



# OBSERVATOIRE CÔTE AQUITAINE

Document public

Rapport final

## Levé 3D au scanner laser mobile de la falaise de la Corniche Basque - Communes de Ciboure et Urrugne (64)

BRGM/RP-67271-FR  
Novembre 2018

Auteurs : S. Yart, F. Masson






# Levé 3D au scanner laser mobile de la falaise de la Corniche Basque - Communes de Ciboure et Urrugne (64)

BRGM/RP-67271-FR  
Novembre 2018

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM  
AP17BDX015

**Vérificateur :**  
Nom : Thomas DEWEZ  
Fonction : Ingénieur de recherche  
Date : 04/04/2018  
Signature : 

**Approbateur :**  
Nom : Nicolas PEDRON  
Fonction : Directeur du BRGM  
Nouvelle-Aquitaine  
Date : 12/11/2018  
Signature : 

Auteurs : S. Yart, F. Masson



**Mots-clés** : Scan laser, 3D, ZEB-REVO, Falaise, Erosion littorale, Cavité, Aquitaine, Pyrénées-Atlantiques, Corniche Basque, Ciboure, Urrugne

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

**Yart S., Masson F.** (2018) - Levé 3D au scanner laser mobile de la falaise de la Corniche Basque - Communes de Ciboure et Urrugne (64). Rapport final. BRGM/RP-67271-FR, 33 p., 17 fig., 3 tabl., 2 ann.

© BRGM, 2018, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

La falaise de la Corniche Basque constitue un escarpement de 20 à 50 m de haut formant le trait de côte des Pyrénées-Atlantiques, entre Socoa et Hendaye. Ce tronçon de littoral, de par l'action de l'érosion marine, est le siège d'instabilités gravitaires (glissements banc sur banc et sous-cavages en pied de falaise).

Dans le cadre des activités de l'Observatoire de la Côte Aquitaine, un levé 3D d'un tronçon de la Corniche de 1 700 m, situé entre le Fort de Socoa (commune de Ciboure) et le carrefour des routes D912 et D913 (commune d'Urrugne), a été réalisé à l'aide d'un scanner laser mobile ZEB-REVO. Les objectifs de cette opération étaient (1) d'évaluer la pertinence de l'utilisation de l'outil pour le suivi de l'évolution de la falaise, (2) d'acquérir de la donnée dans les zones sous-cavées de la falaise, non visibles par les méthodes aéroportées et (3) de compléter la chronique de données 3D (LiDAR et photogrammétrie) disponibles sur le secteur pour améliorer la compréhension des processus d'érosion.

28 boucles d'acquisition ont été réalisées en deux jours, permettant de couvrir une surface de 6 ha. L'intégralité du tronçon de trait de côte initialement ciblé n'a pas pu être levée de façon exhaustive, du fait notamment de la difficulté d'accès à certaines zones (escarpement, végétation) et de la portée effective du scanner limitée à quelques mètres en milieu exposé à la lumière du jour.

Les données acquises sur les zones sous-cavées, et notamment au niveau de la grotte du Sémaphore à Socoa, permettent d'obtenir une géométrie 3D géoréférencée des cavités. Ces données fournissent des informations précieuses pour l'évaluation des aléas "mouvement de terrain" liés à ces sous-cavages : emprise, dimensions des vides, profondeur...

Dans le cas de la grotte du Sémaphore, la cavité se développe sur une longueur de 30 m environ vers l'intérieur du massif, le long d'une faille orientée N 150°. Le sous-cavage présente une hauteur maximale de 17 m au niveau de l'entrée. Le toit de la cavité s'abaisse de façon irrégulière vers le SSE. Au fond de la cavité la hauteur de vide est de 5 m. L'extrémité SE de la zone sous-cavée est localisée à l'aplomb de l'ancien tracé du sentier du littoral, à environ 20 m de profondeur. En pied de falaise, le sous-cavage se développe également latéralement sur 20 m de part et d'autre de l'axe central de la cavité, par l'érosion préférentielle des bancs marneux.

A l'issue des levés effectués sur la Corniche Basque, il apparaît que le scanner ZEB-REVO est plus performant dans les zones sous-cavées, ou plus généralement dans les milieux à géométries complexes, que dans les milieux ouverts. Ces sous-cavages étant par ailleurs inaccessibles aux méthodes aéroportées, le ZEB-REVO apporte donc un réel bénéfice pour l'acquisition de données dans ces zones. Utilisé conjointement aux méthodes de topographie 3D aéroportées, le scanner ZEB-REVO constitue un outil complémentaire permettant une couverture exhaustive de sites, tels que la Corniche Basque. Sa facilité de mise en œuvre au regard des techniques classiques permet de surcroît d'envisager des acquisitions fréquentes sur un même site, afin d'en suivre l'évolution, moyennant l'existence de repères fixes au cours des différentes campagnes.



## Sommaire

<b>1. Contexte de l'intervention.....</b>	<b>7</b>
1.1. SITE ETUDIE	7
1.2. OBJECTIFS	8
<b>2. Matériel et méthode.....</b>	<b>9</b>
2.1. LE SCANNER LASER MOBILE ZEB-REVO	9
2.2. ACQUISITION	10
2.2.1. Déroulement de la campagne .....	10
2.2.2. Méthode d'acquisition.....	12
2.3. POST-TRAITEMENT	15
2.3.1. Génération des nuages de points 3D.....	15
2.3.2. Géoréférencement des nuages de points .....	15
<b>3. Résultats .....</b>	<b>17</b>
3.1. DESCRIPTION GENERALE	17
3.2. QUALITE DES DONNEES	22
3.2.1. Précision des mesures .....	22
3.2.2. Qualité du géoréférencement .....	24
3.2.3. Portée du scanner ZEB-REVO .....	26
3.3. CAS DE LA GROTTTE DU SEMAPHORE	26
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>31</b>
<b>5. Bibliographie.....</b>	<b>33</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation du secteur étudié.....	7
Illustration 2 : Grotte du Sémaphore à Ciboure (Garnier, 2013).....	8
Illustration 3 : Scanner laser mobile ZEB-REVO. a) Tête du scanner. b) Centrale d'acquisition.....	9
Illustration 4 : Acquisition 3D au ZEB-REVO.....	10
Illustration 5 : Acquisition sur l'estran en basse mer (a), en sommet de falaise (b).....	11
Illustration 6 : Initialisation du scanner sur trépied. a) Vue générale. b) Détail de la tête du scanner. ....	13
Illustration 7 : Repérage des cônes de référence. a) Scan d'un cône de référence. b) Levé de la position d'un cône de référence au DGPS. c) Identification dans un nuage de points.....	14
Illustration 8 : Emprise des boucles d'acquisition au ZEB-REVO et localisation des points de référence, secteur Est. ....	19
Illustration 9 : Emprise des boucles d'acquisition au ZEB-REVO et localisation des points de référence, secteur Centre. ....	20

Illustration 10 : Emprise des boucles d'acquisition au ZEB-REVO et localisation des points de référence, secteur Ouest. ....	21
Illustration 11 : Exemple de nuage de points 3D dans le secteur de la grotte du Sémaphore, coloré selon l'indicateur qualitatif de performance de l'algorithme SLAM. ....	23
Illustration 12 : Qualité des données. a) Indicateur de qualité du traitement SLAM. b) Erreur résiduelle du géoréférencement des boucles d'acquisition. ....	25
Illustration 13 : Distance des points scannés à la trajectoire. ....	26
Illustration 14 : Entrée de la grotte du Sémaphore. Photographie et vue en perspective du modèle 3D. La flèche rouge représente le point de vue de l'illustration 15a. ....	27
Illustration 15 : Illustration du phénomène d'ablation latérale dans la grotte du Sémaphore. a) Section en plan de la cavité à l'altitude 3 m NGF. b) Report du profil de la cavité sur BDOrtho. ....	28
Illustration 16 : Vue 3D écorchée de la grotte du Sémaphore. ....	29
Illustration 17 : Grotte du Sémaphore (la tête de la cavité est figurée en tirets oranges). a) Cartographie de la hauteur de la cavité. b) Cartographie de la profondeur du toit de la cavité. ....	30

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques du ZEB-REVO (données constructeur). ....	10
Tableau 2 : Fichiers produits à l'issue du post-traitement. ....	15
Tableau 3 : Statistiques relatives aux boucles d'acquisition. ....	18



## 1. Contexte de l'intervention

Ces travaux ont été menés dans le cadre des activités de l'Observatoire de la Côte Aquitaine (OCA). Ils s'inscrivent dans une démarche d'amélioration de la compréhension des phénomènes guidant l'évolution du trait de côte rocheux et d'optimisation des techniques de suivi de cette évolution.

### 1.1. SITE ETUDIE

La falaise de la Corniche Basque constitue un escarpement de 20 à 50 m de haut, formant le trait de côte des Pyrénées-Atlantiques, entre Socoa et Hendaye (Aubié, Mathon, & Genna, 2009). L'intervention, faisant l'objet du présent rapport, s'est intéressée plus particulièrement à un tronçon de trait de côte de 1 700 m environ, situé entre le Fort de Socoa (commune de Ciboure) à l'est, et le carrefour des routes D912 et D913 (commune d'Urrugne) à l'ouest (Illustration 1).

