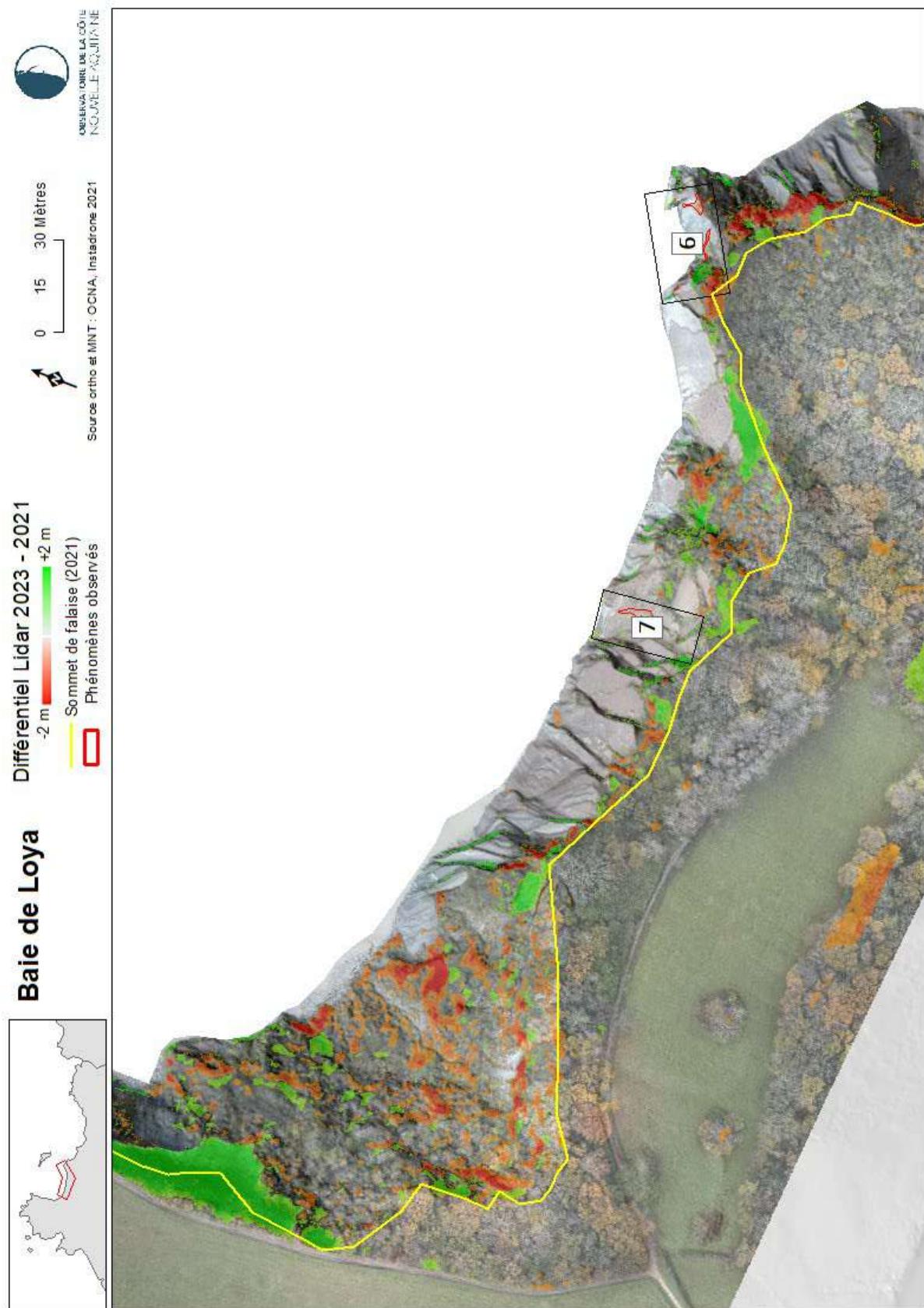


Illustration 35 - Différentiel LiDAR 2023-2021 et sites d'évolution identifiés dans le secteur de la baie de Loya
©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

Pour le premier site du secteur de la baie de Loya (site 6), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer :

- la chute de blocs à partir des bords libres d'une dalle de flysch, mobilisant environ 6 m³ (6a, Illustration 36) ;
- le glissement "banc sur banc" d'une dalle de flysch en surplomb, d'environ 14 m³ (Illustration 38). L'analyse des photographies obliques permet d'observer l'évolution de ce phénomène entre le 23 octobre 2022 et le 12 décembre 2023 (6b, Illustration 36).

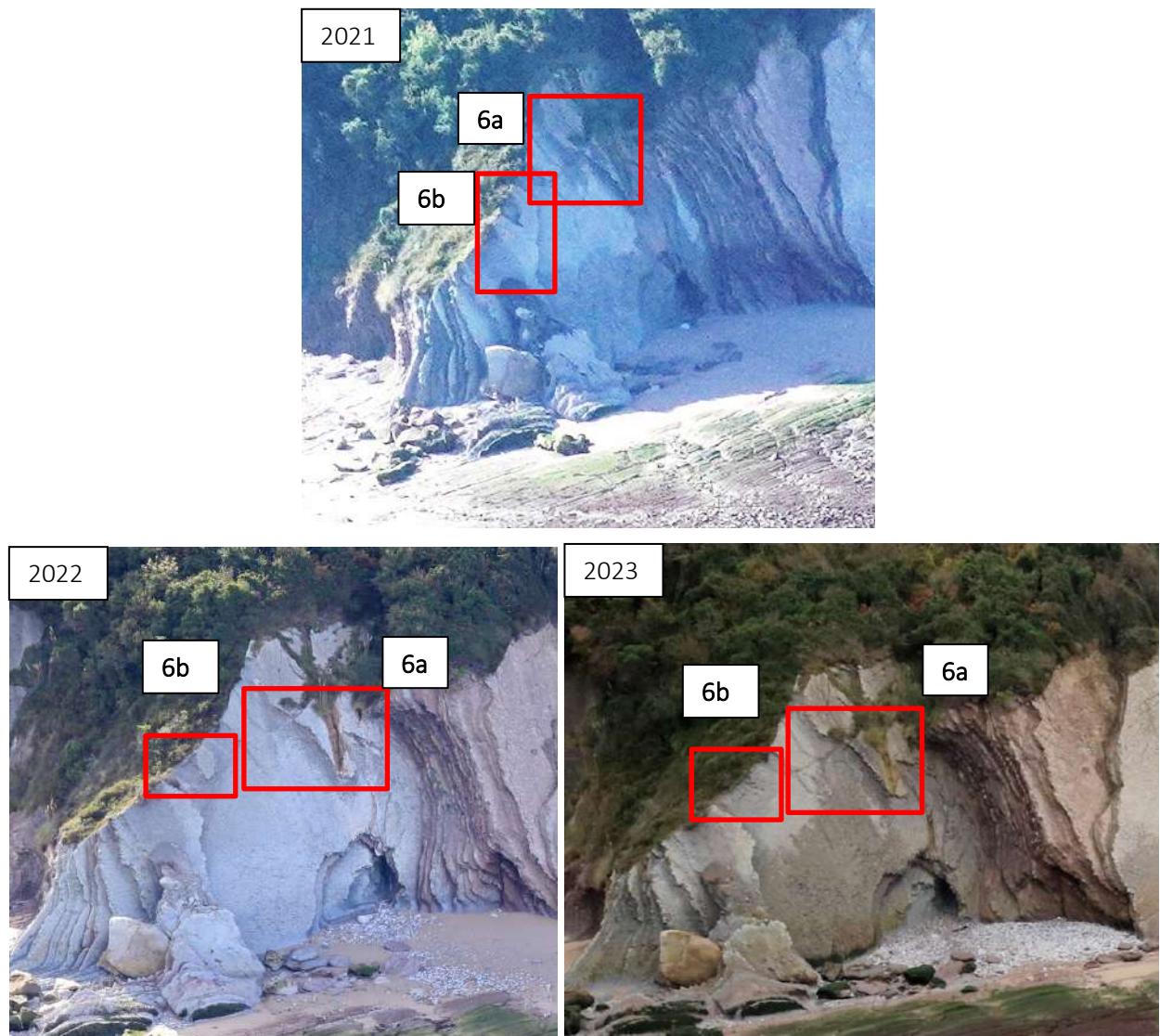
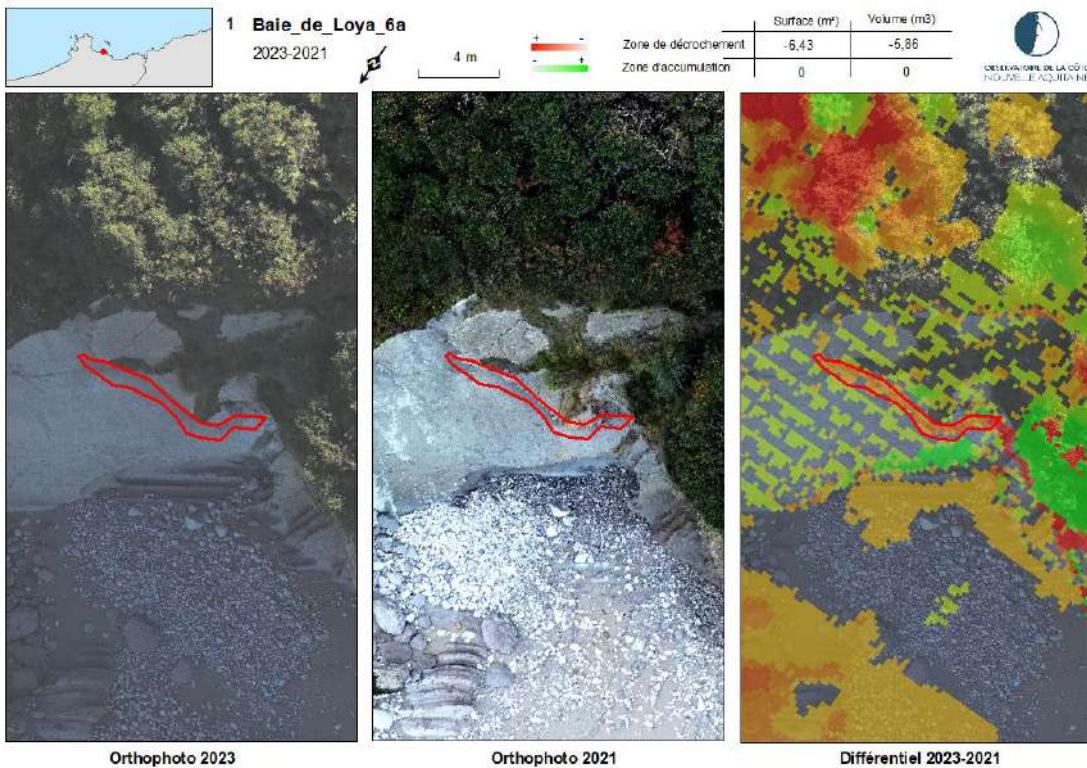
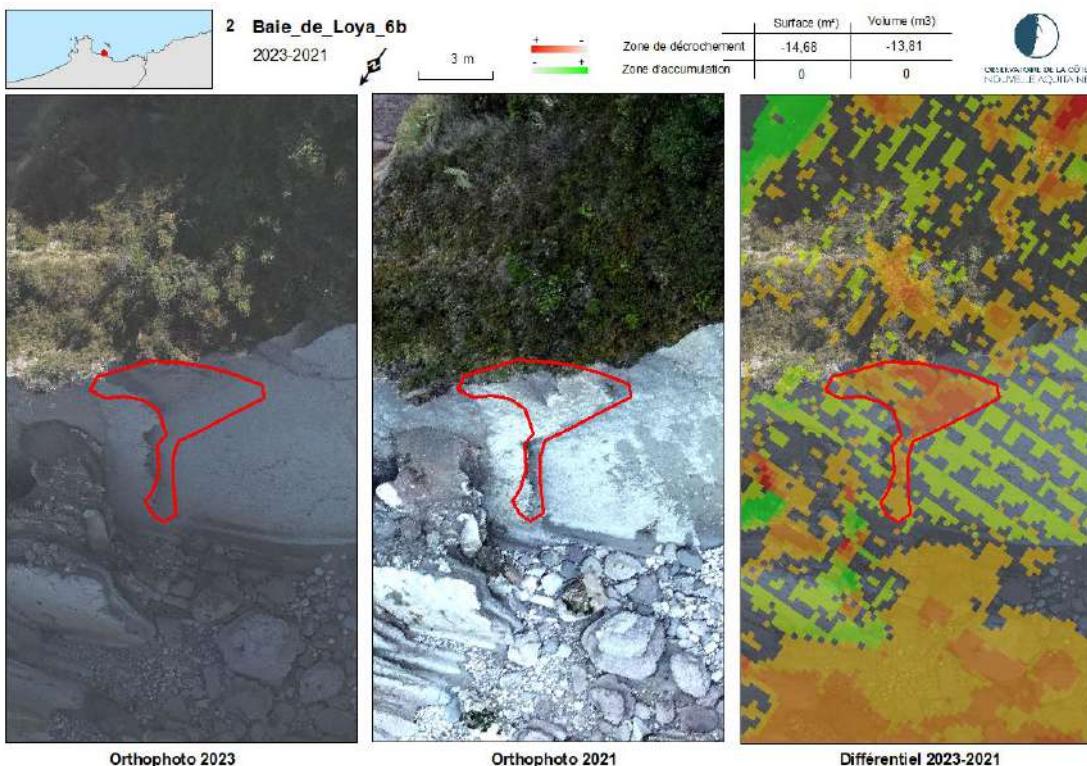


