

Rapport d'expertise des études techniques pour la concertation de suivi du projet INELFE

Coordination : Sara LAFUERZA

Date : 28 Mai 2021

Format : Expertise_CCTP_SU_CNDP_V3.pdf

TABLE DE MATIÈRES

RESUME	3
1. INTRODUCTION	5
1.1. PRESENTATION.....	5
1.2. OBJECTIFS.....	7
2. LE CANYON DE CAPBRETON	8
3. DYNAMIQUE DES COURANTS TURBIDITIQUES.....	11
3.1. Méthodologie.....	11
3.1.1. Prélèvements des sédiments du fond marin.....	11
3.1.2. Mesures bathymétriques.....	12
3.1.3. Mouillages.....	14
3.2. Résultats	14
3.3. Avis sur l'étude	22
4. FAISABILITÉ TECHNIQUE DES ROUTES DES CÂBLES.....	24
4.1. Méthodologie.....	24
4.2. Avis sur l'étude	25
5. ETUDE D'INTEGRATION GEOPHYSIQUE ET GEOTECHNIQUE.....	26
5.1. Méthodologie.....	26
5.1.1. Géophysique.....	26
5.1.2. Géotechnique.....	27
5.2. Résultats	28
5.3. Avis sur l'étude	31
6. RISQUES ASSOCIES AUX ROUTES DE CABLES.....	32
7. AVIS SUR LES RISQUES NATURELS DU CAPBRETON.....	33
8. FAISABILITE DU PASSAGE DES CABLES OFFSHORE.....	35
9. BIBLIOGRAPHIE	37

RESUME

L'interconnexion électrique entre la France et l'Espagne représente un projet d'envergure au niveau européen et est actuellement soumis à une concertation publique. Dans ce cadre, la Commission Nationale du Débat Public (CNDP) a sollicité l'Institut des Sciences de la Terre de Paris (Sorbonne Université) afin de donner un avis d'expert et indiquer si les études menées par RTE (Réseau de Transport d'Électricité) sur le canyon sous-marin de Capbreton ont été dirigées dans les règles de l'art.

Ce rapport d'expertise présente une synthèse des différentes études techniques menées dans le cadre du projet INELFE (Interconnexion Électrique France-Espagne). Le but des études réalisées en amont de ce projet était de déterminer les solutions techniques à mettre en œuvre pour assurer le passage des câbles à haute tension sur le fond marin et plus particulièrement dans la zone du canyon de Capbreton. Le franchissement de ce canyon sous-marin représente en effet un défi technique majeur. Deux solutions ont été envisagées successivement : (1) Faire passer les câbles électriques entre la tête du canyon et la plage ; (2) Franchir le canyon en faisant passer les câbles en-dessous (couloir de franchissement), grâce à la réalisation de forages horizontaux (forages dirigés).

Les différentes études dont les résultats et interprétations sont évaluées dans ce rapport sont :

- Les études Volt 1 (2016) et Volt 2 (2017) réalisées par Ifremer, portant sur la dynamique des courants marins au niveau du canyon de Capbreton ;
- Une étude réalisée par la société Red Penguin (2017) portant sur la faisabilité technique du passage de câbles électriques sur le fond marin entre le canyon de Capbreton et la côte (solution 1). L'étude conclut que cette solution apparaît comme trop risquée ;
- Une étude réalisée par l'entreprise Fugro (2019), dont l'objectif était de fournir des informations précises sur les fonds marins situés le long d'un potentiel couloir de franchissement du canyon. La solution envisagée était de franchir le canyon par en-dessous, grâce à la réalisation de forages horizontaux (forages dirigés) (solution 2) ;
- Une étude réalisée par la société Cathie Associates (2020) portant sur l'analyse des risques associés aux opérations d'installation des câbles le long de ce couloir de franchissement du canyon (solution 2). L'étude conclut que cette solution apparaît également comme trop risquée.

Les principaux risques identifiés par les différentes études sont liés à deux aléas d'origine naturelle :

- Les courants dits « de turbidité », comparables à des avalanches sous-marines, qui ont la capacité de transporter de grands volumes de sédiments sur des distances considérables, en érodant dans le même temps le fond du canyon et ses flancs ;
- Les glissements de terrain sous-marins, qui entraînent également une forte érosion et ont la capacité de créer des zones de forte accumulation sédimentaire.