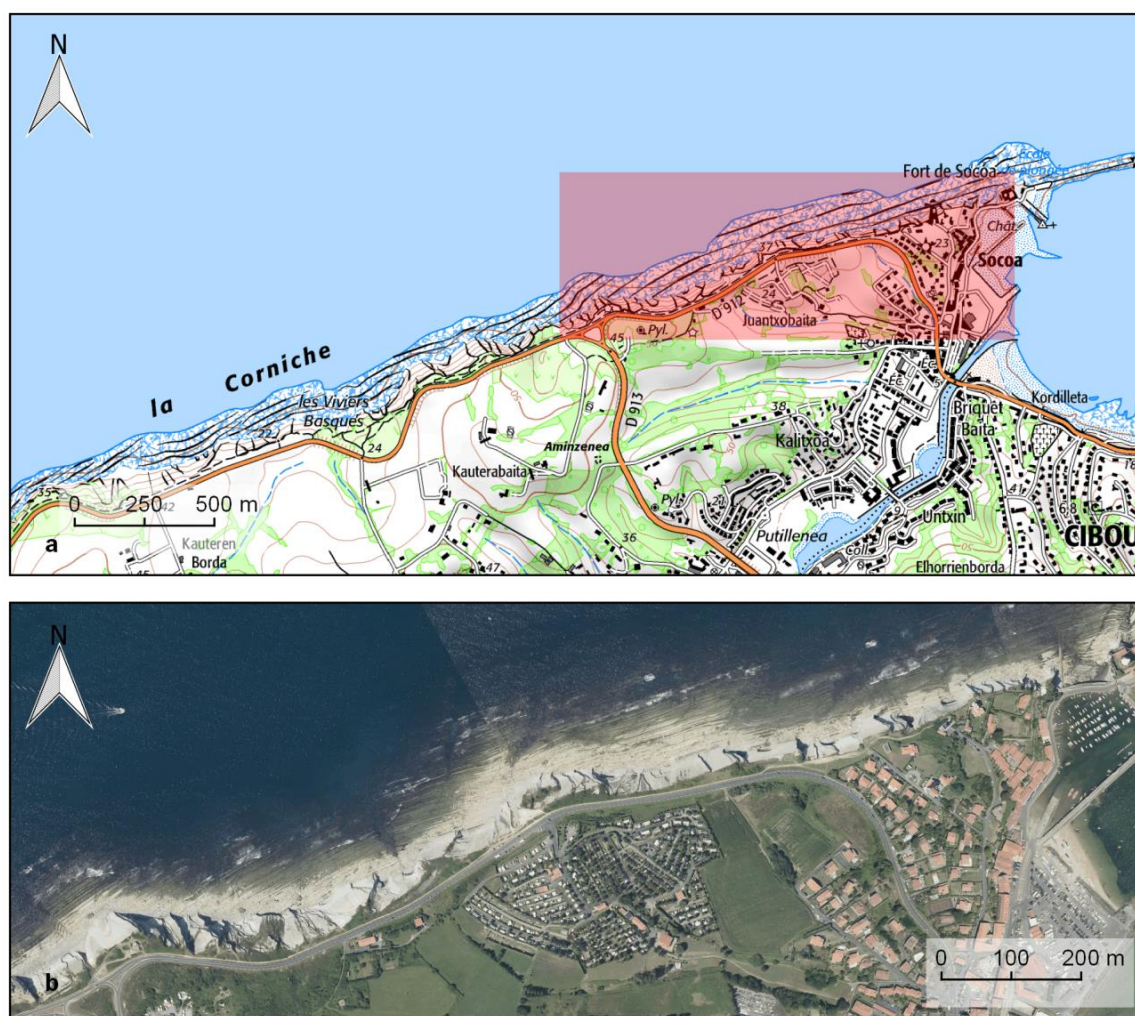


Illustration 1 : Localisation du secteur étudié.

Au droit de la zone d'étude, la falaise est formée par les alternances de bancs calcaires et marneux de la série des flyschs du Crétacé supérieur. Ces bancs ont un pendage compris entre 30 et 55° vers le NNW (Aubié, Mathon, & Genna, 2009), formant ainsi de larges surfaces structurales à pendage conforme, faisant face à l'océan.

La D912 et le Sentier du littoral longent le sommet de la falaise : par endroits, à une distance de quelques mètres à dizaines de mètres du sommet de l'escarpement.

## 1.2. OBJECTIFS

La falaise de la Corniche est soumise à l'érosion marine et est, de ce fait, le siège de différents types de phénomènes d'instabilité ou d'évolution morphologique (Aubié, Mathon, & Genna, 2009) :

- des glissements banc sur banc, favorisés par les discontinuités mécaniques constituées par les bancs marneux (ex : glissement du secteur du carrefour D912 / D913) ;
- des sous-cavages en pied de falaise, se développant par érosion régressive à la faveur de fractures et de failles (ex : grotte du Sémaphore à Ciboure, illustration 2).



Illustration 2 : Grotte du Sémaphore à Ciboure (Garnier, 2013).

La falaise de la Corniche a fait l'objet à plusieurs reprises de relevés 3D aéroportés (LiDAR et photogrammétrie). Le levé réalisé dans le cadre de ces travaux constituait la première acquisition 3D de ce linéaire de falaise depuis le sol. Les objectifs de cette acquisition étaient les suivants :

- évaluer la pertinence de l'utilisation du scanner laser mobile ZEB-REVO, en terme de qualité de la donnée et de facilité de mise en œuvre pour la numérisation 3D, et évaluer le suivi de l'évolution de la falaise ;
- compléter les levés aéroportés dans les zones sous-cavées, non visibles depuis le ciel (Vanneschi, Eyre, Francioni, & Coggan, 2017) ;
- compléter la chronique de données 3D disponibles sur le secteur, afin d'améliorer la compréhension des processus d'érosion.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. LE SCANNER LASER MOBILE ZEB-REVO

Le scanner laser mobile utilisé pour la numérisation 3D est le modèle ZEB-REVO, développé par le CSIRO<sup>1</sup> (Zlot & Bosse, 2014; Bosse, Zlot, & Flick, 2012) et commercialisé par la société GEOSLAM.

La tête du scanner (Illustration 3a) est constituée d'un scanner laser 2D, émettant des rayons infrarouges dans un plan, sur une plage de 270° avec un incrément d'angle de 0,625° entre chaque rayon, soit 432 rayons sur 270°. La fréquence du scanner est de 100 Hz, ce qui équivaut donc à une fréquence d'acquisition de 43 200 points/s.

Le scanner est surmonté d'une centrale inertielle qui fournit en continu l'attitude de la tête du scanner. L'ensemble -scanner 2D et centrale inertielle- est mis en rotation par un moteur, permettant ainsi une émission sur 360° autour de l'axe de rotation.

Les données acquises par le scanner et la centrale inertielle sont transmises par un câble à la centrale d'acquisition (Illustration 3b) qui se trouve dans un sac à dos porté par l'opérateur (Illustration 4). L'appareil est alimenté par une batterie Li-ion qui permet plusieurs heures d'autonomie.

Les principales caractéristiques de l'appareil sont reportées dans le tableau 1.

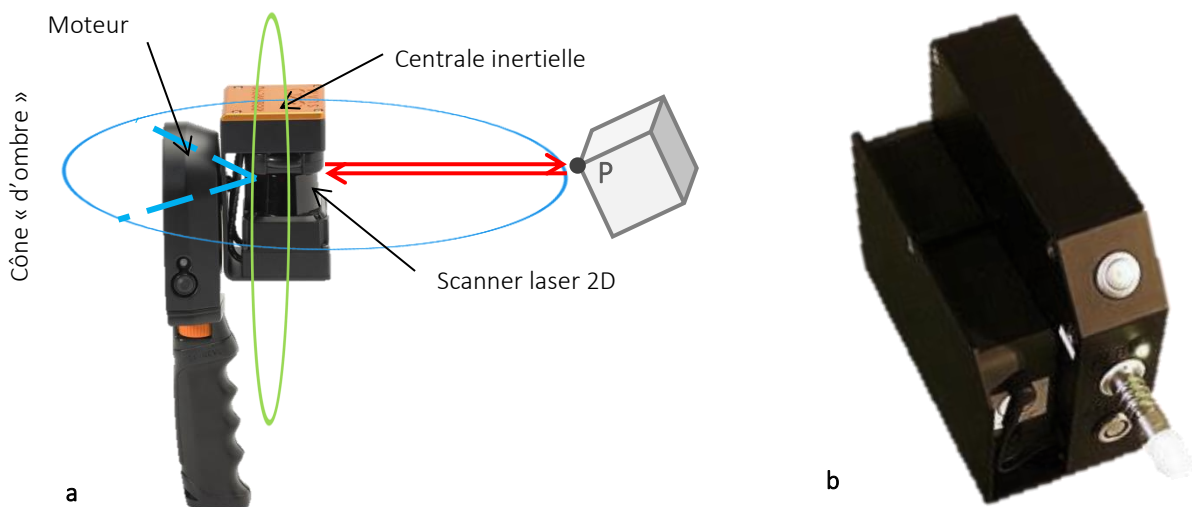


Illustration 3 : Scanner laser mobile ZEB-REVO. a) Tête du scanner. b) Centrale d'acquisition.

<sup>1</sup> Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation





Illustration 4 : Acquisition 3D au ZEB-REVO.

<b>Portée</b>	30 m en conditions idéales <b>15-20 m</b> en conditions normales
<b>Résolution</b>	Horizontale : 0,625° (~10 cm à 10 m) Verticale : 1,8°
<b>Fréquence d'acquisition</b>	432 pts @ 100Hz → <b>43 200 pts/s</b>
<b>Champ de vision</b>	<b>270° x 360°</b>
<b>Précision relative</b>	<b>2-3 cm</b>
<b>Précision de la position absolue</b>	<b>3-30 cm</b> (pour une boucle de 10 min, variable en fonction du milieu d'acquisition)

Tableau 1 : Caractéristiques du ZEB-REVO (données constructeur).

## 2.2. ACQUISITION

### 2.2.1. Déroulement de la campagne

La campagne d'acquisition s'est déroulée du 21 au 23 juin 2017, en période de moyennes et grandes marées (coefficients de marée de 70 à 96), permettant ainsi un temps de travail plus important sur l'estran à marée basse.

En fonction des horaires de marées, la mission a été organisée de la façon suivante :

- 21 juin après-midi (haute mer, temps ensoleillé) : reconnaissance du site et acquisition en sommet de falaise dans le secteur du sémaphore de Socoa ;

- 22 juin matin (basse mer, temps couvert) : acquisition en pied de falaise dans le secteur du sémaphore - Fort de Socoa (Illustration 5a) ;
- 22 juin après-midi (haute mer, temps couvert, vent) : acquisition en sommet de falaise depuis le secteur du sémaphore, sur une distance de 500 m vers l'ouest (Illustration 5b) ;
- 23 juin matin (basse mer, temps couvert, vent) : acquisition en sommet de falaise dans deux zones soumises à des sous-cavages et des glissements banc sur banc. Acquisition en pied de falaise dans ces mêmes secteurs.



*Illustration 5 : Acquisition sur l'estran en basse mer (a), en sommet de falaise (b).*

### 2.2.2. Méthode d'acquisition

La tête du scanner laser mobile ZEB-REVO est tenue à la main par un opérateur et reliée à la centrale d'acquisition, située dans un sac-à-dos porté par l'opérateur (Illustration 4b).

L'appareil scanne son environnement au fur et à mesure des déplacements de l'opérateur. En fonction de la complexité du milieu et de la densité de points souhaitée, l'opérateur progresse plus ou moins rapidement. La vitesse de progression est couramment comprise entre 1,5 et 3 km/h.

L'acquisition se fait sous forme de boucles dont la durée ne doit pas excéder 25 min, ceci afin d'éviter, d'une part une dérive trop importante lors de la reconstitution de la trajectoire et, d'autre part de générer des fichiers de données trop volumineux difficiles à manipuler par la suite. Idéalement les boucles ont une durée de 10 à 15 min.

Lorsque la zone d'étude est trop étendue pour être scannée en une seule boucle, plusieurs boucles successives sont réalisées. Une zone de recouvrement d'environ 30 % doit être prévue entre deux boucles adjacentes, afin de permettre le raccordement ultérieur des nuages de points entre eux.

Bien que le scanner puisse être initialisé dans n'importe quelle position (le plus souvent posé au sol), des tests méthodologiques (Dewez, Thuon, Yart, Plat, & Pannet, 2017) ont permis de montrer qu'un démarrage de l'acquisition en position verticale avec la tête du scanner face à l'Est permettait d'obtenir des nuages de points correctement orientés par rapport au Nord. Le scanner est donc fixé sur un trépied et orienté de façon adéquate pour l'initialisation (Illustration 6). Après une dizaine de secondes d'acquisition, le scanner est décroché du trépied et l'opérateur peut commencer la boucle. A la fin de celle-ci, le scanner est réinstallé en station au point de départ sur le trépied pendant quelques secondes avant l'arrêt de l'acquisition.