Illustration 36 - Evolution des sites 6a et 6b du secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)

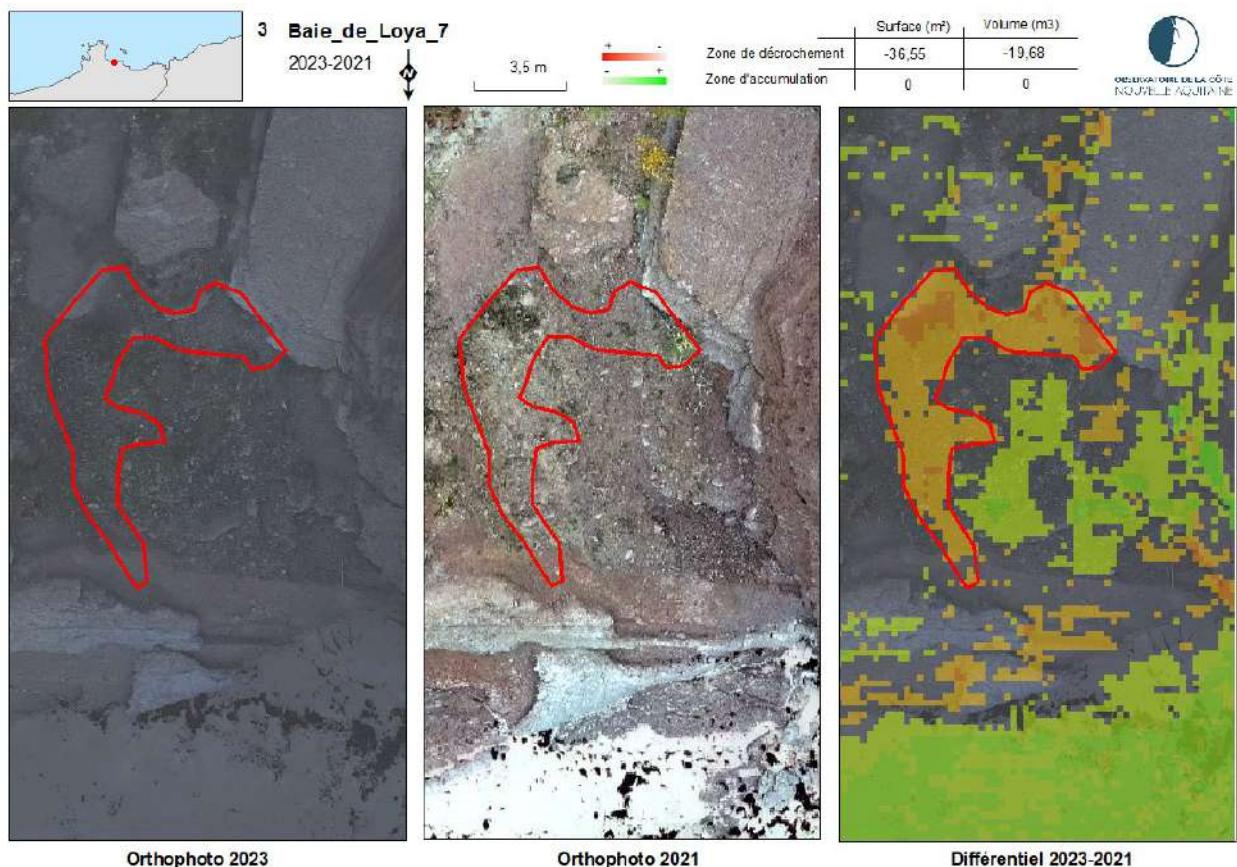


*Illustration 37 - Evolution du site 6a dans le secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*



*Illustration 38 - Evolution du site 6b dans le secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*

Concernant le deuxième site du secteur de la baie de Loya (site 7), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 met en évidence la remobilisation d'environ 20 m³ de matériaux marno-calcaire précédemment glissés (Illustration 39 et Illustration 40).



*Illustration 39 - Evolution du site 7 dans le secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*



Illustration 40 - Evolution du site 7 dans le secteur de la baie de Loya entre 2021 et 2023, observée sur photographies aériennes (@Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; @Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)

4.4. SECTEUR DE LA POINTE SAINTE-ANNE

L'analyse différentielle des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer les évolutions de sept sites au sein du secteur de la Pointe Sainte-Anne (Illustration 41).

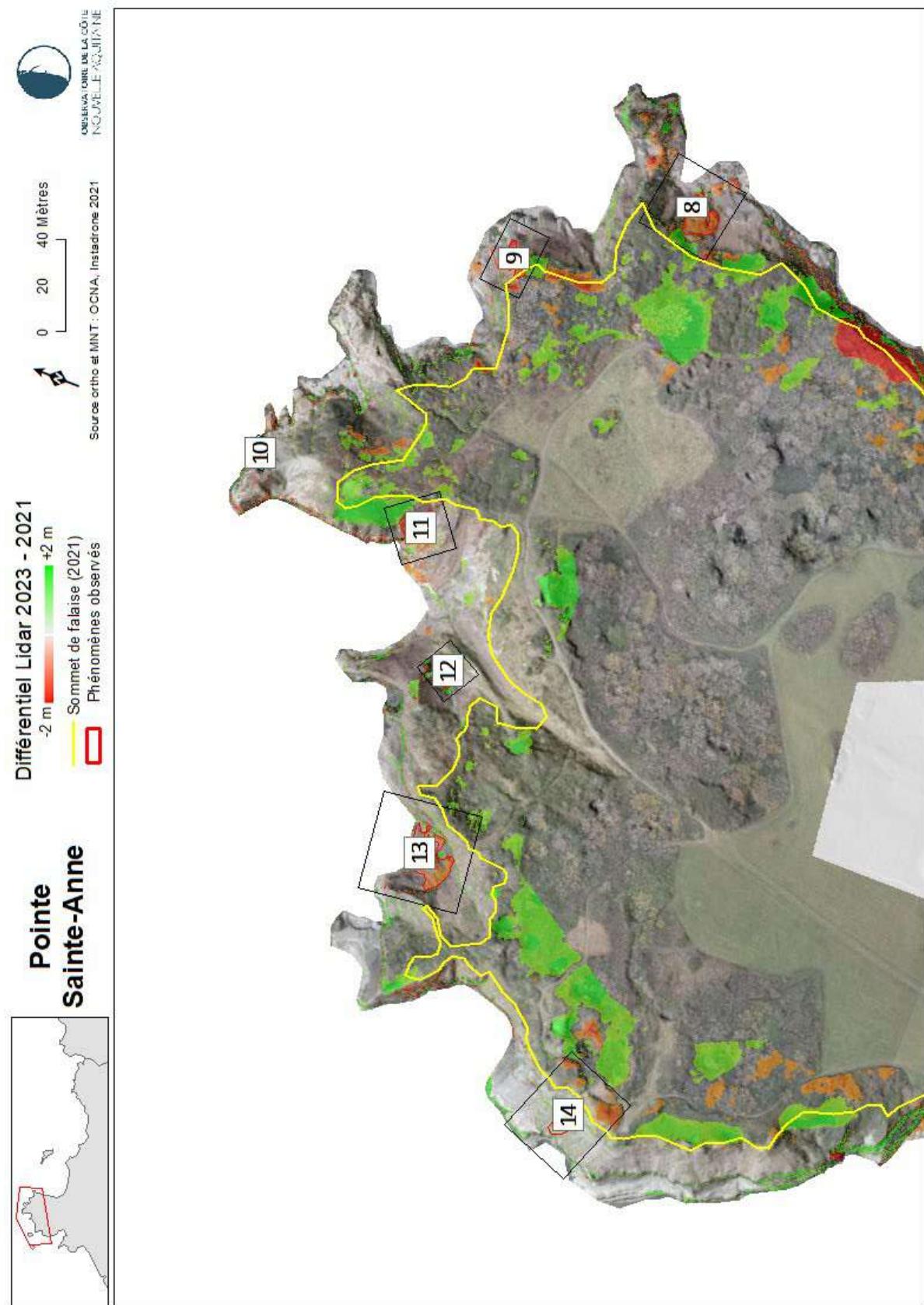
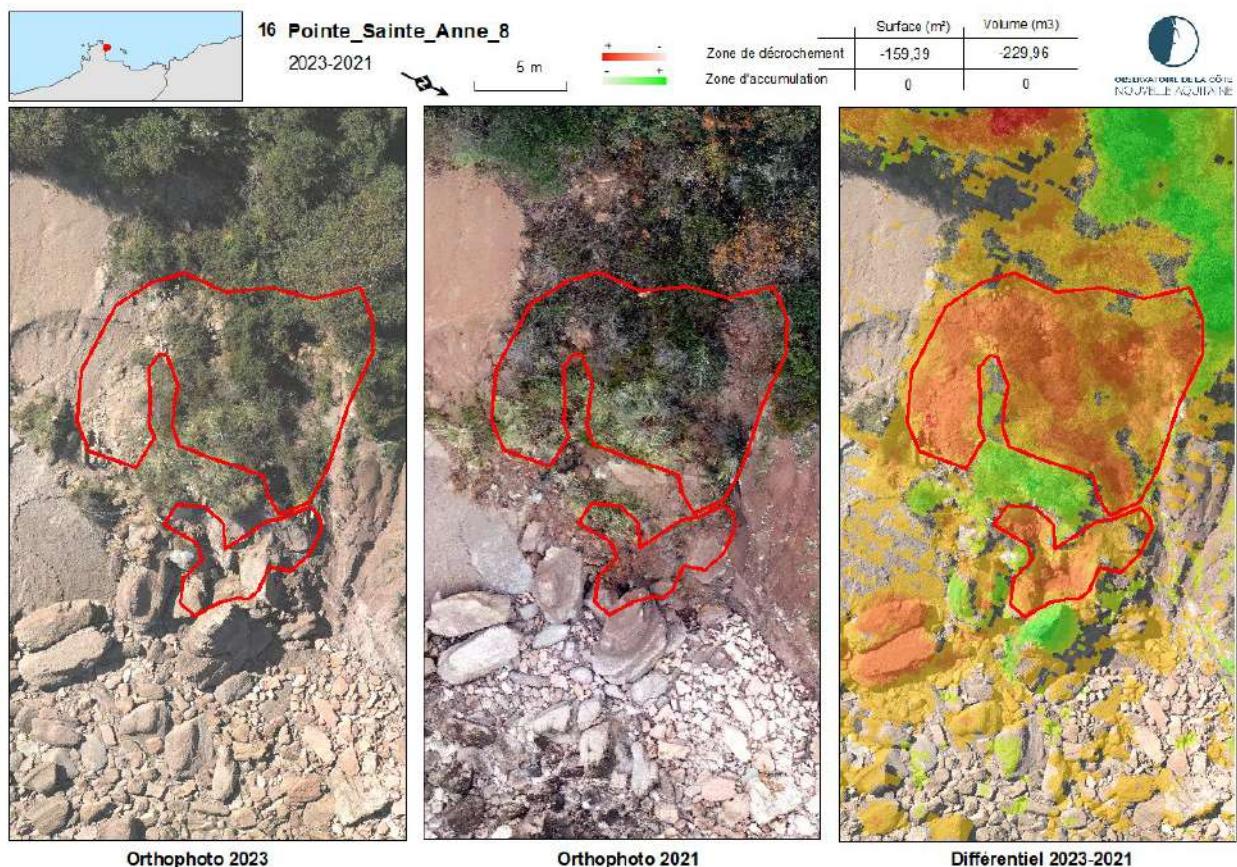


Illustration 41 - Différentiel LiDAR 2023-2021 ; sites d'évolution identifiés dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

Pour le premier site du secteur de la Pointe Sainte-Anne (site 8), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer l'évolution d'un glissement de terrain mixte d'environ 230 m³, composé de marnes de Bidart (Illustration 42 et Illustration 43).