Afin de pouvoir replacer les données acquises dans un référentiel géographique, des points de référence sont disposés sur l'ensemble de la zone à investiguer. Ces points sont matérialisés par des cônes en plastiques de 30 cm de haut.

Chaque boucle d'acquisition comporte au minimum quatre points de référence ; et, deux boucles adjacentes ont au minimum deux points en commun. Les cônes qui les matérialisent sont scannés avec attention (Illustration 7a) ; la position de leurs sommets est relevée au GPS différentiel Trimble GeoXH 6 000, avec une précision décimétrique (Illustration 7b). Les cônes de référence constituent des points de repères géolocalisés facilement identifiables dans les nuages de points (Illustration 7c).





*Illustration 6 : Initialisation du scanner sur trépied. a) Vue générale. b) Détail de la tête du scanner.*

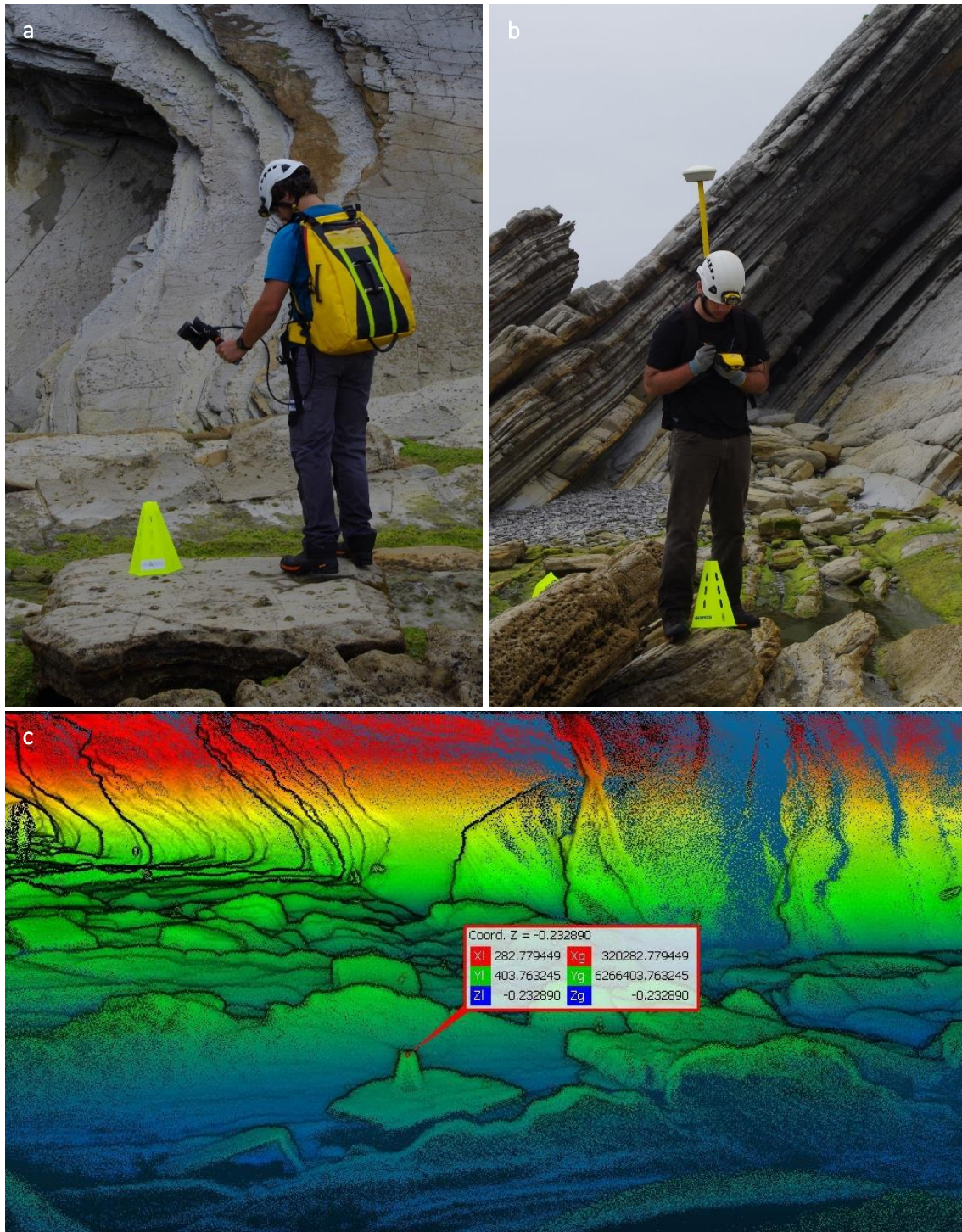


Illustration 7 : Repérage des cônes de référence. a) Scan d'un cône de référence. b) Levé de la position d'un cône de référence au DGPS. c) Identification dans un nuage de points.



## 2.3. POST-TRAITEMENT

### 2.3.1. Génération des nuages de points 3D

Les données du scanner sont déchargées de la centrale d'acquisition sur une clé USB, après chaque demi-journée d'acquisition.

Les fichiers, au format zip produits par le scanner, sont importés dans le logiciel dédié GeoSLAM Desktop, pour y être transformés en nuages de points 3D. Le rapport de taille entre le fichier d'acquisition et le nuage 3D est de l'ordre de 1 pour 10.

Le traitement repose sur un algorithme de type SLAM<sup>2</sup> (Bosse, Zlot, & Flick, 2012). Il consiste à découper l'espace en voxels<sup>3</sup> et à y rechercher des singularités mesurées par le scanner à différents moments, donc depuis différents points de vue. Les mesures de distances réalisées par le scanner, couplées aux données issues de la centrale inertielle, permettent à l'algorithme de reconstituer la trajectoire suivie par le scanner au cours de l'acquisition, puis de construire le nuage de points 3D de son environnement.

Les fichiers habituellement produits à l'issue du post-traitement sont décrits dans le tableau 2. D'autres formats de sortie peuvent être configurés dans GeoSLAM Desktop pour des besoins spécifiques.

Fichier	Description
AAAA-MM-JJ_HH-MM-SS.config.json	Fichier de configuration
AAAA-MM-JJ_HH-MM-SS_50pct_cond.ply	Nuage de points 3D au format PLY, décimé à 50% et coloré avec une échelle de couleur rendant compte de l'efficacité de l'algorithme (rouge : mauvaise, bleue : bonne)
AAAA-MM-JJ_HH-MM-SS_traj.txt	Trajectoire au format texte
AAAA-MM-JJ_HH-MM-SS_traj2.ply	Trajectoire au format PLY
AAAA-MM-JJ_HH-MM-SS_ts.las	Nuage de points 3D complet au format LAS
parameters.yaml	Fichier de configuration

Tableau 2 : Fichiers produits à l'issue du post-traitement.

### 2.3.2. Géoréférencement des nuages de points

Les nuages de points correspondant à chaque boucle d'acquisition sont géoréférencés individuellement, en assignant les coordonnées X, Y et Z des points de référence, levées au DGPS aux sommets des cônes identifiés visuellement dans les nuages de points (Illustration 7c). Cette opération permet de positionner les nuages de points les uns par rapport aux autres et en absolu avec une précision de l'ordre 50 cm.

Les nuages de points géoréférencés sont ensuite fusionnés en un unique nuage global.

<sup>2</sup> Simultaneous Localization And Mapping

<sup>3</sup> Subdivision de l'espace en volumes élémentaires. Equivalent du pixel en 3D



## 3. Résultats

### 3.1. DESCRIPTION GENERALE

28 boucles ont été levées au ZEB-REVO, au cours de la campagne d'acquisition à Socoa. Le tableau 3 fournit les principales statistiques relatives aux boucles réalisées. Leur emprise est reportée sur les illustrations 8 à 10.

Les 28 boucles réalisées, d'une durée moyenne de 13 min, pour une longueur de 500 m chacune, ont permis de couvrir un peu plus de 6 ha en 6h10 d'acquisition, soit environ 3 ha par jour de présence sur site.

Un linéaire d'environ 900 m a été couvert en pied de falaise, en 3h d'acquisition effective, réparties sur deux demi-journées (22 juin matin et 23 juin matin). En sommet de falaise, les levés ont été réalisés sur 1 050 m environ, en 3h10 d'acquisition effective, réalisées le 21 juin en fin de journée, le 22 juin dans l'après-midi et en début de matinée du 23 juin.

Le nuage de points 3D global, issu de la fusion de l'ensemble des boucles, compte près de 300 millions de points.

68 points de référence, matérialisés par des cônes répartis sur l'ensemble de la zone investiguée, ont été levés au GPS différentiel. La localisation de ces points est reportée sur les illustrations 8 à 10. Leurs coordonnées en RGF93/Lambert 93 figurent en annexe 1.

Boucle n°	Nom	Longueur (m)	Durée (hh:mm:ss)	Vitesse moyenne (km/h)	Superficie couverte (m²)	Nombre de points (x10 <sup>6</sup> )	RMS géoréférencement (m)
1	2017-06-21_17-38-24	268	00:11:07	1,4	637,5	9,1	0,12
2	2017-06-21_17-51-14	259	00:07:50	2,0	316	5,0	0,33
3	2017-06-21_18-03-33	530	00:15:03	2,1	1457	8,8	0,49
4	2017-06-21_18-24-22	726	00:15:17	2,8	2400,5	11,5	0,41
5	2017-06-21_18-44-41	655	00:13:35	2,9	544,5	10,0	0,50
6	2017-06-22_08-41-07	423	00:14:08	1,8	2334,25	13,1	0,25
7	2017-06-22_09-00-27	279	00:11:51	1,4	1681	9,4	0,22
8	2017-06-22_09-21-57	471	00:13:59	2,0	3207,25	12,8	n.c
9	2017-06-22_09-44-57	462	00:14:21	1,9	3129,75	12,2	0,15
10	2017-06-22_10-07-54	526	00:15:56	2,0	2689,75	15,6	0,12
11	2017-06-22_10-30-56	542	00:14:23	2,3	3148	13,2	0,20
12	2017-06-22_10-52-26	379	00:10:27	2,2	1937,25	9,5	n.c
13	2017-06-22_11-09-46	561	00:14:25	2,3	2884,75	13,9	0,19
14	2017-06-22_11-29-42	512	00:12:48	2,4	3682,75	11,6	0,32
15	2017-06-22_11-50-23	298	00:09:12	1,9	847	6,4	0,20
16	2017-06-22_14-09-03	479	00:09:41	3,0	228,75	6,9	0,32
17	2017-06-22_14-23-00	576	00:11:12	3,1	2189,75	7,3	0,77
18	2017-06-22_14-39-35	675	00:13:36	3,0	3240,25	8,5	1,31
19	2017-06-22_15-01-23	611	00:10:57	3,3	3762,5	7,7	1,10
20	2017-06-22_15-32-34	573	00:12:40	2,7	1721	7,9	0,37
21	2017-06-22_15-49-16	546	00:13:27	2,4	1588,25	9,2	0,37
22	2017-06-23_08-18-09	715	00:19:47	2,2	3642,5	14,2	0,17
23	2017-06-23_09-00-00	702	00:13:49	3,0	3169,75	10,3	0,46
Boucle n°	Nom	Longueur (m)	Durée (hh:mm:ss)	Vitesse moyenne (km/h)	Superficie couverte (m²)	Nombre de points (x10 <sup>6</sup> )	RMS géoréférencement (m)
24	2017-06-23_09-18-53	632	00:14:21	2,6	2241,25	10,2	0,60
25	2017-06-23_09-50-09	541	00:15:33	2,1	2153,25	14,9	0,11
26	2017-06-23_10-10-35	501	00:14:13	2,1	2991	13,6	0,44
27	2017-06-23_10-59-13	473	00:13:55	2,0	1791,75	14,0	0,15
28	2017-06-23_11-17-11	440	00:13:12	2,0	2002,75	11,6	0,06
<b>Moyenne Total</b>		<b>513</b>	<b>00:13:14</b>	<b>2,3</b>	<b>-</b>	<b>10,7</b>	<b>0,37</b>
		<b>14354</b>	<b>06:10:45</b>	<b>-</b>	<b>61620,00</b>	<b>298,3</b>	

Tableau 3 : Statistiques relatives aux boucles d'acquisition.

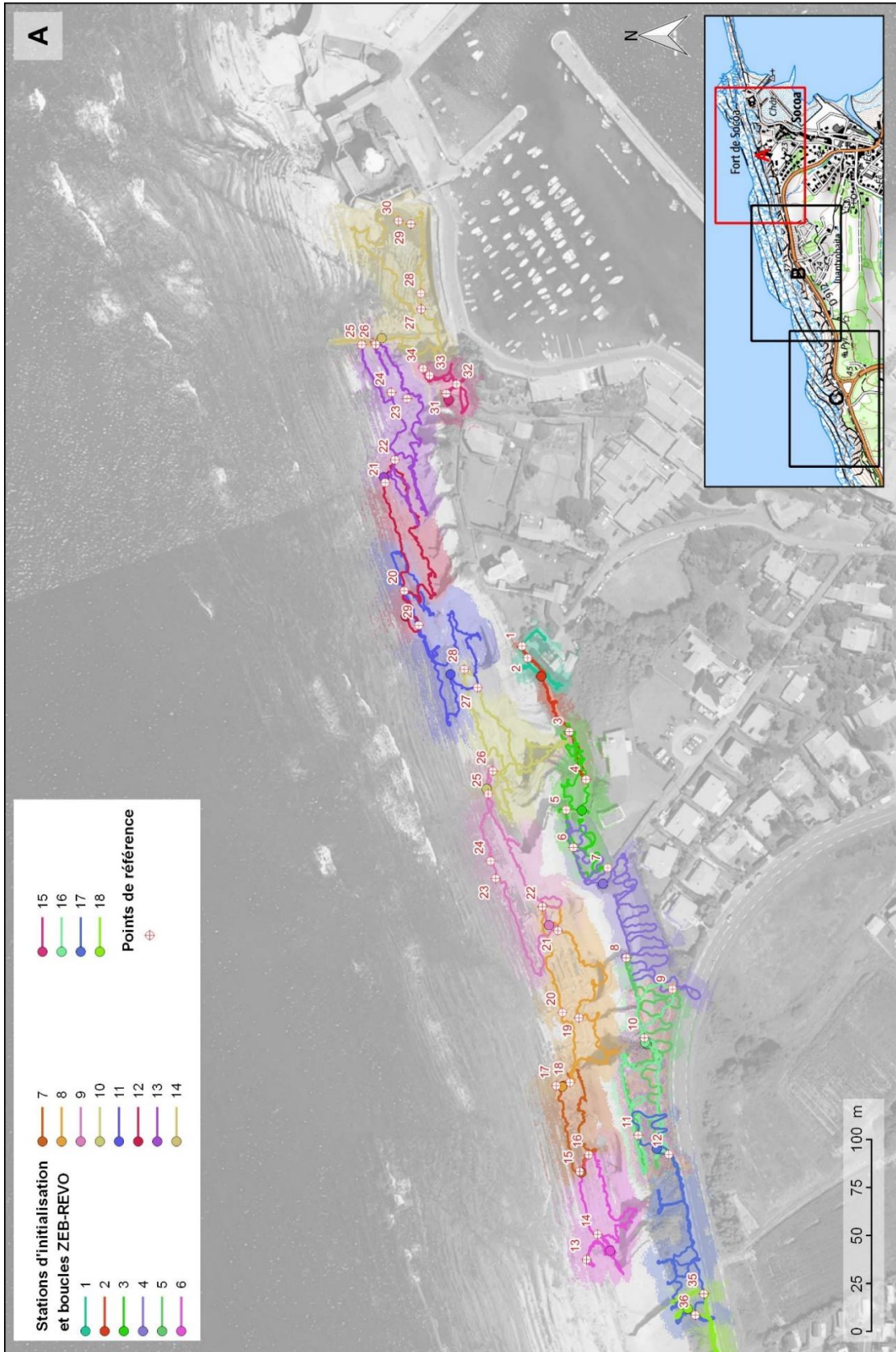


Illustration 8 : Emprise des boucles d'acquisition au ZEB-REVO et localisation des points de référence, secteur Est.





Illustration 9 : Emprise des boucles d'acquisition au ZEB-REVO et localisation des points de référence, secteur Centre.

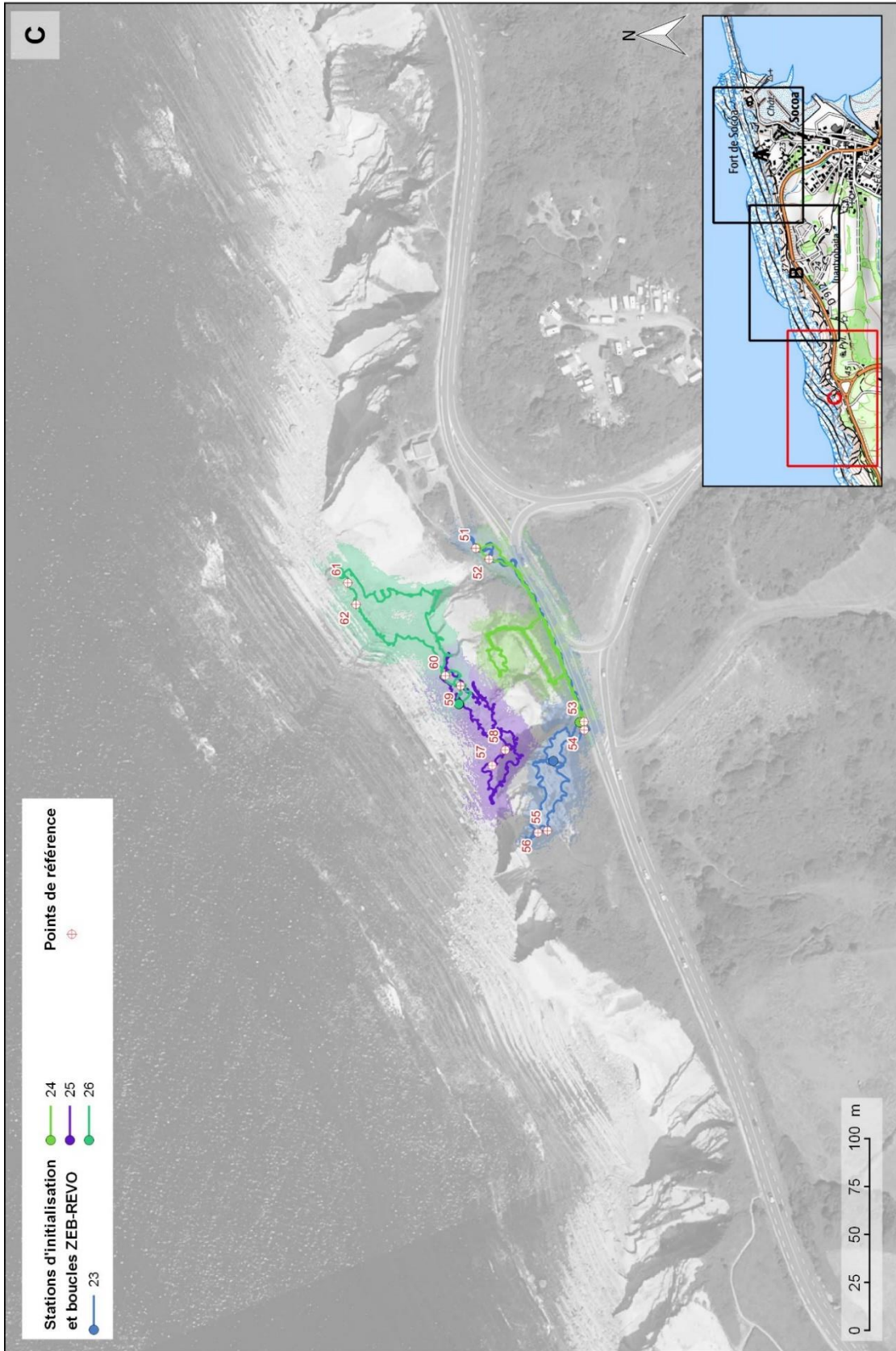


Illustration 10 : Emprise des boucles d'acquisition au ZEB-REVO et localisation des points de référence, secteur Ouest.

## 3.2. QUALITE DES DONNEES

### 3.2.1. Précision des mesures

D'après les données du constructeur, le ZEB-REVO a une précision (i.e. la précision d'une mesure laser ponctuelle) de 2 à 3 cm et une exactitude (i.e. l'écart entre la position d'un point calculée par l'algorithme SLAM et sa position vraie) annoncée entre 3 et 30 cm, pour une boucle d'une durée de 10 min, en fonction des conditions d'acquisition.

Dans la pratique, la qualité du traitement SLAM, et par conséquent l'exactitude du levé, est conditionnée par plusieurs facteurs pouvant introduire une dérive locale ou généralisée dans la reconstitution de la trajectoire :

- la durée de la boucle : plus la boucle est longue, plus le risque de dérive est important ;
- le manque de texture de l'environnement : dans les environnements trop « lisses », l'algorithme ne peut pas identifier de points singuliers à partir desquels reconstruire la trajectoire parcourue ;
- la présence d'objets mobiles (personnes, véhicules, vent dans les arbres, ...) ou d'objets présentant des motifs répétitifs (escaliers, ...) : dans ce cas l'algorithme peut identifier des points singuliers qui ne correspondent pas à un même point de l'espace dans la réalité (ex : objet en déplacement scanné à des positions différentes au cours de l'acquisition, confusion entre deux marches d'un escalier, etc.), ce qui engendre des erreurs dans la reconstitution de la trajectoire ;
- l'absence de points dans une dimension de l'espace : moins les points scannés sont répartis de façon homogène dans les trois dimensions de l'espace, moins l'algorithme est performant.

Le logiciel GeoSLAM Desktop fournit un indicateur qualitatif de la performance de l'algorithme pour chaque boucle sous la forme d'un nuage de points 3D coloré selon la qualité du traitement : de rouge dans les zones où la qualité du traitement est jugée mauvaise, à bleu dans les zones où elle est jugée bonne (Illustration 11).