*Illustration 42 - Evolution du site 8 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*

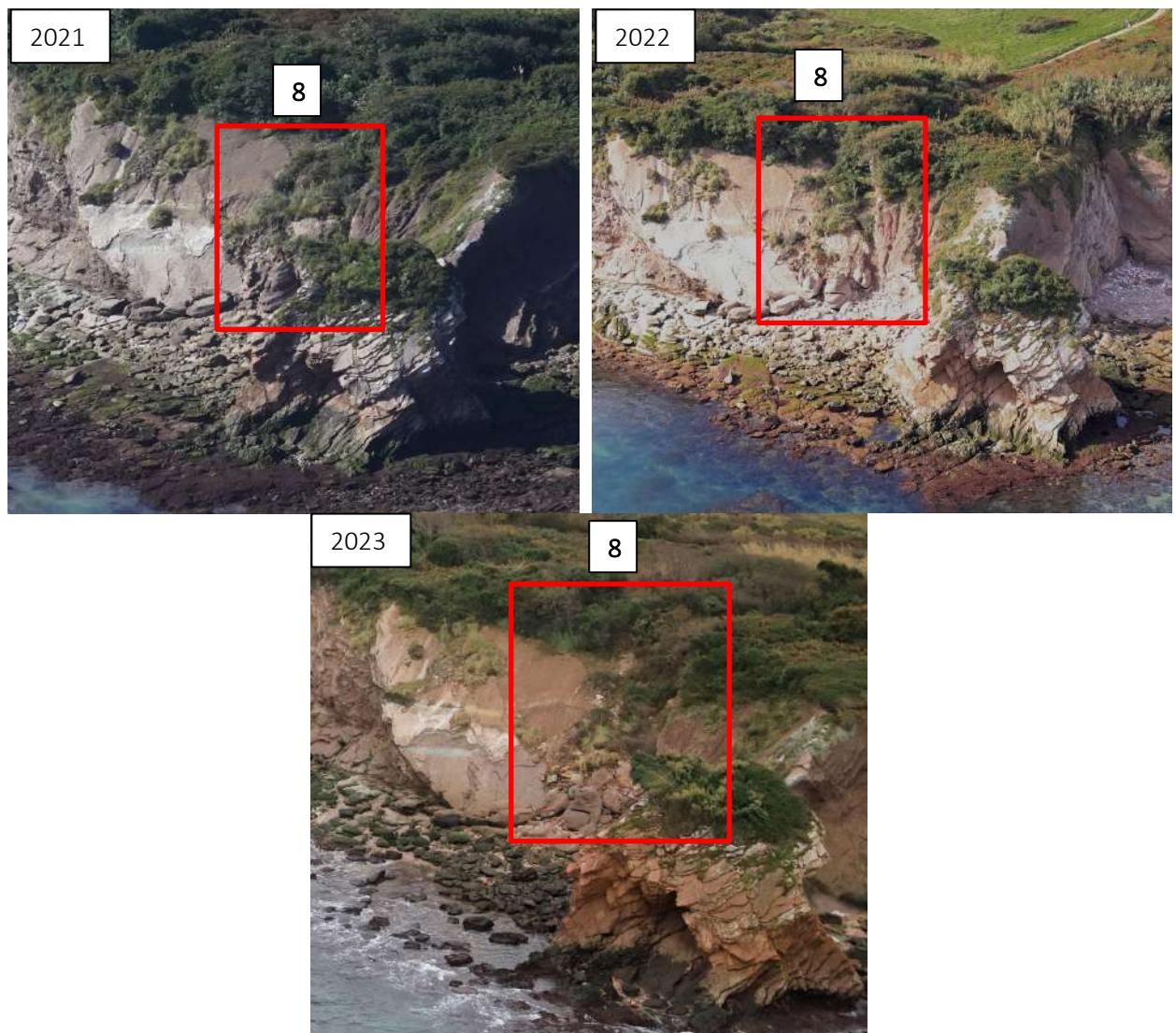


Illustration 43 - Evolution du site 8 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)

Dans le deuxième site du secteur de la Pointe Sainte-Anne (site 9), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer l'occurrence d'un éboulement suivi d'un glissement de la couverture meuble, mobilisant, depuis le sommet de falaise, environ 460 m³ de marnes altérées (Illustration 44 et Illustration 45).

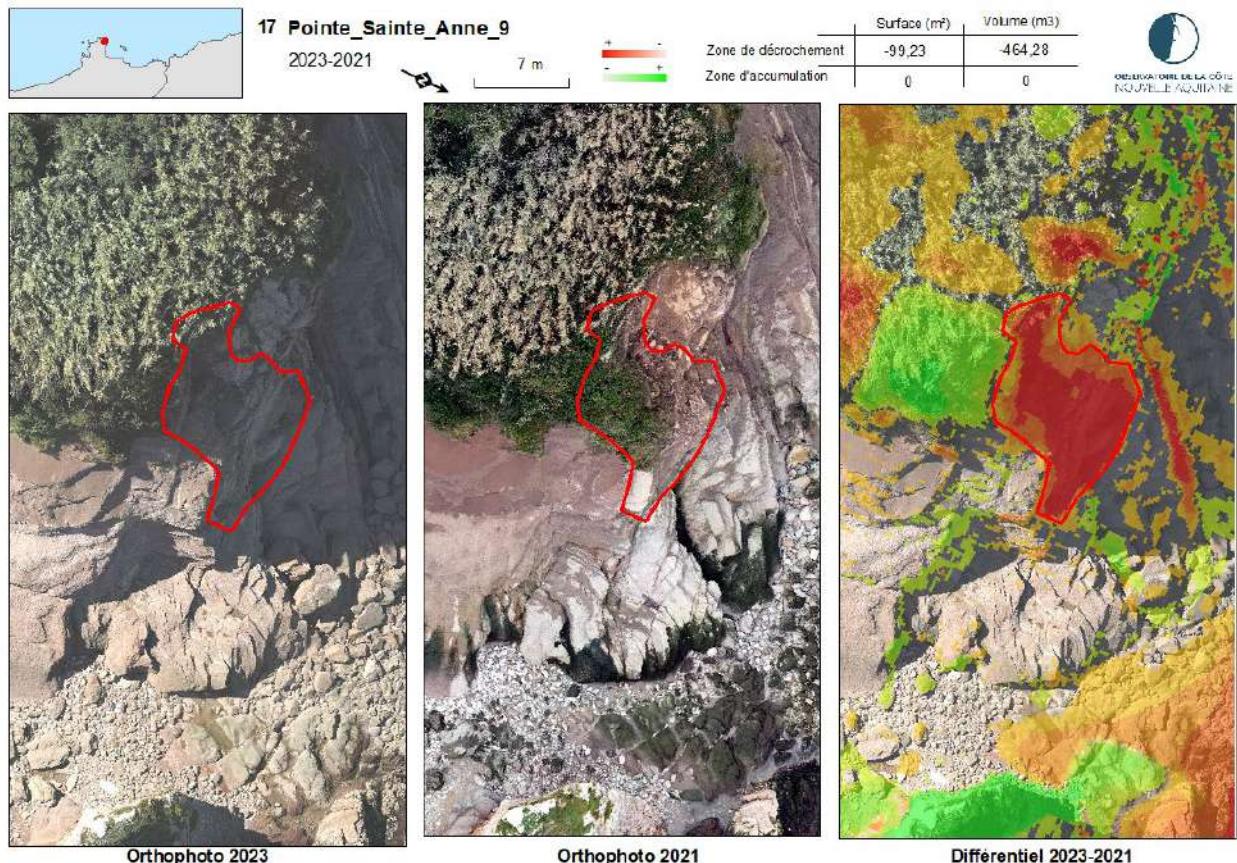


Illustration 44 - Evolution du site 9 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

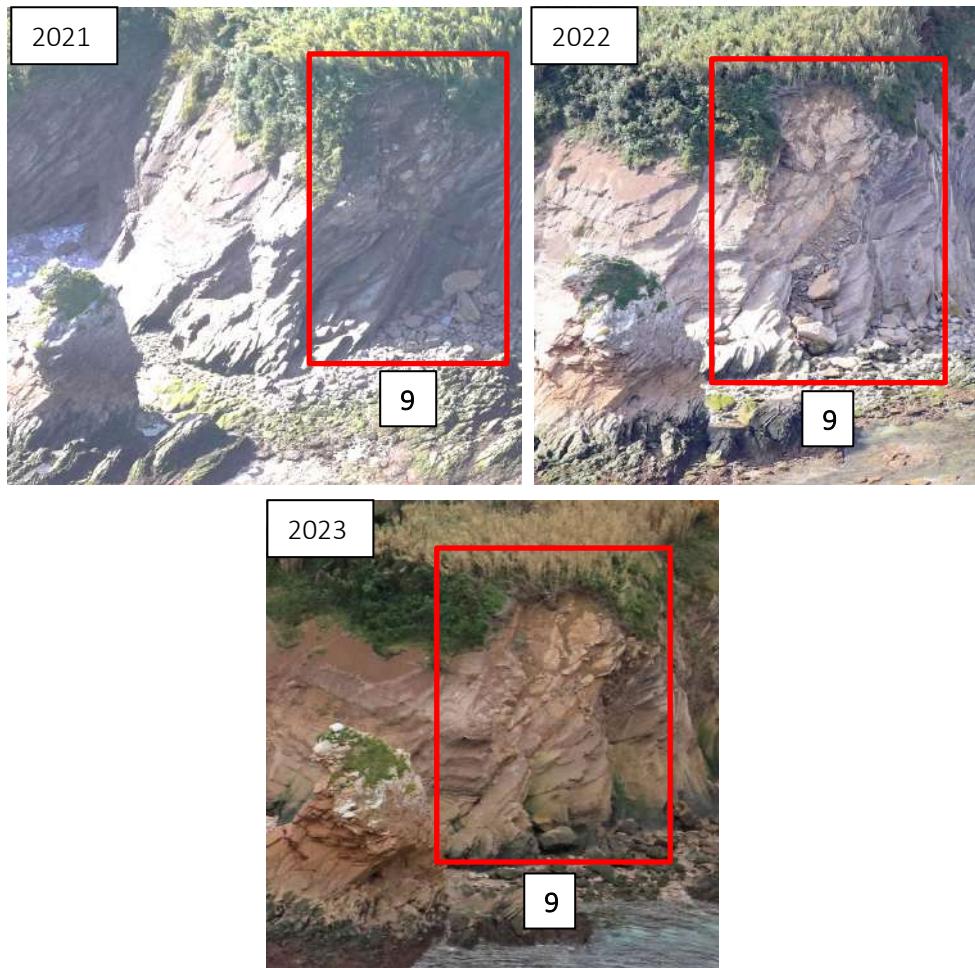
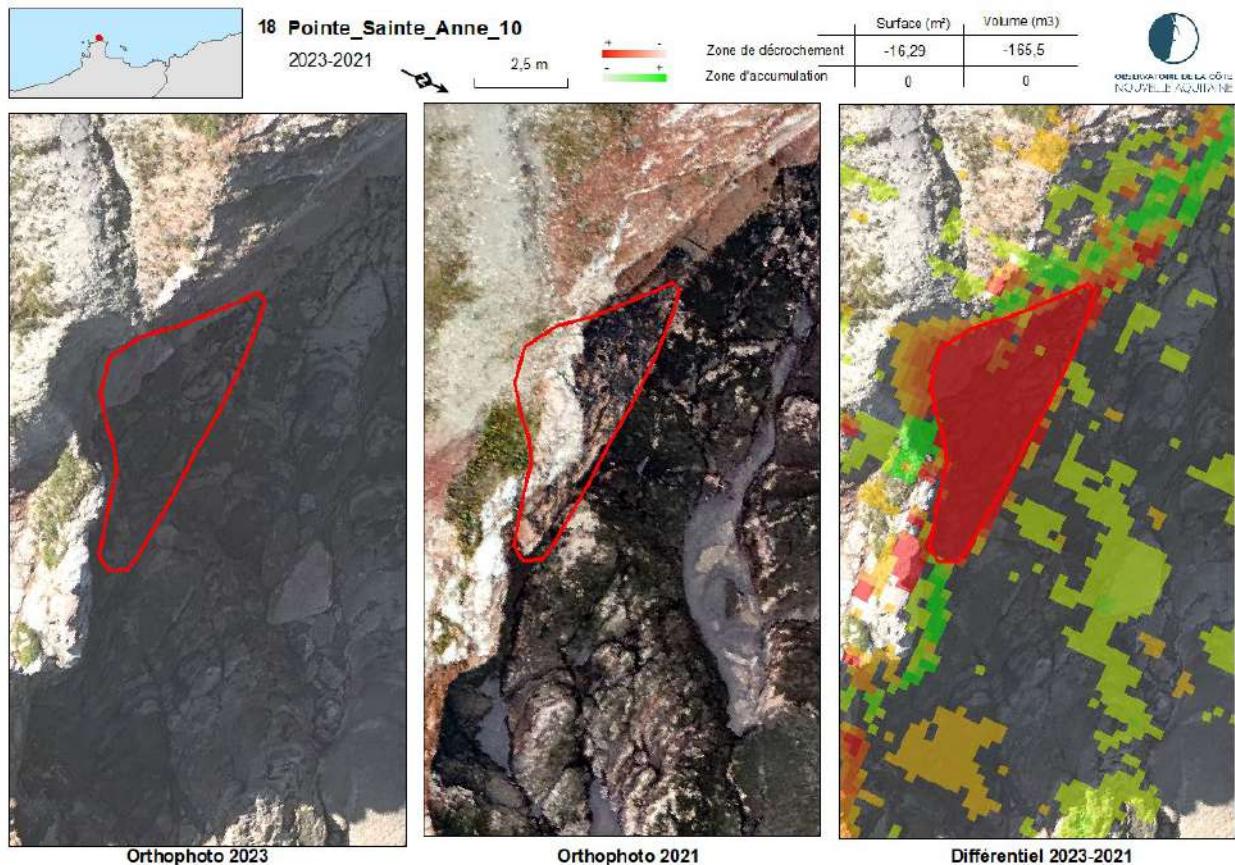


Illustration 45 - Evolution du site 9 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (@Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)

Concernant le troisième site du secteur de la Pointe Sainte-Anne (site 10), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 à partir du SIG montre la chute d'un compartiment rocheux d'environ 165 m³ (Illustration 46).