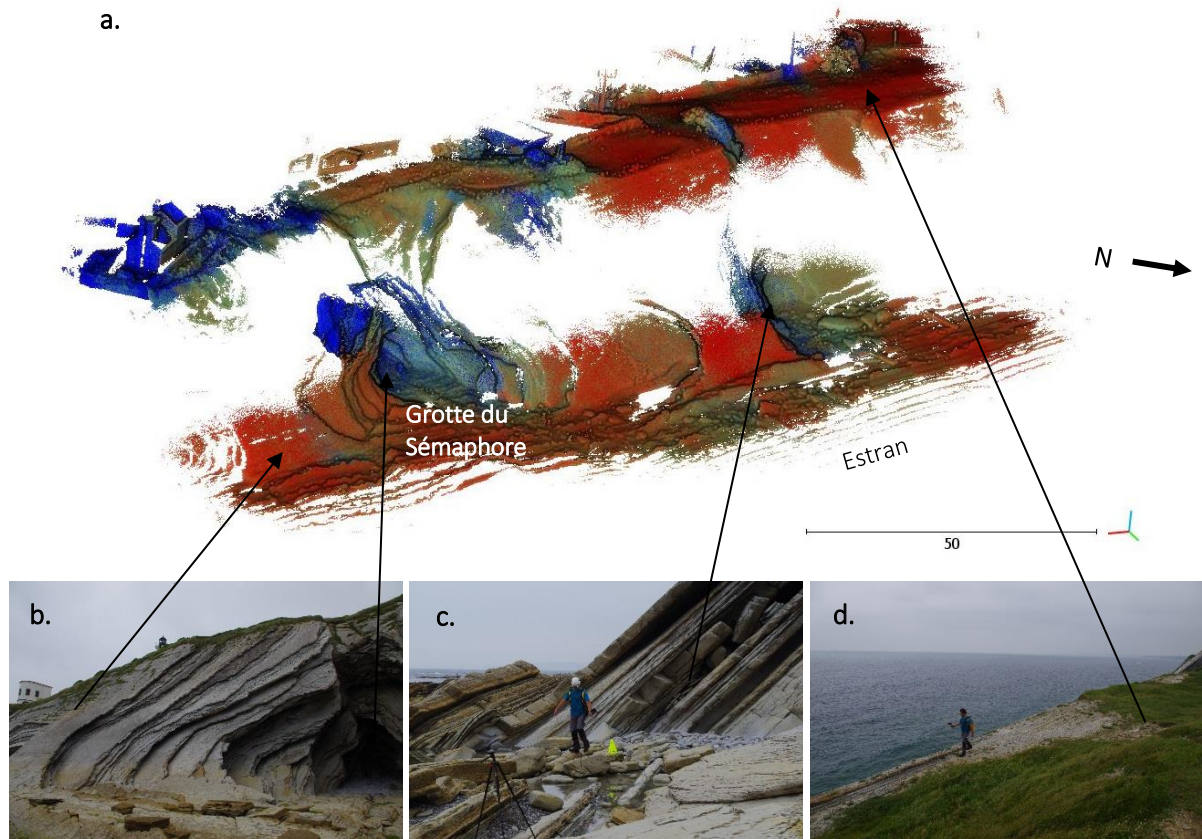


Illustration 11 : Exemple de nuage de points 3D dans le secteur de la grotte du Sémaphore, coloré selon l'indicateur qualitatif de performance de l'algorithme SLAM.

a) Les points colorés en bleu indiquent un traitement de bonne qualité : zones sous-cavée. b) ou présentant un relief marqué. c) Les points rouges indiquent un traitement de qualité moindre : dalles rocheuses. b) et zones planes en sommet de falaise. d) Les zones blanches sont les zones non couvertes par le levé.

Cet indicateur qualitatif est représenté sur la carte de l'illustration 12a. On y observe une majorité de zones colorées en rouge, indiquant que l'algorithme a été globalement peu performant sur ces données. Plus précisément, les zones les moins bien traitées par l'algorithme correspondent au sommet de falaise (Illustration 11b), dans une zone herbeuse relativement étendue en partie Est du tronçon étudié, ainsi que le long du Sentier du littoral qui borde la D912.

Ces zones cumulent plusieurs facteurs susceptibles de perturber le fonctionnement de l'algorithme :

- il s'agit d'espaces ouverts et relativement plats, présentant peu d'objets dans la dimension Z ;
- ces zones comportent de nombreux objets mobiles : voitures, piétons et vent dans la végétation.

Au contraire, certaines zones apparaissent colorées en bleu, sur les illustrations 11 et 12a, indiquant une bonne qualité du traitement SLAM dans ces secteurs. Il s'agit notamment des abords du phare de Socoa en sommet de falaise, des environs du Fort de Socoa à l'extrémité Est de la zone d'étude, et de quelques zones localisées de la falaise (Illustrations 11b et c). Ces secteurs constituent tous un environnement présentant une certaine rugosité et des réflecteurs relativement bien répartis dans les trois dimensions : bâtiments, végétation haute (en l'absence de vent), reliefs, ...

La plupart des zones de pied de falaise apparaissent dans des teintes vertes, indiquant une qualité de traitement intermédiaire. Les blocs et bancs rocheux présents sur l'estran constituent en effet des éléments environnementaux dont la présence améliore la qualité du traitement. Néanmoins la répartition des réflecteurs dans l'espace est là encore hétérogène. La proximité de la falaise, constituée par une

surface structurale lisse, ne semble pas être suffisante pour améliorer significativement la qualité du traitement.

### 3.2.2. Qualité du géoréférencement

La qualité du géoréférencement des différents nuages de points 3D est dépendante des facteurs suivants :

- précision du levé GPS des points de référence ;
- qualité du scan des points de référence et de leur identification dans les nuages de points ;
- qualité du traitement SLAM.

Les mesures réalisées au DGPS sont affectées d'une incertitude intrinsèque décimétrique en X, Y et Z. Au cours des levés des points de référence, l'antenne du GPS était fixée à une perche montée sur un sac-à-dos porté par l'opérateur. Pendant la mesure, celui-ci positionnait l'antenne à l'aplomb du cône matérialisant le point de référence. L'incertitude sur le positionnement de l'antenne est estimée à 30 cm, portant ainsi l'incertitude totale sur la localisation des points de référence à environ 40 cm.

L'illustration 12 et le tableau 3 présentent l'erreur résiduelle à l'issue du géoréférencement, pour chaque boucle d'acquisition. La qualité du géoréférencement est jugée bonne, lorsque l'erreur résiduelle est inférieure ou égale à la précision du levé GPS des points de référence, soit 40 cm.

On constate là encore que les erreurs maximales sont observées sur les boucles réalisées en haut de falaise. La corrélation, entre les boucles présentant des erreurs de géoréférencement élevées et une mauvaise qualité du traitement SLAM (Illustration 12), laisse supposer que la mauvaise qualité du géoréférencement est due à des déformations du nuage de points, générées par l'algorithme.

Les RMS de géoréférencement maximales sont observées pour les boucles n°18 et 19 avec des valeurs de 1,31 m et 1,10 m respectivement. Ces deux boucles, acquises le long du Sentier du littoral, en sommet de falaise, cumulent plusieurs facteurs défavorables susceptibles d'expliquer des distorsions dans les nuages de points :

- milieu ouvert (cf. § 3.2.1) ;
- trajectoires relativement linéaires de type « aller/retour » ;
- nombreux objets en mouvements : véhicules circulant sur la RD912, piétons sur le sentier, vent dans la végétation.

Les boucles réalisées en pied de falaise, à l'exception de la boucle n°26, ont toutes été géoréférencées avec une erreur inférieure ou égale à 40 cm. L'erreur résiduelle moyenne sur l'ensemble des boucles est de 37 cm.

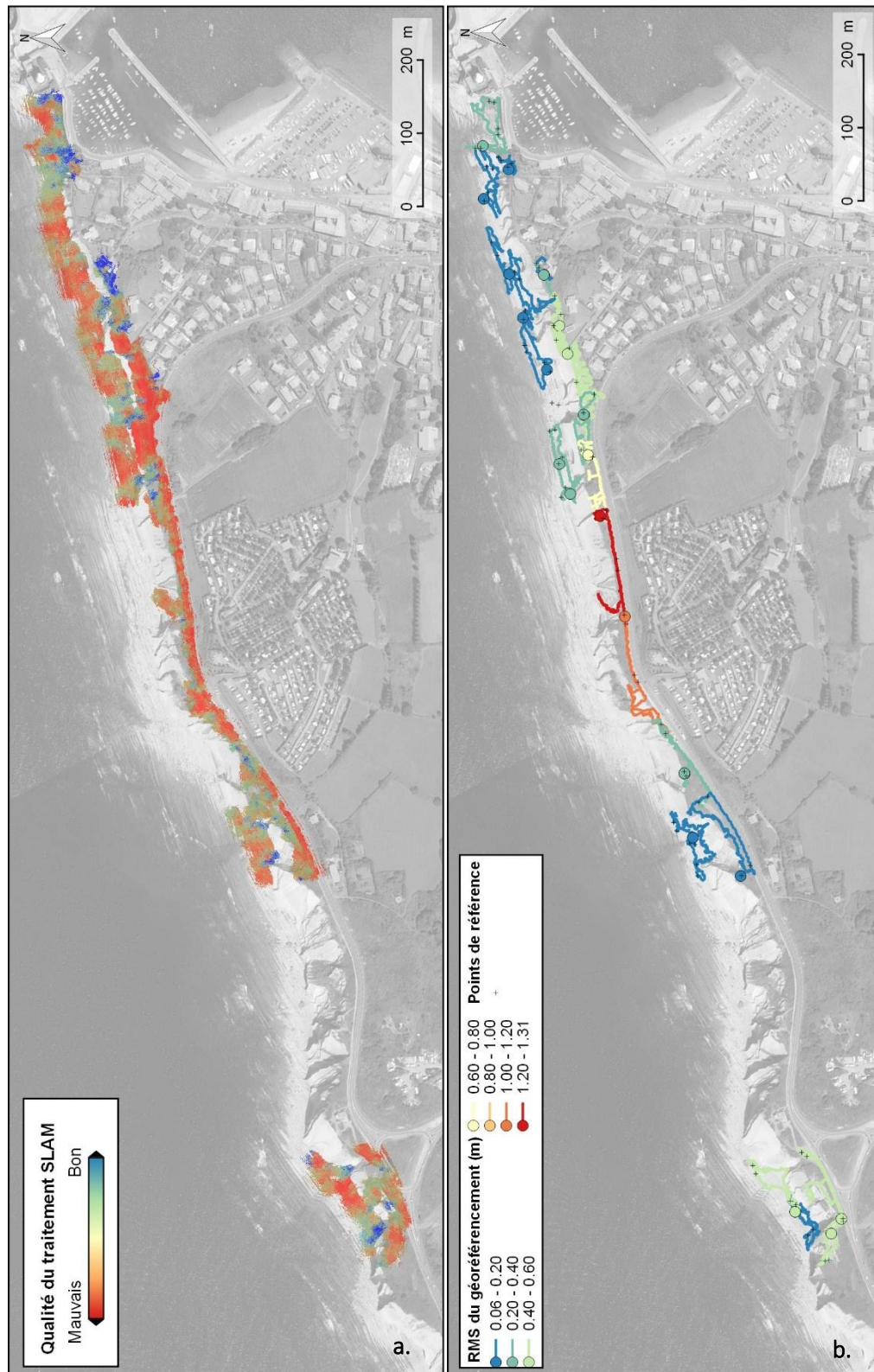


Illustration 12 : Qualité des données. a) Indicateur de qualité du traitement SLAM. b) Erreur résiduelle du géoréférencement des boucles d'acquisition.