Néanmoins la vue nadirale sous SIG n'est pas idéale pour caractériser cette chute de bloc qui se situe sur un pan de falaise sub-vertical. La zone sur le différentiel MNT associe une partie sommitale et une seconde plus basse. Une analyse complémentaire à partir des nuages de points aurait été pertinente pour mieux appréhender ce cas. Malheureusement, ce secteur présente des absences de données dans les nuages de points, ne permettant pas de procéder à une analyse complémentaire (Illustration 47).

A noter que l'analyse des photographies obliques fait la preuve de l'occurrence de l'événement entre le 07 novembre 2021 et le 23 octobre 2022 (Illustration 48).



**Illustration 46 - Evolution du site 10 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023
(@Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)**

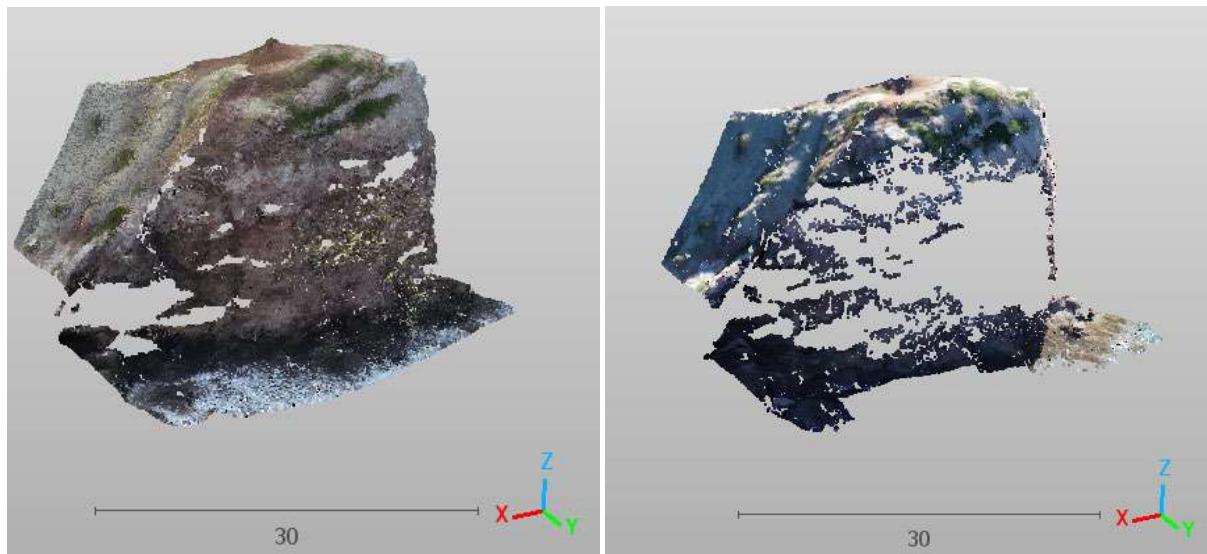


Illustration 47 - Nuage de points 2021 à gauche et 2023 à droite, affichant des absences de données, pour le site 10 (Pointe Sainte-Anne ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)

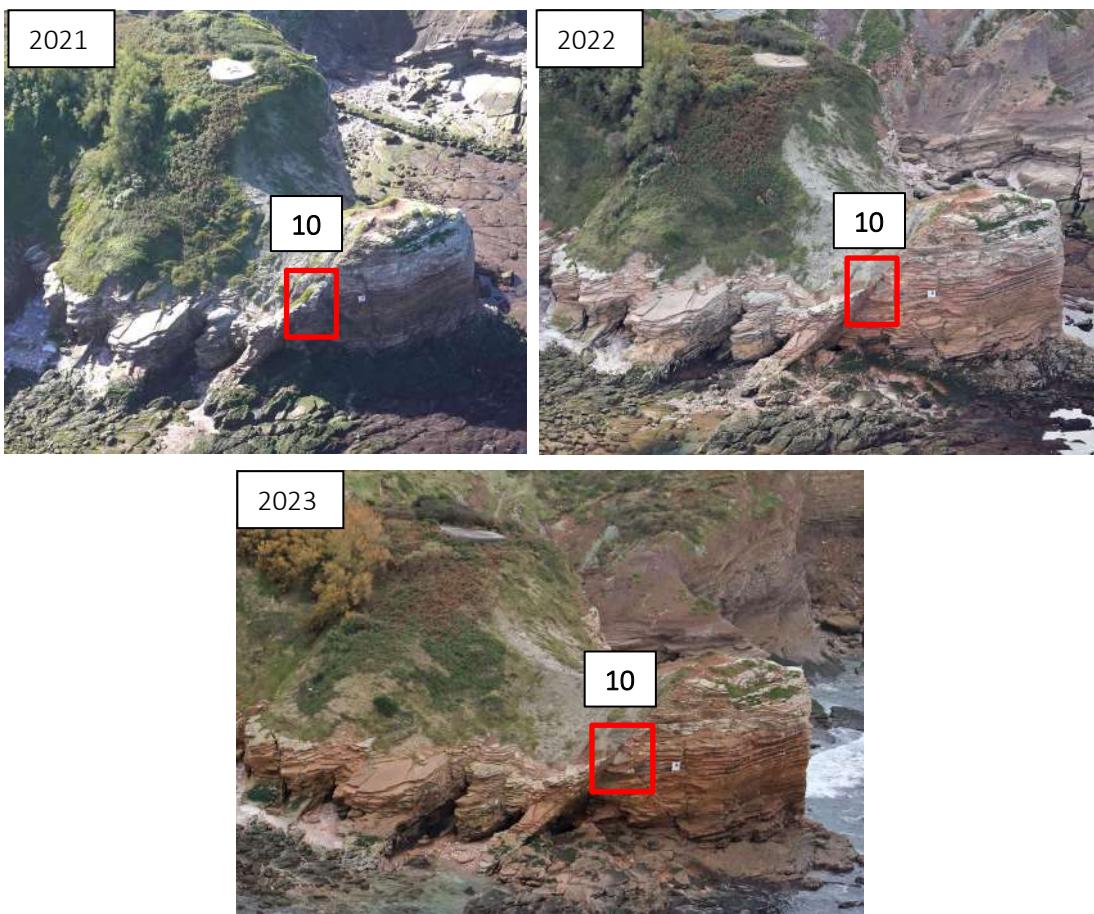


Illustration 48 - Evolution du site 10 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)

Pour le quatrième site du secteur de la Pointe Sainte-Anne (site 11), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer l'extension latérale du glissement de terrain de décembre 2019 (Illustration 12), mobilisant un volume d'environ 270 m³ de marnes. Ce phénomène a entraîné localement un recul de 5 mètres du sommet de la falaise sur une longueur de 7 mètres (Illustration 46 et Illustration 49).

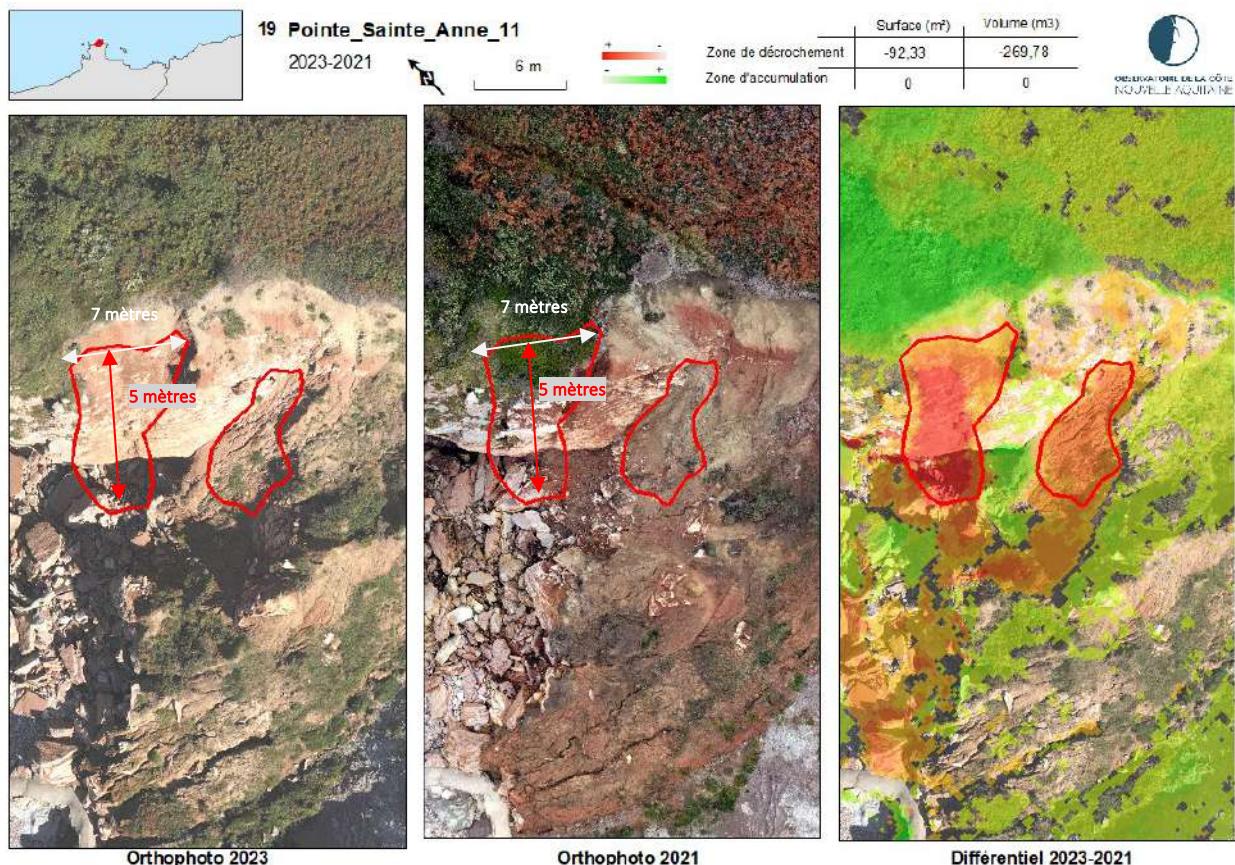


Illustration 49 - Evolution du site 11 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023 (@Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

Pour le cinquième site du secteur de la Pointe Sainte-Anne (site 12), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer le démantèlement des flyschs gréseux broyé (Illustration 50).

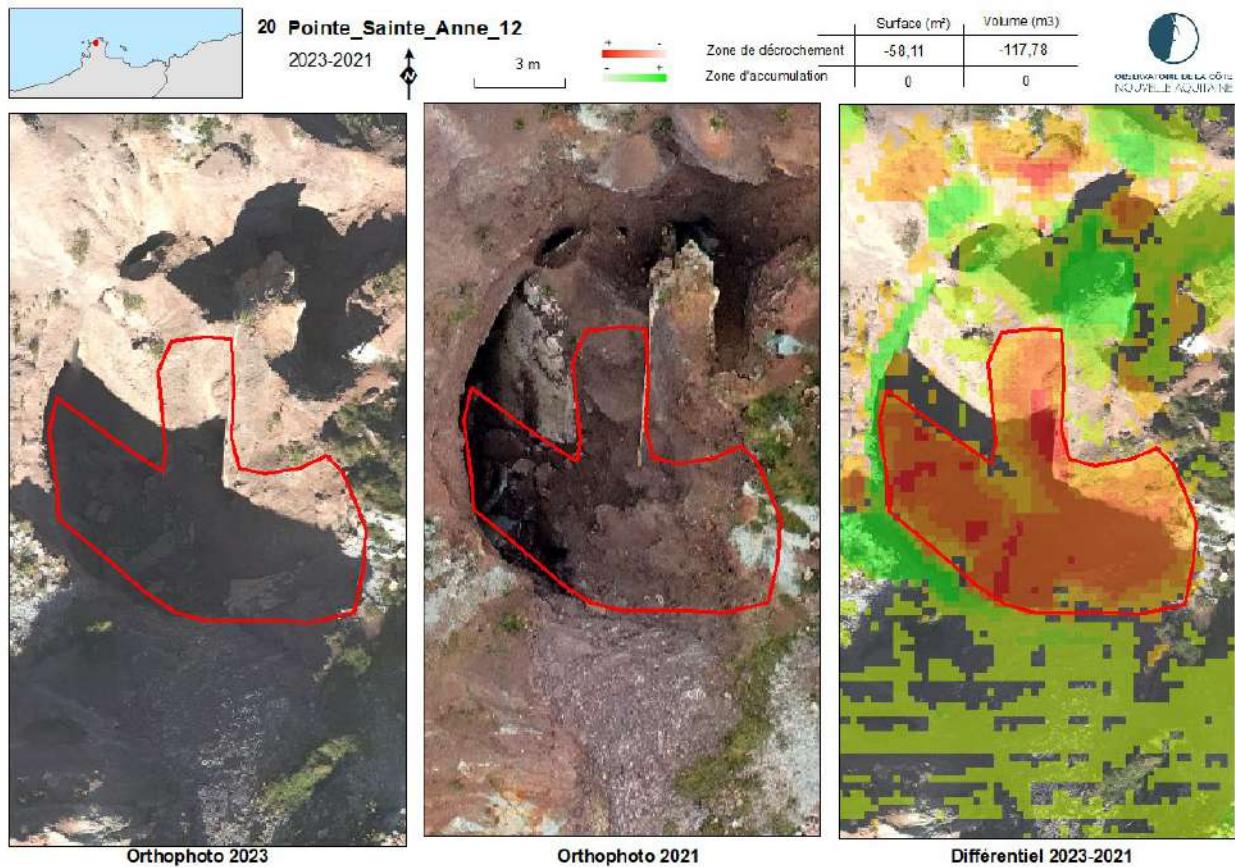


Illustration 50 - Evolution du site 12 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

Pour le sixième site du secteur de la Pointe Sainte-Anne (site 13), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer la remobilisation des matériaux précédemment glissés (secteur actif depuis juin 2008 ; Illustration 10 ; BRGM/RP-56616-FR) et la poursuite de cette activité pour un volume d'environ 290 m³ (Illustration 51 et Illustration 52).

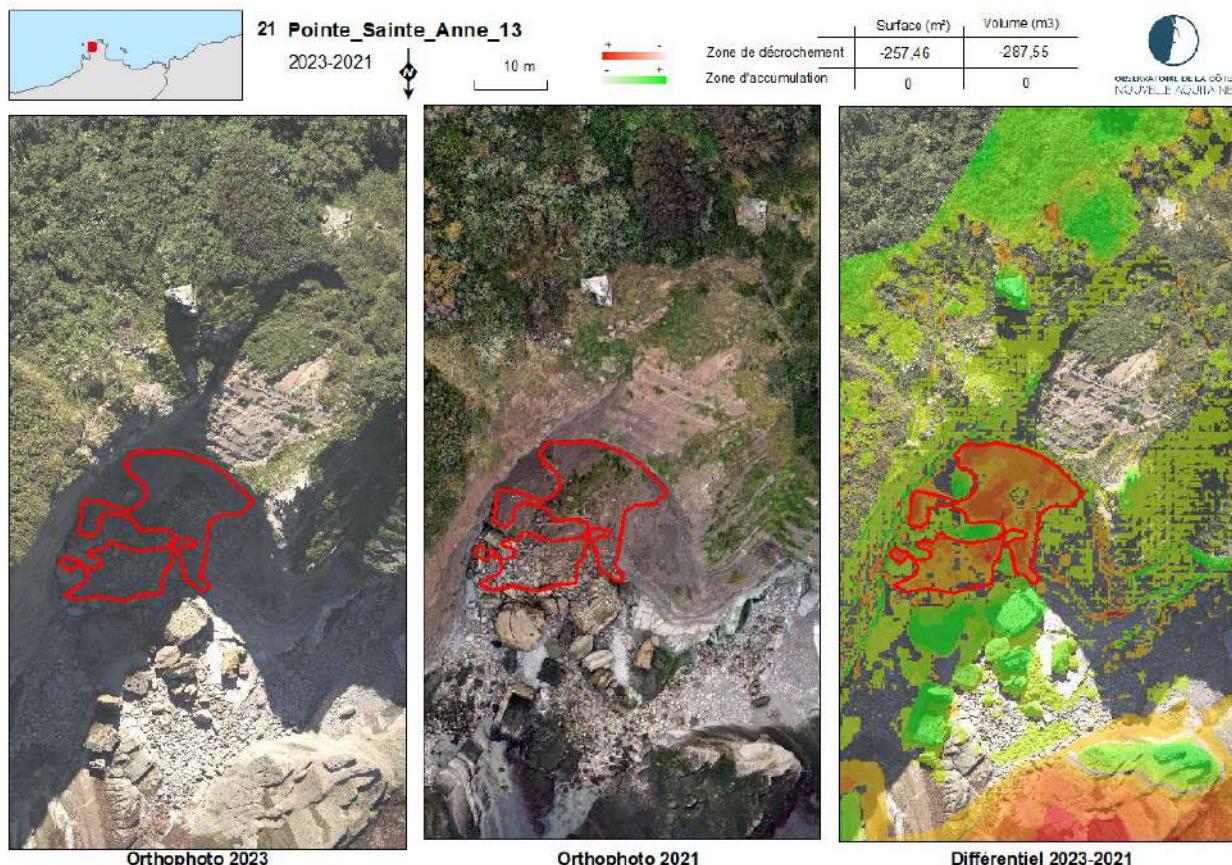


Illustration 51 - Evolution du site 13 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone).

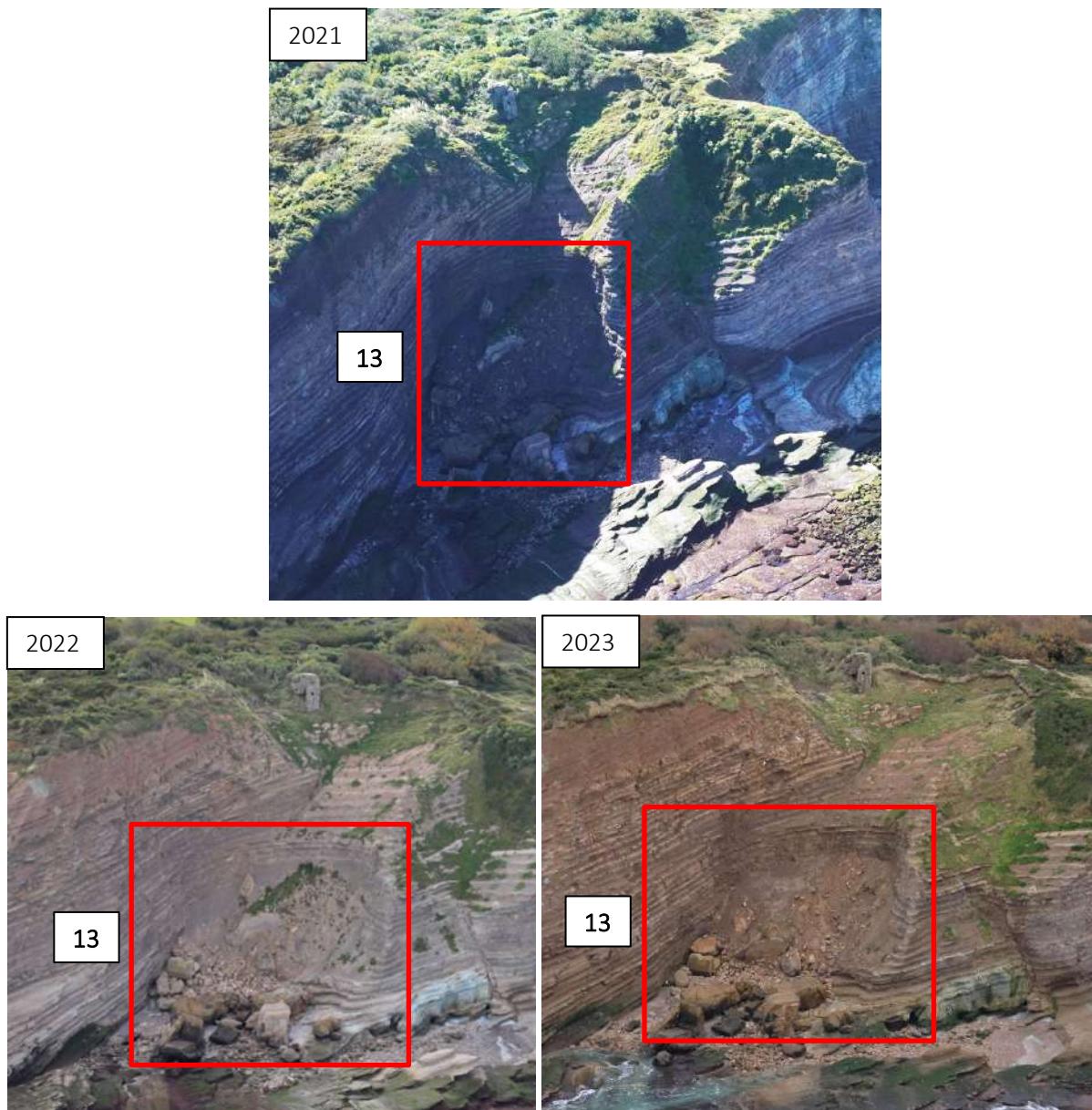


Illustration 52 - Evolution du site 13 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2021 et 2023 (©Observatoire de la Côte Aquitaine, AirMarine, 2021 ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)

Enfin, à propos du dernier site du secteur de la Pointe Sainte-Anne (site 14), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer l'occurrence d'un glissement de terrain superficiel, mobilisant environ 45 m³ de marnes altérées, voire colluvionnées (Illustration 53). L'analyse des photographies obliques permet de restreindre l'occurrence de l'événement entre le 23 octobre 2022 et le 12 décembre 2023 (Illustration 55).

Ce glissement a également pu être traité à partir des nuages de points : ces données permettent de restreindre l'emprise du glissement et d'estimer plus précisément le volume glissé entre 2021 et 2023 à 30 m³. Ainsi le volume mobilisé est compris entre 30 et 45 m³.

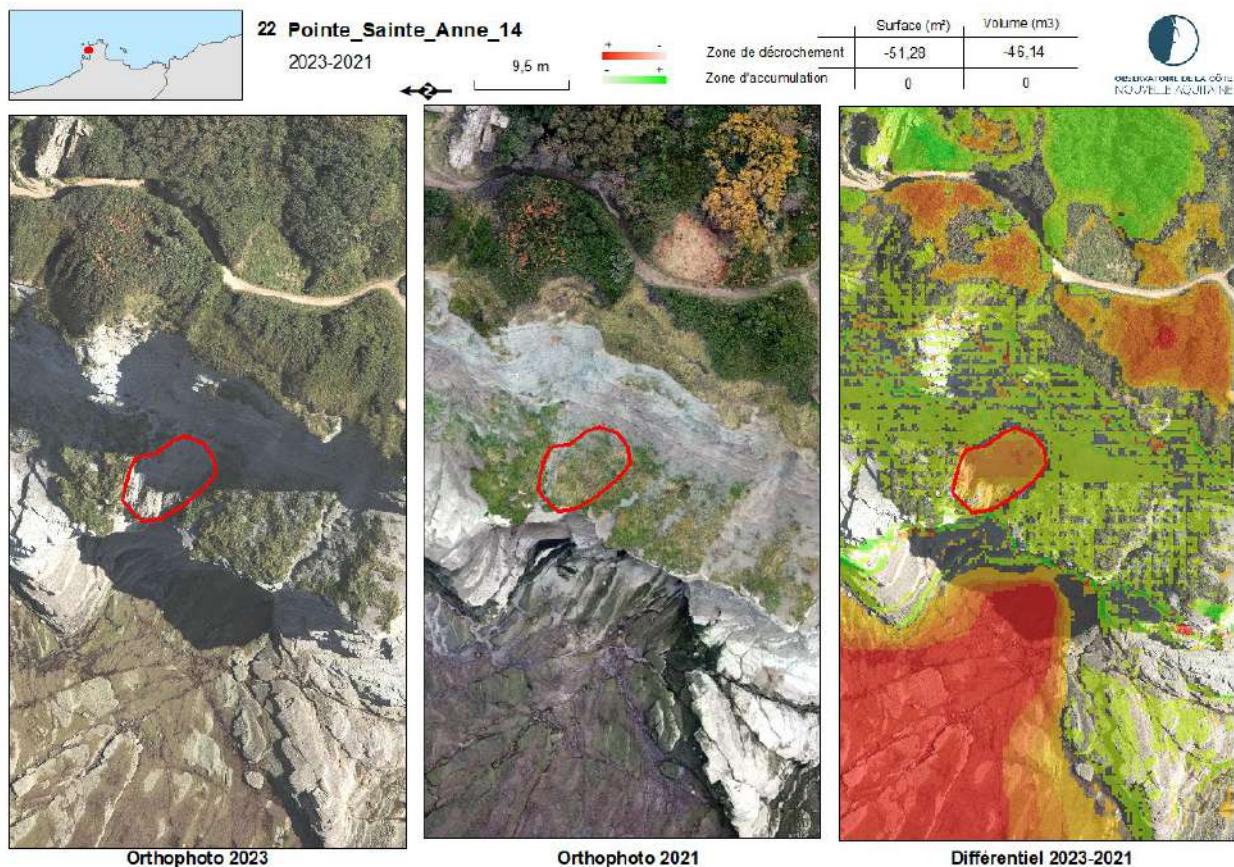


Illustration 53 - Evolution du site 14 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne, entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

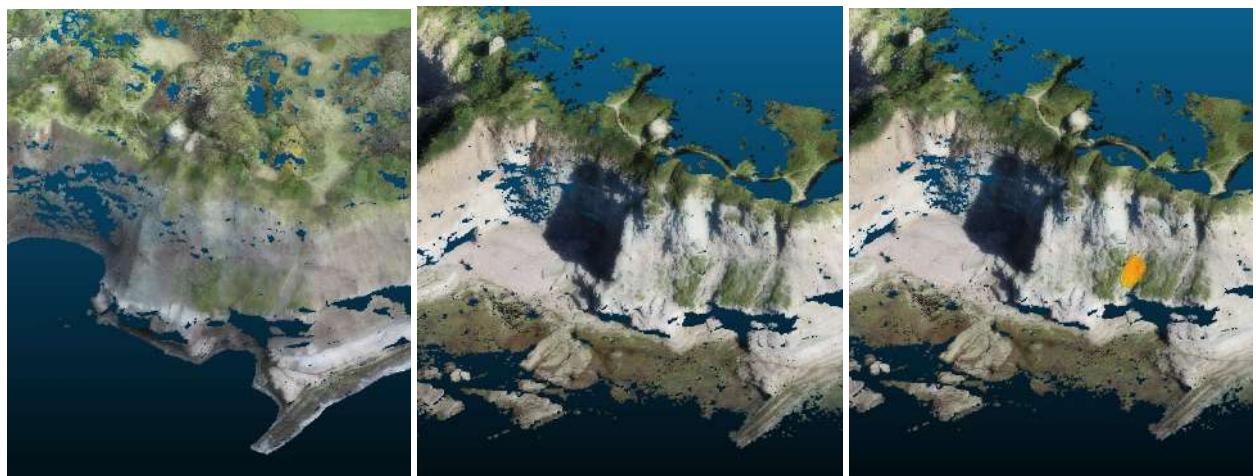


Illustration 54 - Vue 3D, à partir des nuages de points, du glissement Pointe_Sainte_Anne_14 (nuage 2021 à gauche, nuage 2023 au milieu, et nuage 2023 avec le glissement en orange, à droite ; ©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone, 2022 et 2023)



Illustration 55 - Evolution du site 14 dans le secteur de la Pointe Sainte-Anne entre 2022 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Balloïde, 2022 et 2023)

4.5. SECTEUR DE LA CRIQUE ERDICO URA

L'analyse différentielle des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer les évolutions de trois sites au sein du secteur de la crique Erdico Ura (Illustration 56).