### 3.2.3. Portée du scanner ZEB-REVO

D'après les données du constructeur, le scanner ZEB-REVO a une portée maximale de 30 m en conditions optimales, en intérieur<sup>4</sup>. En extérieur, la portée annoncée par le fabricant est de 15 à 20 m, en fonction des conditions.

L'illustration 13 présente la distribution des distances points - trajectoires pour l'ensemble des boucles d'acquisition. La portée maximale du scanner a été de 28,8 m, cependant 95 % des points scannés se trouvent à moins de 4,30 m de la trajectoire, et 50 % se trouvent à moins de 1,45 m.

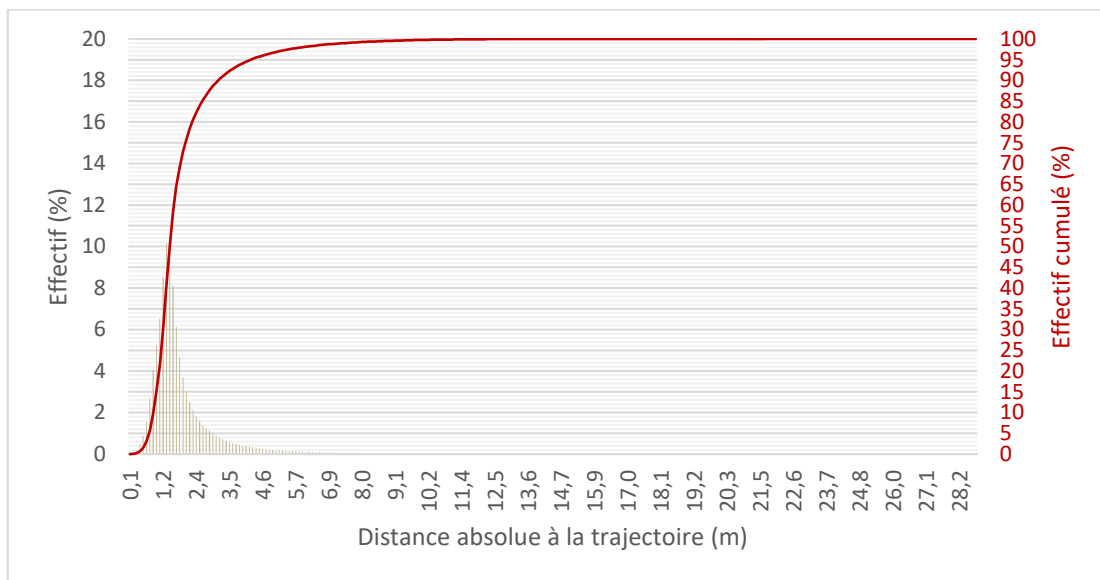


Illustration 13 : Distance des points scannés à la trajectoire.

La portée maximale du ZEB-REVO apparaît donc très inférieure aux caractéristiques fournies par le fabricant. Une raison probable de cette faible portée est la présence de lumière ambiante, qui perturbe la réflexion des rayons émise par le scanner. En effet, des levés réalisés dans l'obscurité totale en cavité souterraine ont permis d'atteindre une portée de 35 m (Dewez, Thuon, Yart, Plat, & Pannet, 2017).

Cette limitation induit l'existence de « trous » dans les nuages de points dans les zones difficiles d'accès, et notamment la falaise. La partie intermédiaire de la falaise n'est, par conséquent, pas couverte par les levés.

### 3.3. CAS DE LA GROTTTE DU SEMAPHORE

La grotte du Sémaphore constitue un point d'intérêt particulier de la zone d'étude, d'une part parce qu'elle constitue un sous-cavage susceptible de favoriser une instabilité de terrain pouvant affecter les enjeux situés à l'aplomb (Sentier du littoral, habitation), et d'autre part parce que c'est un objet qui ne peut pas être étudié via les techniques classiques de topographie 3D aéroportées.

Le scan de la grotte au ZEB-REVO permet d'obtenir un modèle 3D géoréférencé de la cavité et des terrains qui la surplombent (Illustration 14). Le scanner laser mobile se révèle particulièrement utile dans cette configuration puisqu'il donne accès à une information 3D sur l'ensemble de la cavité, notamment dans les vides créés par l'érosion différentielle des marnes entre les bancs calcaires (Illustration 15). La topographie 3D de ces zones d'érosion n'est à l'heure actuelle possible avec aucun autre instrument, aéroporté ou terrestre.

<sup>4</sup> Portée maximale en intérieur sur charte Kodak blanche (réflectance 90%)



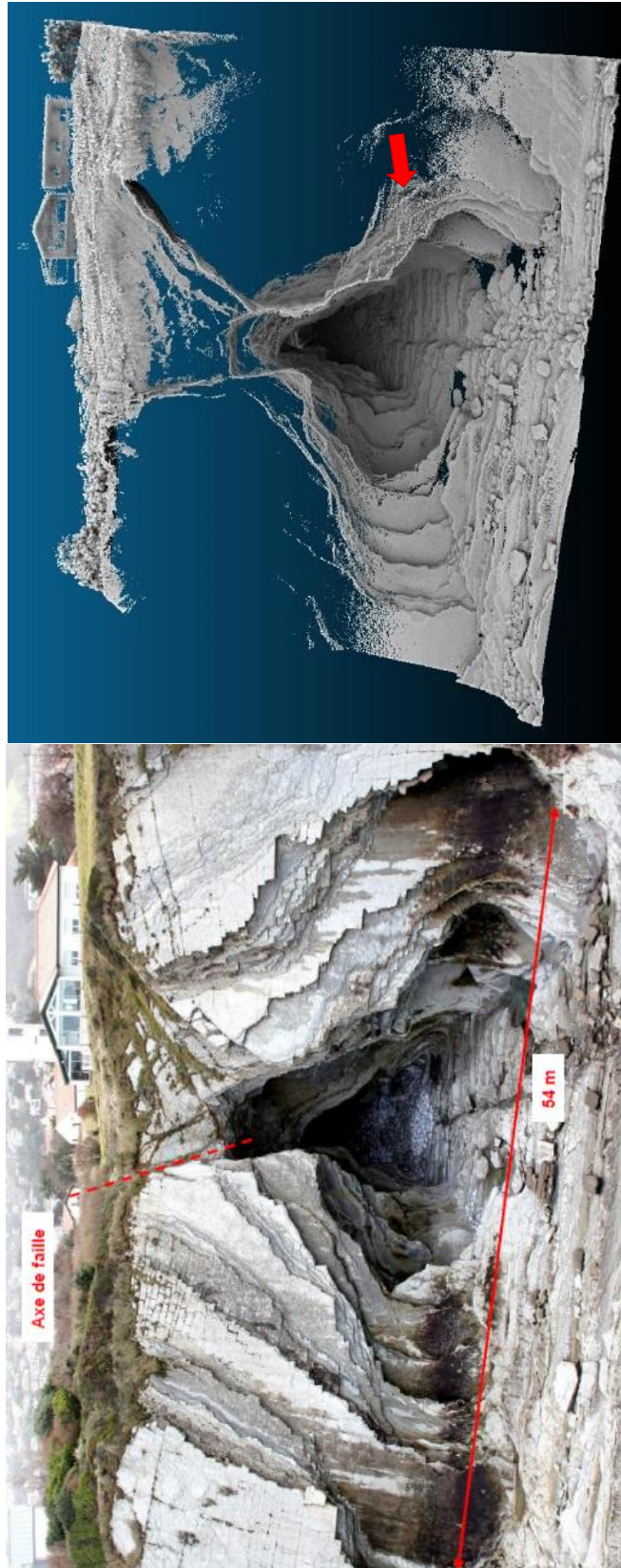


Illustration 14 : Entrée de la grotte du Sémaphore. Photographie et vue en perspective du modèle 3D. La flèche rouge représente le point de vue de l'illustration 15a.

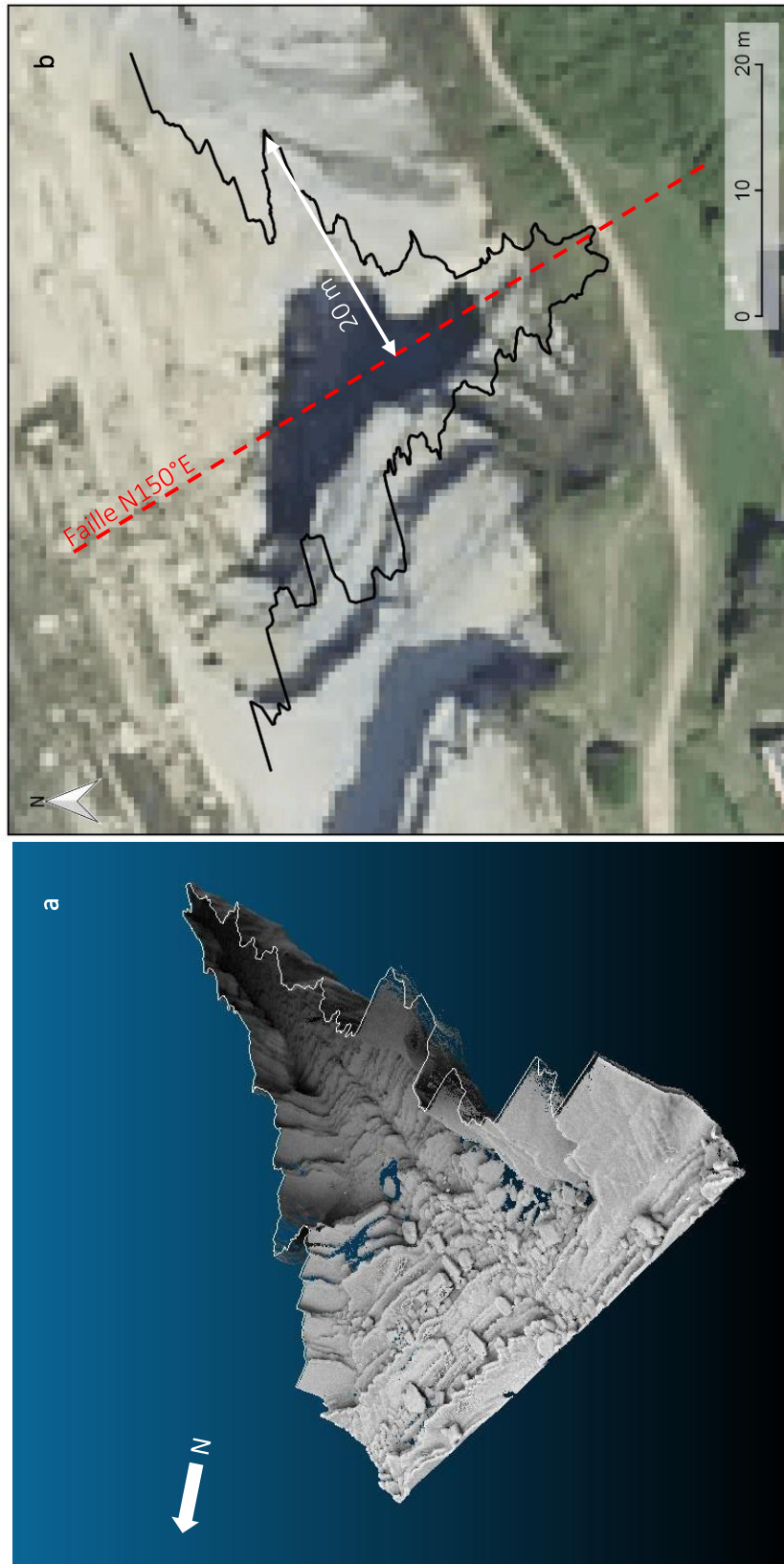


Illustration 15 : Illustration du phénomène d'ablation latérale dans la grotte du Sémaphore. a) Section en plan de la cavité à l'altitude 3 m NGF. b) Report du profil de la cavité sur BDOOrtho.