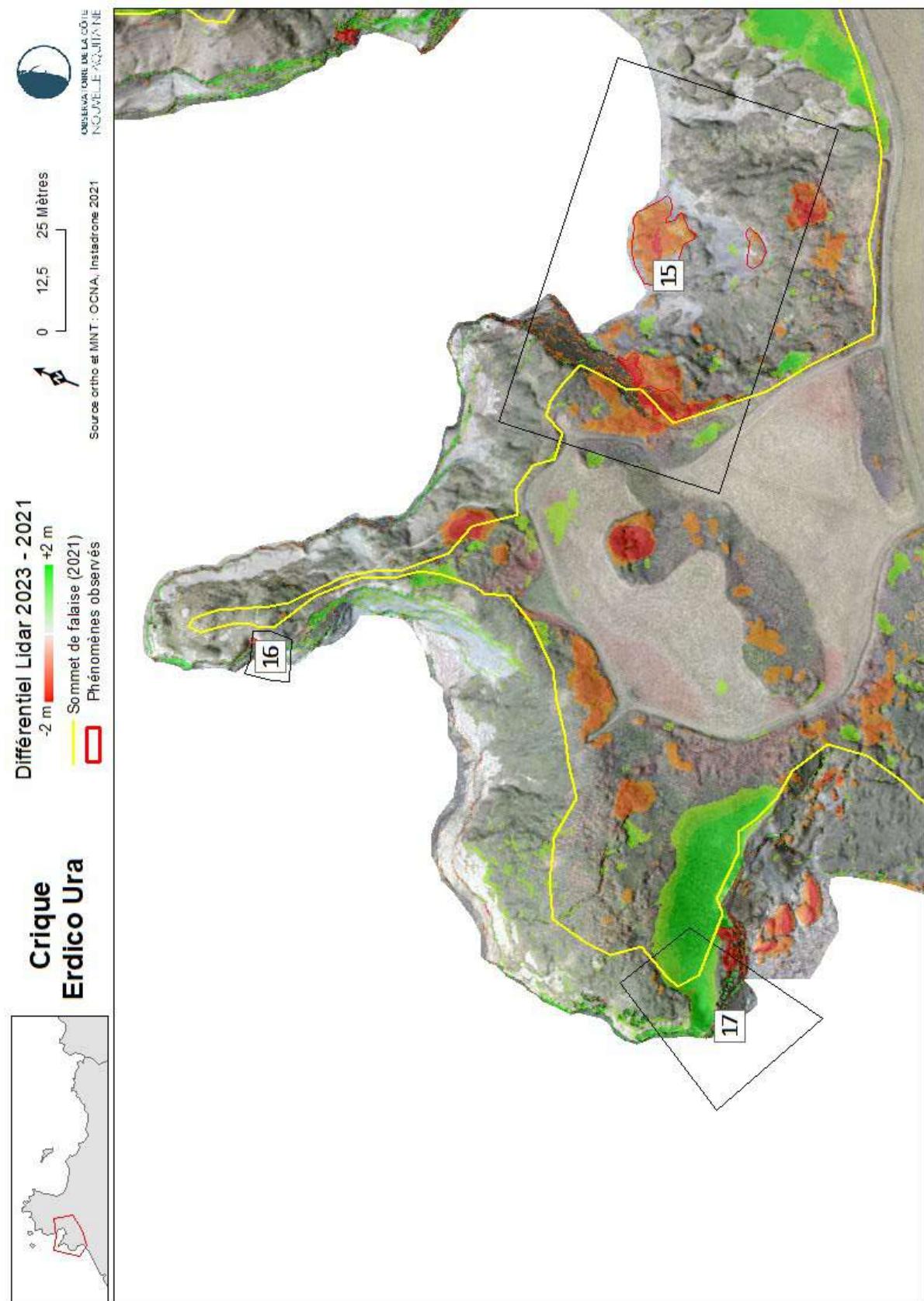


Illustration 56 - Différentiel LiDAR 2023-2021 ; sites d'évolution identifiés dans le secteur de la crique Erdico Ura
(@Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

Pour le site 15, dans le secteur de la crique Erdico Ura, l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 révèle la poursuite de l'activité de deux mouvements de terrain :

- le premier concerne la déstabilisation par glissement / éboulement d'environ 300 m³ de flyschs gréseux broyés (15a, Illustration 57) ;
- le second concerne la poursuite du glissement des flyschs gréseux broyés, présents en sommet de falaise (décrochement sur environ un mètre de hauteur), et la remobilisation par la mer des matériaux précédemment glissés présents en pied de falaise, mettant en mouvement un total de 400 m³ de matériaux (15b, Illustration 58).

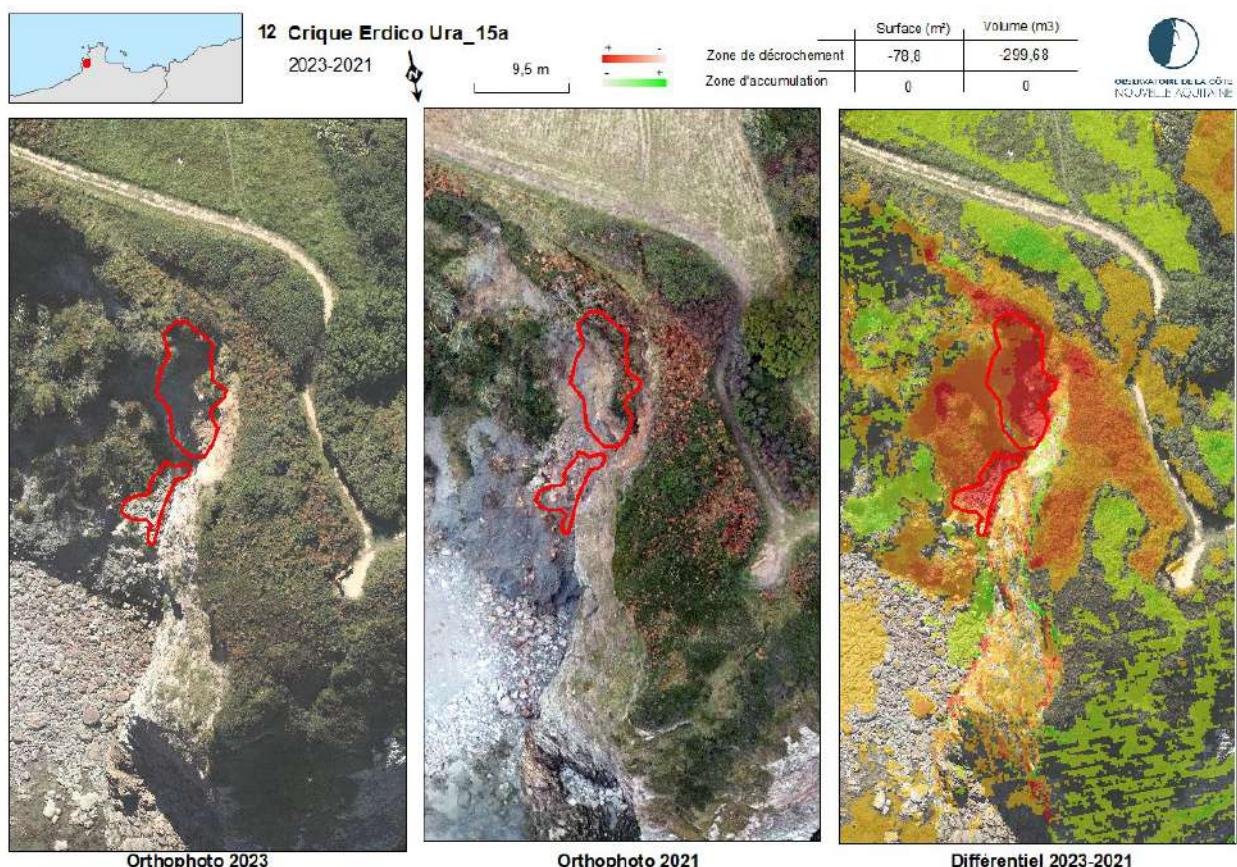
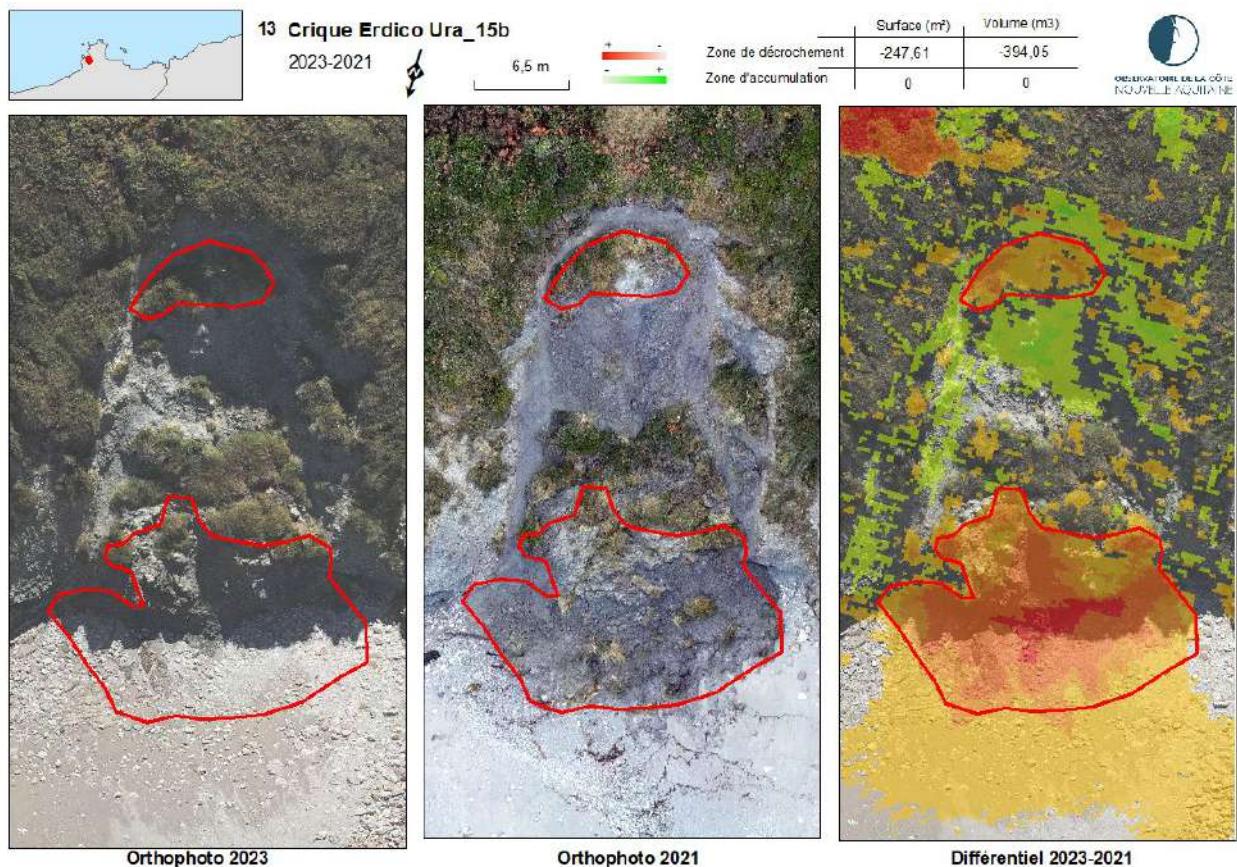


Illustration 57 - Evolution du site 15a dans le secteur de la crique Erdico Ura, entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)



*Illustration 58 - Evolution du site 15b dans le secteur de la crique Erdico Ura, entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*

Sur le deuxième site du secteur de la crique Erdico Ura (site 18), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer la chute d'un bloc d'environ 10 m^3 (Illustration 58).