Le nuage de points 3D de la cavité permet de documenter le processus d'érosion différentielle des bancs calcaires et marneux qui constituent les flyschs. L'illustration 15 met en évidence une ablation latérale des bancs marneux s'étendant jusqu'à 20 m de part et d'autre de la faille axiale de la cavité, pour les bancs les plus proches de l'estran. Au fond de la cavité, cette ablation est d'environ 3,5 m.

L'illustration 16 représente une vue, en écorché, de la cavité et des terrains sus-jacents dans la direction  $\sim N150^\circ$ , le long de la faille suivant laquelle se développe la cavité. La grotte du Sémaphore s'enfonce de 41,5 m vers le SE depuis le pied de falaise (distance horizontale AB sur l'illustration 16), et de 10,7 m depuis le point haut de l'orifice (distance horizontale BD sur l'illustration 16).

Le toit de la cavité présente un profil très irrégulier, découpé par la stratification des flyschs. Sa hauteur varie de 15,6 m au niveau de l'entrée (distance verticale DE sur les illustrations 16 et 17a), à 7,2 m au fond de la cavité (distance verticale BC sur l'illustration 16).

Le toit de la cavité, au droit de la tête d'escarpement de la falaise, est à une profondeur de 10 m environ (Illustration 17b). Il s'approfondit vers le SSE pour atteindre la profondeur maximale de 20 m au droit de l'ancien tracé du Sentier du littoral.

Le sentier marque en surface la limite méridionale de la cavité. On notera également que la zone sous-cavée s'étend latéralement d'une dizaine de mètres de part et d'autre de l'entrée de la grotte, à proximité du pied de falaise du fait de l'érosion préférentielle des bancs marneux des flyschs.

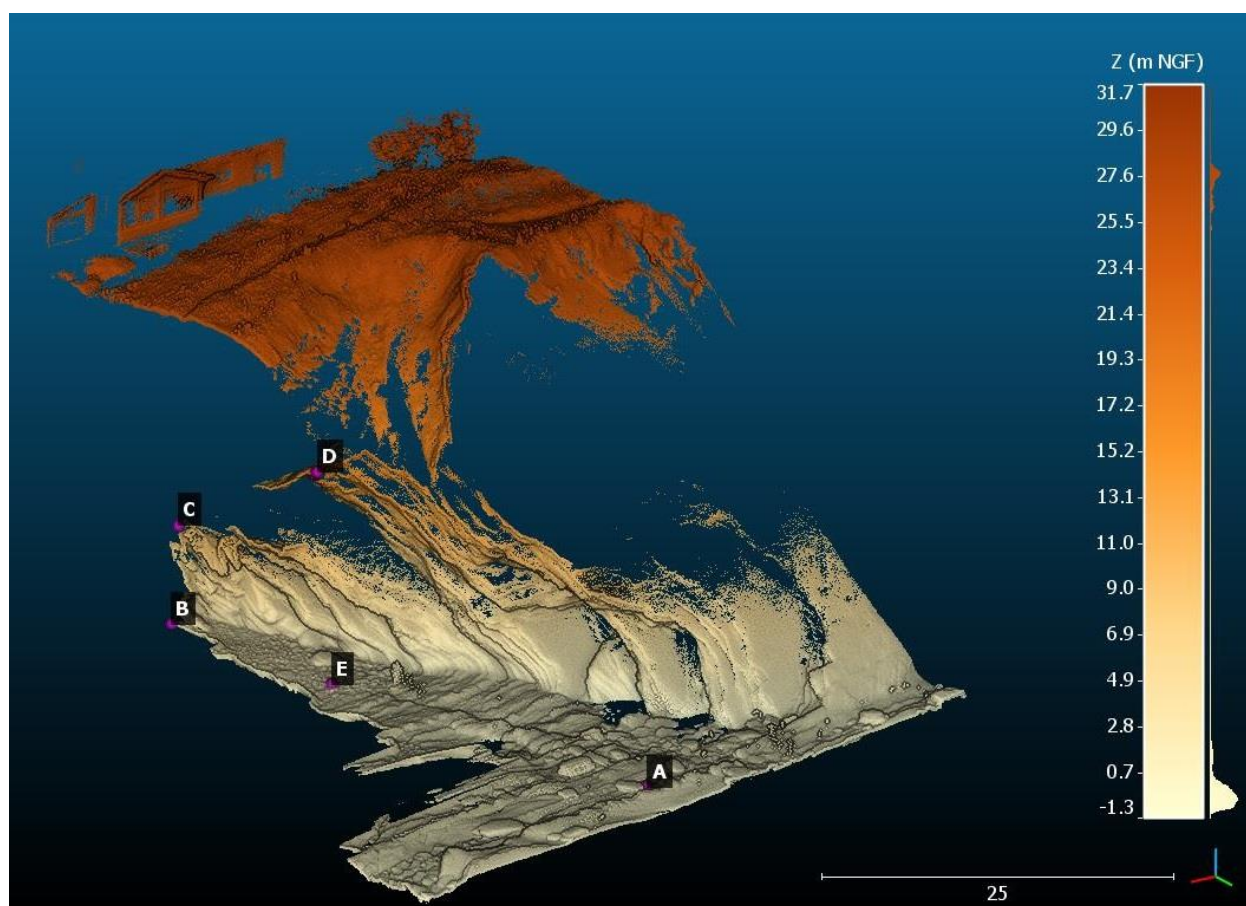


Illustration 16 : Vue 3D écorchée de la grotte du Sémaphore.



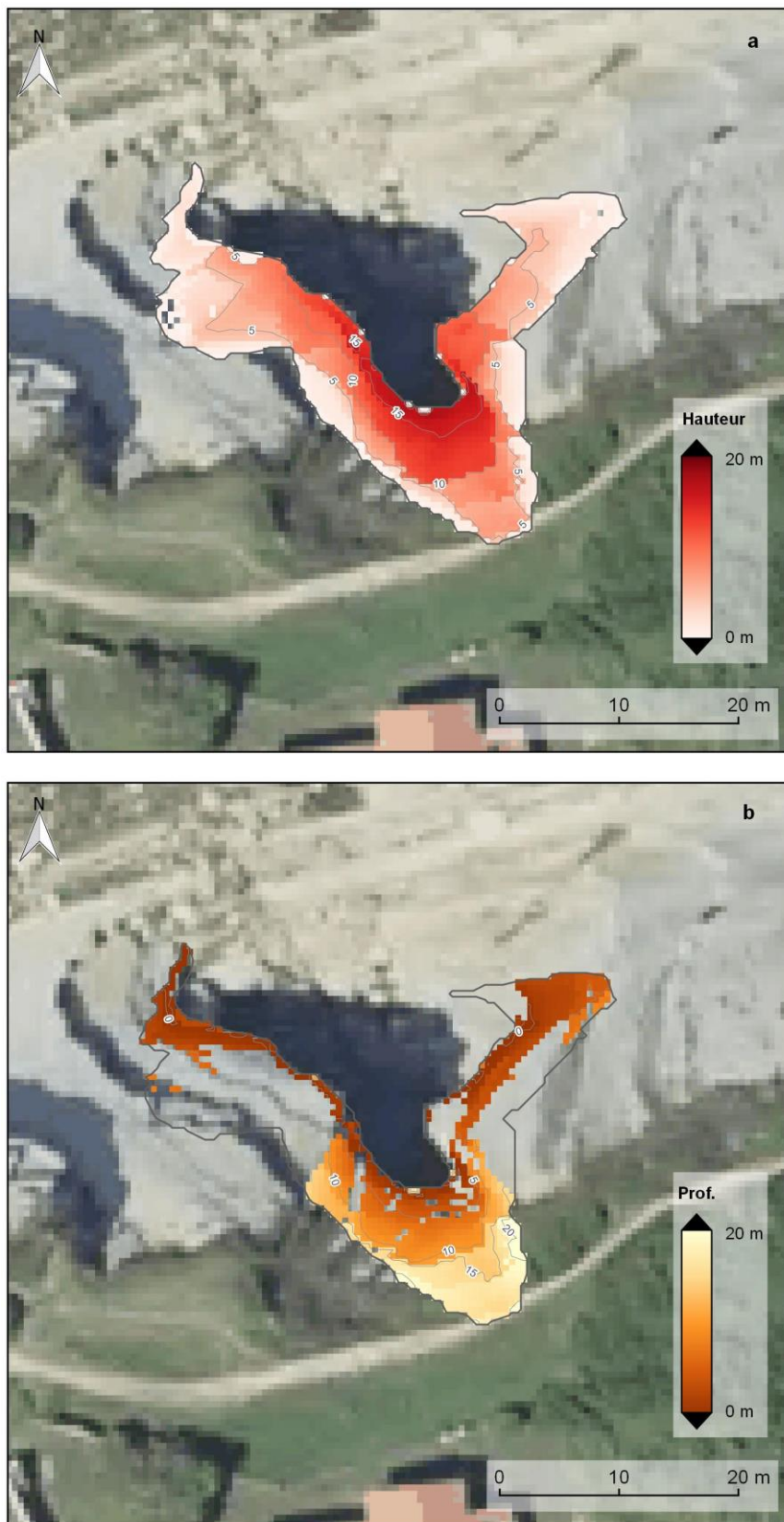


Illustration 17 : Grotte du Sémaphore (la tête de la cavité est figurée en tirets oranges). a) Cartographie de la hauteur de la cavité. b) Cartographie de la profondeur du toit de la cavité.



## 4. Conclusion

Les objectifs de la mise en œuvre d'un levé 3D, à l'aide du scanner ZEB REVO, sur un linéaire de la Corniche Basque d'environ 1 700 m, entre les communes de Ciboure et Urrugne, étaient les suivants :

- évaluer la pertinence de l'utilisation du scanner laser mobile ZEB-REVO, en terme de qualité de la donnée et de facilité de mise en œuvre pour la numérisation 3D, et évaluer le suivi de l'évolution de la falaise ;
- compléter les levés aéroportés dans les zones sous-cavées, non visibles depuis le ciel. ;
- compléter la chronique de données 3D disponibles sur le secteur pour améliorer la compréhension des processus d'érosion.