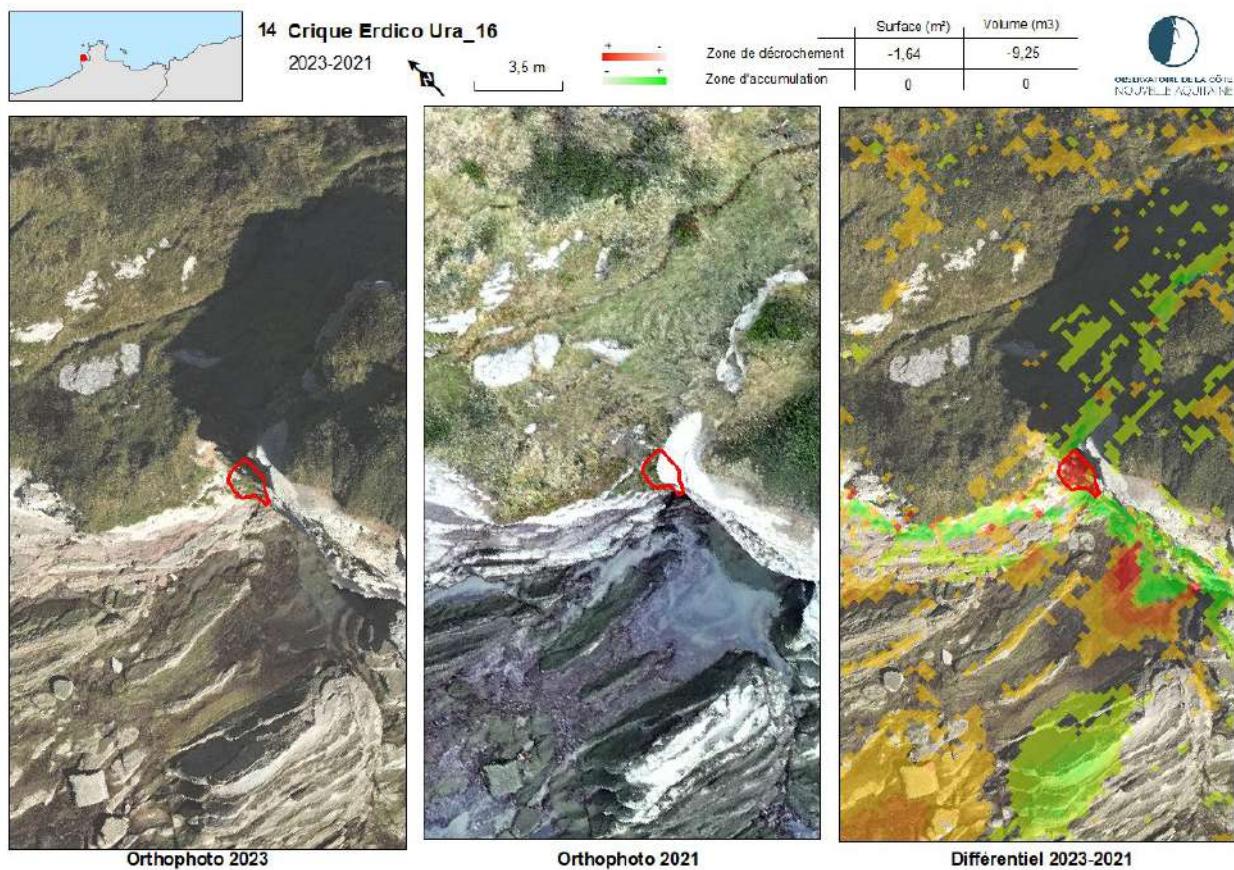
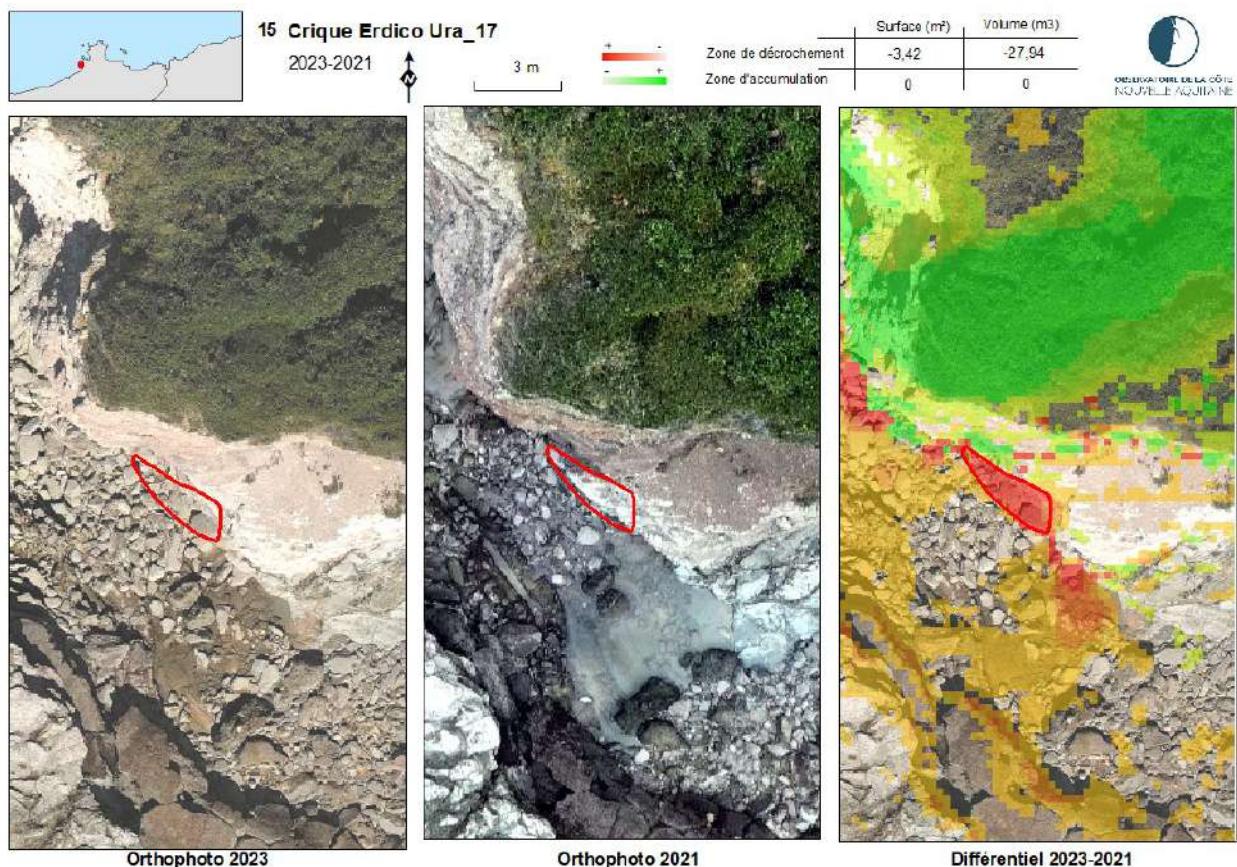


Illustration 59 - Evolution du site 16 dans le secteur de la crique Erdico Ura, entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)

Enfin, sur le dernier site du secteur de la crique Erdico Ura (site 17), l'analyse diachronique des données LiDAR de 2021 et 2023 permet d'observer la rupture d'un compartiment rocheux d'environ 28 m³ (Illustration 60).



*Illustration 60 - Evolution du site 17 dans le secteur de la crique Erdico Ura, entre 2021 et 2023
(©Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine, Instadrone)*

5. Conclusion

La présente étude porte sur l'analyse diachronique des données LiDAR (et mesh 3D*), acquises par moyens aéroportés, en 2021 et 2023, s'intéressant à la partie « côte rocheuse » du littoral d'Hendaye.

Une première campagne de levés topographiques par LiDAR et par photogrammétrie a ainsi été initiée par l'OCNA fin 2021, de façon à disposer d'un modèle 3D des falaises de la Pointe Sainte-Anne et d'acquérir des orthophotographies en élévation du linéaire levé.

Une deuxième campagne, menée par le même prestataire qu'en 2021 (société Instadrone), a été réalisée selon le même cahier des charges. Les levés ont été réalisés le 02 octobre (LiDAR et photos pour orthomosaïque verticale) et le 29 novembre 2023 (photos pour les élévations).

Cette analyse permet de pré-identifier les sites ayant subi des évolutions morphologiques d'ampleur variable dans les contextes géomorphologiques variés. Cette détection préliminaire est suivie d'une phase d'expertise intégrant la connaissance du terrain et des processus d'instabilité, afin d'évaluer la pertinence des évolutions. Cette analyse permet également de caractériser les instabilités et d'estimer l'ordre de grandeur des volumes impliqués. Une analyse experte par photographie oblique complète le processus de façon systématique.

Il est important de souligner que les données issues du différentiel LiDAR présentent des incertitudes significatives qui ne garantissent pas un jeu de données totalement exploitable (notamment en lien avec la classification des nuages de points qui n'est pas optimale). Elles ne peuvent, à elles seules, suffire à une interprétation totalement fiable et définitive. Par conséquent, les estimations des volumes doivent être considérées avec précaution. Un travail spécifique (mené dans le cadre du programme OCNA) visant à améliorer le traitement de l'incertitude sera lancé en 2025 afin d'automatiser et consolider la méthode.

La dynamique, mise en évidence au cours de cette période, est marquée par plusieurs phénomènes d'intensité variable :

- Hayzabia : poursuite de l'activité de glissements de terrain ; chutes de blocs depuis les bords libres de certaines dalles de flysch, voire rupture de portions de ces dalles ;
- baie de Loya : dynamique érosive principalement marquée par le démantèlement de certaines dalles de flysch et l'occurrence de chutes de blocs depuis les bords libres de ces dalles ;
- Pointe Sainte-Anne : poursuite de l'activité de mouvement de terrain, notamment avec l'extension latérale du glissement de terrain de décembre 2019, mobilisant 270 m³ (site 11) et la remobilisation d'environ 290 m³ de matériaux précédemment glissés dans un secteur actif depuis juin 2008 (site 13) ;
- crique Erdico Ura : dynamique érosive principalement marquée par la poursuite de l'activité de glissement de terrain, mobilisant environ 400 m³ (site 15b) de matériau et la déstabilisation par glissement / éboulement d'environ 300 m³ de flyschs gréseux broyés (site 15a).

Sur la base de l'analyse des données 2021 et 2023, il est recommandé de maintenir un suivi régulier, à intervalle de 2 à 3 ans. Une nouvelle acquisition pourrait être planifiée pour la fin de l'année 2025 ou le printemps 2026, 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 2025/26-2023 et 2025/26-2021 sous la forme de raster.

6. Bibliographie

- Aubié S., (2008)** - Avis sur les phénomènes d'instabilités survenus en juin 2008 à la Pointe Sainte-Anne sur la commune d'Hendaye - Rapport BRGM/RP-56616-FR, 23 p, 9 fig.
- 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.
- 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., 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., Martins L. (2022)** - 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, 114 p., 54 ill., 3 tab., 4 ann.
- Brasington J., Langham J. et Rumsby B.**, 2003 - Methodological sensitivity of morphometric estimates of coarse fluvial sediment transport. *Geomorphology*, volume 53, Issues 3-4, pages 299-316.
- Choukroune, P., Le Pichon, X., Seguret, M., Sibuet, J-C.**, 1973. Bay of Biscay and Pyrenees. *Earth Planet. Sci. Lett.* 18, 109–118.
- Choukroune, P., Mattauer, M.,** 1978. Tectonique des plaques et Pyrénées ; sur le fonctionnement de la faille transformante nord-pyrénéenne ; comparaisons avec des modèles actuels. *Bull Soc Géol Fr.*
- Garnier C. (2016)** - Avis relatif aux mouvements de terrain sur les falaises du Domaine d'Abbadia, commune d'Hendaye. Rapport BRGM/RP-65471-FR, 19 p., 15 fig.
- Garnier C. (2020)** - Caractérisation de l'aléa "mouvements de terrain" au droit de la Pointe Sainte-Anne, Domaine d'Abbadia (Hendaye). Rapport d'expertise. BRGM/RP-70256-FR, 37 p., 32 Ill., 3 ann.
- Garnier C., Martins L. (2022)** - Mise e place d'un protocole de suivi de l'évolution des falaises sur le Domaine d'Abbadia, commune d'Hendaye - Note technique NT_BDX-2022-006
- Genna, A., Capdeville, J.P., Mallet, C., Deshayes, L.,** 2004. *Observatoire de la Côte Aquitaine - Etude géologique simplifiée de la Côte Basque*, Rapport BRGM/RP-53258-FR, 39 p.
- Guillen., 2024.** Érosion des falaises de flysch du Pays Basque français : apports d'une approche typologique des instabilités gravitaires. Thèse de doctorat. Université de Pau et des Pays de l'Adour. 290p.
- Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L.,** 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11, 167–194.
- James M.R., Robson S., Smith M.W.,** 2017. 3-D uncertainty-based topographic change detection with structure-from-motion photogrammetry: precision maps for ground control and directly georeferenced surveys. <https://doi.org/10.1002/esp.4125>
- Lague D., Brodu N., Leroux J.,** 2013. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner : application to the Rangitikei canyon (N-Z)
- Martins, L.,** 2021. *Evaluation de la susceptibilité aux instabilités gravitaires de la côte à falaise basque*, Diplôme d'Université. Paris I - Panthéon Sorbonne.

- Muller, J., Roger, P.**, 1977. L'Evolution structurale des Pyrénées (Domaine central et occidental). *Géologie Alp.* 53, 149–191.
- Peter-Borie, M.**, 2008. Les massifs rocheux du crétacé supérieur du Labourd occidental : processus d'altération et instabilités littorales. Université Bordeaux 1. 371 p.
- Razin, P.**, 1989. *Evolution tecto-sédimentaire alpine des Pyrénées basques à l'Ouest de la transformante de Pamplona*. Université de Bordeaux III.
- Sibuet, J-C., Srivastava, Shiri P., Spalman, Wim.**, 2004. Pyrenean orogeny and plate kinematics. *J. Geophys. Res.* 109, 18.
- Trenhaile, A.S.**, 1987. The geomorphology of rock coasts. *Oxford: Clarendon Press* 11-68.

Annexe 1- Rapport de mission Instadrone 2021



RAPPORT D'INTERVENTION

RELEVE LIDAR ET PHOTOGRAMMETRIQUE

MISSION SAINTE-ANNE_BRGM

Siège Instadrone □ 6 rue du Coussat- 34290 SERVIAN
Tél. 06 70 91 74 99 – mechaal.rihani@instadrone.fr



1. Descriptif de la prestation

1.1 Objet et domain e d'applic ation

Le présent rapport d'intervention présente les conditions du relevé photogrammétrique et du relevé Lidar sur le site de Sainte-Anne à Hendaye, effectué les 18 et 20 novembre 2021, ainsi que le 03 Décembre 2021.

Ces différents relevés permettront de suivre l'érosion et la submersion sur le littoral régional de la falaise concernant le secteur Sainte-Anne

L'acquisition de données topographiques de haute résolution a pour but d'apporter les éléments de connaissance sur la géométrie de la falaise, indispensables à l'analyse des conditions de stabilité de celle-ci. L'approche vise *in fine* à identifier les aménagements ouverts au public du domaine d'Abbadia (cheminements, belvédères) les plus exposés aux mouvements de terrain, de façon à permettre au gestionnaire de prendre les mesures de gestion appropriées.

1.2 Descript if de la prestati on

Le relevé permettra notamment de produire :

- Des orthomosaïques en élévation des falaises
- Une orthomosaïque verticale de l'ensemble du site
- Un nuage de point Lidar classifié
- Un MNT Maillé
- Un Mesh 3D

1.2.1 Durée et conditions de l'intervention

La durée d'intervention sur site est de 3 jours, et a mobilisé deux télépilotes Instadrone.

La première date d'intervention est le 18/11/21, légèrement couvert, une température extérieure de 10°, un vent du Sud-Ouest de 15km/h.

La deuxième date d'intervention est le 20/11/21, légèrement couvert, une température extérieure de 13°, un vent du Sud-Ouest de 20km/h.

La troisième date d'intervention est le 03/12/21, couvert, une température extérieure de 09°, un vent du Sud-Ouest de 15km/h.

1.2.2 Périmètre du relevé

Le relevé du site s'étend sur une superficie d'environ 53.2ha.

Ci-dessous, l'emprise du site relevé



Orthomosaïque du site relevé

Des vols pour l'acquisition photogrammétrique nadirale ont été réalisés à 120m d'altitude afin d'obtenir une résolution de 1,5cm/pixel.

Des vols pour l'acquisition des élévations des falaises ont été effectuée à une distance approximative de 40 mètres pour un GSD 0,5cm/pixel.

Un vol pour l'acquisition Lidar a été réalisé à 70m d'altitude.

1.3 Choix des technologies d'acquisition

Instadrone déployera des acquisitions, lasergrammétiques et photographique par drone.

1.3.1 Acquisition Lidar

Matériel employé :

Drone DJI Matrice 300 RTK équipé d'un lidar DJI L1.



Drone Matrice 300 RTK équipé d'un Lidar DJI L1

1.3.2 Acquisition photographique

Matériel employé :

Drone DJI Matrice 300 RTK équipé d'un capteur photographique DJI P1



Drone Matrice 300 RTK équipé d'un capteur DJI P1

2. Plan d'assemblage des dalles régulières produites



Illustration des dalles régulières produites dans le cadre de l'orthomosaïque

Disponible sous format : DXF/KML/SHP

3. Validation de la précision des données

Validation avec nos points de contrôles, relevé le 18/11/21 par INSTADRONE :

ID	X(m)	Y(m)	Z(NGF/m)	ECART(m)	ESPG2154
1	315920.169269	6264882.850560	11.277492	0.005000	0.003716
3	315900.292410	6264901.432703	3.255135	0.005000	0.004882
6	315965.586662	6264788.863976	33.764843	0.005000	0.025195
8	315691.610868	6264815.977174	44.342640	0.005000	0.011333
9	314831.757162	6265180.297491	33.197931	0.005000	0.026329
.

Validation avec les points de contrôles fournis par le BRGM :

ID	X(m)	Y(m)	Z(NGF/m)	ECART(m)	ESPG2154
1	314981.487000	6265413.243000	35.056000	0.005000	0.019991
2	314980.184000	6265412.005000	35.062000	0.005000	0.004159
3	314979.151000	6265411.071000	35.072000	0.005000	0.005624
4	314977.517000	6265409.552000	35.115000	0.005000	0.006800
5	314975.823000	6265408.061000	35.257000	0.005000	0.031954
6	314974.587000	6265406.879000	35.115000	0.005000	0.019767
7	314973.485000	6265406.003000	35.137000	0.005000	0.009229
8	314972.782000	6265405.463000	35.035000	0.005000	0.017044
9	314982.205000	6265412.488000	35.104000	0.005000	0.005568
10	314982.955000	6265411.671000	35.144000	0.005000	0.004622
11	314983.810000	6265410.710000	35.357000	0.005000	0.014845
12	314992.592000	6265501.499000	31.976000	0.005000	0.013265
13	314992.645000	6265502.092000	31.976000	0.005000	0.012610
14	314992.752000	6265503.267000	31.978000	0.005000	0.008409

Annexe 2- Rapport de mission Instadrone 2023



RAPPORT D'INTERVENTION



RELEVE LIDAR ET PHOTOGRAMMETRIQUE – MISSION SAINTE-ANNE_BRGM

Siège Instadrone - 6 rue du Coussat - 34290 SERVIAN
Tél. 06 70 91 74 99 – mehaa.rihani@instadrone.fr

TABLE DES MATIERES

Table des matières

<u>1. DESCRIPTIF DE LA PRESTATION</u>	1
1.1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION	1
1.2 DESCRIPTIF DE LA PRESTATION	1
1.2.1 DUREE ET CONDITIONS DE L'INTERVENTION	1
1.2.2 PERIMETRE DU RELEVE	2
1.3 CHOIX DES TECHNOLOGIES D'ACQUISITION	3
1.3.1 ACQUISITION LIDAR	3
1.3.2 ACQUISITION PHOTOGRAPHIQUE	3
<u>2. PLAN D'ASSEMBLAGE</u>	4
2.1 DES DALLES REGULIERES PRODUITES	4
2.2 DES ELEVATIONS PRODUITES	4
<u>3. VALIDATION DE LA PRECISION DES DONNEES</u>	5

1. DESCRIPTIF DE LA PRESTATION

1.1 Objet et domaine d'application

Le présent rapport d'intervention présente les conditions du relevé photogrammétrique et du relevé LiDAR sur le site de Sainte-Anne à Hendaye, en date du :

- 02 octobre 2023 : LiDAR et photos pour orthomosaïque verticale :
- 29 novembre 2023 : Photos pour les élévations

Ces différents relevés permettront de suivre l'érosion et la submersion sur le littoral régional de la falaise concernant le secteur Sainte-Anne

L'acquisition de données topographiques de haute

a pour but d'apporter les éléments de connaissance sur la géométrie de la falaise, indispensables à l'analyse des conditions de stabilité de celle-ci.

L'approche vise *in fine* à identifier les aménagements ouverts au public du domaine d'Abbadia (cheminements, belvédères) les plus exposés aux mouvements de terrain, de façon à permettre au gestionnaire de prendre les mesures de gestion appropriées.

1.2 Descriptif de la prestation

Le relevé permettra notamment de produire :

- Des orthomosaïques en élévation des falaises
- Une orthomosaïque verticale de l'ensemble du site
- Un nuage de points LiDAR classifié
- Un MNT maillé
- Un Mesh 3D

1.2.1 Durée et conditions de l'intervention

La durée d'intervention sur site est de 2 jours, et a mobilisé deux télépilotes Instadrone :

- La première date d'intervention est le 02/10/23, ciel dégagé et pleinement ensoleillé, une température extérieure de 20°, un vent du Sud-Ouest de 15km/h.
- La deuxième date d'intervention est le 29/11/23, ciel dégagé, une température extérieure de 11°, un vent du Sud-Ouest de 20km/h.

1.2.2 Périmètre du relevé

Le relevé du site s'étend sur une superficie d'environ 38ha.



Orthomosaïque du site relevé

Des vols pour l'acquisition photogrammétrique nadirale ont été réalisés à 120m d'altitude afin d'obtenir une résolution de 1,5cm/pixel.

Des vols pour l'acquisition des élévations des falaises ont été effectuée à une distance approximative de 40 mètres pour un GSD 0,5cm/pixel.

Un vol pour l'acquisition Lidar a été réalisé à 70m d'altitude.

1.3 Choix des technologies d'acquisition

1.3.1 Acquisition Lidar

Drone DJI Matrice 300 RTK équipé d'un LiDAR DJI L1



1.3.2 Acquisition photographique

Drone DJI Matrice 300 RTK équipé d'un capteur photographique DJI P1





Relevé photogrammétrique et Lidar
SAINTE-ANNE - Hendaye

2. PLAN D'ASSEMBLAGE

2.1 Des dalles régulières produites



*Illustration des dalles régulières produites dans le cadre de l'orthomosaïque
Disponible sous format : DXF/KML/SHP*

2.2 Des élévations produites



4

3. VALIDATION DE LA PRECISION DES DONNEES

Validation avec nos points de contrôles, relevé le 02/10/23 par INSTADRONE :

Repères	▲	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	Précision (m)	Erreur (m)	Projections
✓ 1		314789.717033	6265123.888881	51.841049	0.005000	0.040309	9
✓ 2		315054.134819	6265500.721650	50.878049	0.005000	0.034087	9
✓ 3		315151.085402	6265172.547665	49.838049	0.005000	0.037921	9
✓ 4		315427.872974	6265114.648618	49.655049	0.005000	0.058513	9
✓ 5		316365.684759	6265018.419656	49.692049	0.005000	0.035217	9
✓ 6		315956.568039	6264864.166469	72.571049	0.005000	0.091095	9
✓ 7		315656.350206	6264867.302675	86.861049	0.005000	0.080684	9
✓ 9		314734.665509	6265075.146910	76.627049	0.005000	0.015495	9
✓ 10		314925.514083	6265368.951431	83.125049	0.005000	0.008971	1

Validation avec les points de contrôles fournis par le BRGM :

Repères	▲	Est (m)	Nord (m)	Altitude (m)	Précision (m)	Erreur (m)
✓ 1		314981.487000	6265413.243000	35.056000	0.005000	0.045461
✓ 2		314980.184000	6265412.005000	35.062000	0.005000	0.011919
✓ 3		314979.151000	6265411.071000	35.072000	0.005000	0.006026
✓ 4		314977.517000	6265409.552000	35.115000	0.005000	0.066243
✓ 5		314975.823000	6265408.061000	32.257000	0.005000	0.049027
✓ 6		314974.587000	6265406.879000	35.115000	0.005000	0.003084
✓ 7		314973.485000	6265406.003000	35.137000	0.005000	0.005301
✓ 8		314972.782000	6265405.463000	35.035000	0.005000	0.068201
✓ 9		314982.205000	6265412.488000	35.104000	0.005000	0.022319
✓ 10		314982.955000	6265411.671000	35.144000	0.005000	0.026002
✓ 11		314983.810000	6265410.710000	35.357000	0.005000	0.022911
✓ 12		314992.592000	6265501.499000	31.976000	0.005000	0.000741
✓ 13		314992.645000	6265502.092000	31.976000	0.005000	0.000681
✓ 14		314992.752000	6265503.267000	31.978000	0.005000	0.007621
✓ 15		314992.848000	6265504.475000	31.965000	0.005000	0.013992
✓ 16		314991.646000	6265505.421000	31.947000	0.005000	0.031593
✓ 17		314990.023000	6265506.141000	31.944000	0.005000	0.017046
✓ 18		314988.390000	6265506.224000	31.938000	0.005000	0.020691
✓ 19		314986.714000	6265505.910000	31.944000	0.005000	0.003052



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



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

À 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'Union Européenne (via le fonds 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), l'Unima, 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