La campagne d'acquisition, d'une durée de 2 jours, a permis de réaliser 28 boucles couvrant une superficie de 6 ha. En pied de falaise, les levés ont été réalisés sur un linéaire d'environ 900 m en 3 h d'acquisition effective. En sommet de falaise, un linéaire de 1 050 m a été couvert en 3 h 10 d'acquisition effective.

Une attention particulière a été apportée au levé des zones présentant des instabilités gravitaires et des sous-cavages. C'est le cas notamment de la grotte du Sémaphore, située à proximité de Socoa. La cavité se développe sur 30 m environ vers l'intérieur du massif, le long d'une faille orientée N150°. Le sous-cavage présente une hauteur maximale de 15,6 m au niveau de l'entrée. Le toit s'abaisse de façon irrégulière vers le SSE. Au fond de la cavité la hauteur de vide est de 7,2 m. L'extrémité de la cavité est localisée à l'aplomb de l'ancien tracé du Sentier du littoral, à environ 20 m de profondeur. En pied de falaise le sous-cavage se développe également latéralement sur 20 m de part et d'autre de la faille axiale de la cavité par l'érosion préférentielle des bancs marneux.

La géométrie 3D des zones sous-cavées ne peut pas être acquise à l'aide des moyens de topographie 3D aéroportés utilisés classiquement. Le scanner laser mobile ZEB-REVO constitue donc un outil efficace pour l'acquisition de données des zones sous-cavées. Néanmoins, du fait notamment des difficultés d'accès à certaines zones (escarpement, végétation, ...), de la portée restreinte du scanner et des performances réduites de l'algorithme SLAM en milieu exposé à la lumière du jour, l'outil n'apparaît pas adapté pour la couverture exhaustive de grandes étendues. De ce fait il apparaît que le scanner ZEB-REVO apporte un réel bénéfice en étant utilisé en complément des techniques aéroportées sur des secteurs localisés non « visibles » par ces dernières. Sa facilité de mise en œuvre au regard des techniques classiques permet de surcroît d'envisager des acquisitions fréquentes sur un même site afin d'en suivre l'évolution, moyennant l'existence de repères fixes au cours des différentes campagnes.



## 5. Bibliographie

**Aubié S., Mathon C., & Genna A.** (2009). Exposition de la route de la Corniche aux phénomènes naturels (commune d'Urrugne, 64) - Observatoire de la Côte Aquitaine.

**Bosse M., Zlot R. & Flick P.** (2012, Octobre). Zebedee: Design of a Spring-Mounted 3-D Range Sensor with Application to Mobile Mapping. *IEEE Transactions on Robotics*, 28(5), pp. 1-15.

**Dewez T. J., Thuon Y., Yart S., Plat E. & Pannet P.** (2017). Towards Cavity Collapse Hazard Maps with ZEB-REVO Handeld Laser Scanner Points Clouds. *The Photogrammetric Record*, 32(160), pp. 354-376.

**Garnier C.** (2013). Avis relatif à la stabilité du sentier littoral au droit de la cavité dite "du sémaphore", commune de Ciboure.

**Vanneschi C., Eyre M., Francioni M. & Coggan J.** (2017). The Use of Remote Sensing Techniques for Monitoring an Characterization of Slope Instability. *Procedia Engineering*, 191, 150 - 157.

**Zlot R. & Bosse M.** (2014). Efficient Large-scale Three-dimensional Mobile Mapping for Underground Mines. *Journal of Field Robotics*, 31(5), pp. 758-779.



## Annexe 1 : Coordonnées des points de référence

Numéro	X (m - L93)	Y (m - L93)	Z (m - NGF)
1	320347,902	6266388,537	26,792
2	320341,625	6266385,596	26,243
3	320303,298	6266363,834	25,972
4	320278,335	6266355,110	28,036
5	320262,470	6266365,473	28,938
6	320242,906	6266361,745	28,040
7	320232,278	6266343,856	27,158
8	320185,260	6266334,192	21,955
9	320168,967	6266310,026	19,414
10	320143,562	6266324,652	20,754
11	320092,816	6266327,892	17,885
12	320082,831	6266311,894	21,420
13	320028,030	6266354,825	-0,246
14	320041,086	6266349,087	0,036
15	320073,935	6266358,437	-0,202
16	320082,637	6266353,700	-0,377
17	320118,611	6266370,645	-0,177
18	320120,367	6266363,452	-0,120
19	320154,105	6266358,865	1,340
20	320156,810	6266367,444	0,369
20	320376,796	6266449,988	-0,368
21	320199,539	6266369,805	0,844
21	320433,170	6266459,957	-0,088
22	320212,049	6266377,908	0,007
22	320445,015	6266454,915	0,033
23	320226,766	6266402,305	-0,436
23	320477,026	6266448,504	0,968
24	320235,827	6266404,935	-0,540
24	320480,128	6266456,703	-0,323
25	320270,796	6266406,157	-0,334
25	320505,073	6266472,186	-0,413
26	320282,736	6266403,803	-0,283
26	320505,093	6266464,825	1,104
27	320326,259	6266411,803	0,780
27	320523,646	6266441,156	0,609
28	320335,802	6266418,655	-0,054
28	320531,828	6266441,360	0,444
29	320358,781	6266442,389	0,239
29	320567,993	6266446,562	1,346
30	320569,603	6266453,075	0,845
31	320479,567	6266428,066	9,472
32	320484,463	6266422,597	10,959
33	320488,996	6266436,809	14,411
34	320492,624	6266440,198	14,407
35	320010,125	6266293,632	25,141
36	319998,999	6266298,036	25,515
37	319943,671	6266279,300	28,755

Numéro	X (m - L93)	Y (m - L93)	Z (m - NGF)
38	319927,778	6266277,615	29,620
39	319867,343	6266269,041	32,652
40	319854,635	6266267,713	33,329
41	319785,026	6266255,192	36,886
42	319775,272	6266250,216	36,850
43	319717,422	6266218,493	36,040
44	319704,989	6266212,413	35,964
45	319653,055	6266186,830	34,015
46	319646,833	6266184,506	33,566
47	319618,801	6266154,815	33,941
48	319611,255	6266167,560	28,121
49	319524,747	6266097,039	38,586
50	319510,891	6266108,935	36,706
51	319132,437	6266026,956	40,718
52	319126,785	6266020,014	40,340
53	319041,930	6265970,530	37,464
54	319037,592	6265970,348	36,920
55	318985,078	6265989,542	26,558
56	318984,017	6265994,528	26,119
57	319019,070	6266018,385	2,119
58	319027,130	6266011,541	4,187
59	319060,661	6266034,885	2,566
60	319065,942	6266042,811	1,603
61	319114,401	6266093,674	-0,128
62	319103,163	6266089,389	0,621
63	319571,875	6266197,096	-0,073
64	319583,583	6266201,512	1,485
65	319554,535	6266179,570	-0,175
66	319553,332	6266172,528	0,073
67	319526,062	6266170,103	0,061
68	319510,487	6266168,797	-0,352

## Annexe 2 : Données numériques

Dossier/Fichier	Description
<b>Nuages de points 3D</b>	
Données brutes	Nuages de points 3D et métadonnées associées générés par GeoSLAM Desktop
Trajectoires Lambert93	Nuages de points 3D géoréférencés en L93 des trajectoires des boucles d'acquisition individuelles et fusionnées
Boucles Lambert93	Nuages de points 3D géoréférencés en L93 des boucles d'acquisition individuelles et fusionnées.
Extraction Grotte Sémaphore	
<i>socoa_grotte_semaphore_exterieur_sol_georefL93.bin</i>	Nuage de points 3D géoréférencé en L93 du pied de falaise aux abords de la grotte du Sémaphore
<i>socoa_grotte_semaphore_exterieur_toit_georefL93.bin</i>	Nuage de points 3D géoréférencé en L93 du sommet de falaise aux abords et à l'aplomb de la grotte du Sémaphore
<i>socoa_grotte_semaphore_interieur_georefL93.bin</i>	Nuage de points 3D géoréférencé en L93 de l'intérieur de la grotte du Sémaphore
<i>Géoref_boucles_Socoa.txt</i>	Paramètres de géoréférencement des nuages de points 3D
<b>Données SIG</b>	
Acquisition_ZEB	
<i>emprise_boucles.shp</i>	Polygones - Emprise de chaque boucle d'acquisition.
<i>trajectoires_boucles.shp</i>	Polylignes - Trajectoire de chaque boucle d'acquisition
DGPS	
<i>synthese_dgps_socoa.shp</i>	Points - Position DGPS des points de référence
Grotte_semaphore	
<i>grotte_semaphore_emprise_lisse.shp</i>	Polygones - Emprise de la grotte du Sémaphore
<i>grotte_semaphore_fond_Zmax.tif</i>	Raster - Altitude max. (= toit) en m de la grotte du Sémaphore
<i>grotte_semaphore_fond_Zmin.tif</i>	Raster - Altitude min. (=sol) en m de la grotte du Sémaphore
<i>grotte_semaphore_Hauteur_vide.shp</i>	Polylignes - Iso-contours de hauteur de la grotte du Sémaphore
<i>grotte_semaphore_Hauteur_vide.tif</i>	Raster - Hauteur de la grotte du Sémaphore (= fond_Zmax - fond_Zmin)
<i>grotte_semaphore_Prof_toit.shp</i>	Polylignes - Iso-contour de la profondeur du toit de la grotte du Sémaphore
<i>grotte_semaphore_Prof_toit.tif</i>	Raster - Profondeur du toit de la grotte du Sémaphore (=surf_Zmin - fond_Zmax)
<i>grotte_semaphore_surf_Zmin.tif</i>	Raster - Altitude du terrain naturel à l'aplomb de la grotte du Sémaphore



## OBSERVATOIRE CÔTE AQUITAINE

*Réseau d'experts au service du littoral*



Géosciences pour une Terre durable

# brgm

### Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

### BRGM Nouvelle-Aquitaine

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

### A propos de l'Observatoire de la Côte Aquitaine

Véritable réseau d'experts au service du littoral, l'Observatoire de la Côte Aquitaine est chargé de suivre l'érosion et la submersion sur le littoral régional. Le BRGM ainsi que l'ONF sont les porteurs techniques du projet, financé par l'Europe (FEDER), l'État, la Région Nouvelle-Aquitaine, les départements de la Gironde, des Landes, des Pyrénées-Atlantiques et le Syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon (SIBA). Le rôle de l'Observatoire est de mettre au service de l'ensemble des acteurs du littoral un outil scientifique et technique d'aide à la décision, à la gestion et à la prévention des risques côtiers. L'Observatoire de la Côte Aquitaine travaille en étroite collaboration avec le GIP Littoral Aquitain et les universités de Bordeaux (unité mixte de recherche EPOC) et de Pau et des Pays de l'Adour (laboratoire SIAME) ainsi que le Centre de la mer de Biarritz (programme ERMMA).

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

Les actions de l'Observatoire sont multiples : mesures, suivis, expertises, diffusion des données et information... [www.observatoire-cote-aquitaine.fr](http://www.observatoire-cote-aquitaine.fr)