Ces processus sont à l'origine d'une forte dynamique érosive et d'accumulations sédimentaires au niveau du canyon. Ces processus ainsi que leurs impacts sur la dynamique et la morphologie du canyon de Capbreton ont été particulièrement investigués dans les études réalisées par Ifremer en 2016 et 2017 (Volt 1 et Volt 2), ainsi que dans l'étude menée par Fugro en 2019. Il apparaît que la fréquence des courants de turbidité (décennale, voire annuelle), ainsi que l'important volume de sédiments mobilisés lors des glissements sous-marins, posent un problème majeur à tout projet d'installations sur le fond marin dans cette zone. Par ailleurs, la faible distance (environ 250 m) entre la tête du canyon et la côte, empêche toute installation marine au large de la côte. Selon les sociétés spécialisées dans la pose de câbles sous-marins, tout projet d'enterrement dans cette zone est donc irréalisable.

À partir des informations provenant des études techniques citées ci-dessus, le présent rapport donne également un avis global sur les risques associés aux deux solutions envisagées et se prononce sur la faisabilité ou non du passage de câbles dans le domaine marin au niveau du canyon de Capbreton.

La conclusion de ce rapport est que le canyon de Capbreton apparaît comme étant clairement soumis à des aléas naturels (érosion et accumulations sédimentaires) trop importants pour permettre toute installation sous-marine dans cette zone, et en particulier la pose de câbles électriques à haute tension.

1. INTRODUCTION

1.1. PRESENTATION

Ce rapport intitulé « *Rapport d'expertise des études techniques pour la concertation de suivi du projet INELFE* », a comme objectif d'indiquer si les études menées par la société RTE (Réseau de Transport d'Électricité) dans le cadre de l'évaluation de la faisabilité de l'interconnexion à haute-tension entre la France et l'Espagne par le Golfe de Gascogne, ont été réalisées dans les règles de l'art.

La Commission Nationale du Débat Public (CNDP) garantit la concertation publique en cours actuellement, sur l'interconnexion électrique entre la France et l'Espagne (projet INELFE). Le tracé de cette interconnexion nécessite de trouver une solution technique adaptée pour la pose de câbles sous-marins et le franchissement en mer du canyon de Capbreton. De ce fait, en amont du projet, plusieurs études techniques ont été menées en vue d'évaluer la faisabilité de la pose de câbles 400 kV à courant continu et d'assurer leur pérennité sur les fonds marins (Tableau 1).

Le tracé retenu initialement pour la route des câbles consistait à franchir le canyon de Capbreton par en dessous (couloir de franchissement) grâce à la réalisation d'un forage horizontal (forage dirigé). À l'issue des études réalisées entre 2016 et 2017 par Ifremer et Red Penguin, la pose des câbles sur cet itinéraire s'est avérée d'un très haut niveau de risque, voire impossible techniquement. L'entreprise Fugro a alors été contactée afin de réaliser une campagne de mesures géophysiques à l'automne 2018, puis une campagne de mesures géotechniques au printemps 2019 le long de potentiels couloirs de franchissement du canyon de Capbreton (Tableau 1). Lors de la campagne géotechnique en mai 2019, un glissement de terrain important a été découvert. Le maître d'ouvrage, RTE, a alors décidé d'abandonner la solution de forage, jugée trop risquée en raison de l'instabilité de terrain constatée. Considérant le passage maritime comme trop risqué, de nouvelles études ont été menées à terre au droit du canyon (20 à 30 km).

Une opposition locale importante a fait suite à la proposition d'un passage de câbles à terre plutôt qu'en mer. Les acteurs de la concertation souhaitent ainsi avoir un avis indépendant concernant les résultats des études techniques produites par RTE (Tableau 1) et ayant conduit à la décision d'abandonner les passages par voie maritime au niveau du canyon de Capbreton.

Tableau 1 : Synthèse des études techniques dans le cadre du projet INELFE	
IFREMER Reference projet	Étude de la dynamique des courants de turbidité Rapport d'étude Volt 1 Décembre 2016 – Projet Partenarial 15/1212037/BF R.INT REM/GM/LGS 2016-A220504B-02 Rapport d'étude Volt 2 Septembre 2017 – REM/GM/LGS/2017-Etude A220504B-02)
<i>Objectifs</i>	<i>Les études Volt 1 et Volt 2 évaluent et qualifient en intensité et fréquence l'activité turbiditique et sédimentaire dans le canyon de Capbreton, en divers lieux, pour une évaluation des conséquences potentielles de cette activité naturelle.</i>
Red Penguin Reference projet	Analyse de la faisabilité de la route du câble Red Penguin Request for Contractor Information (Biscay Gulf Western Interconnector – Mission 2.10 – Canyon Head Bypass Feasibility Study – Request for Contractor Information – 12th September 2017)
<i>Objectifs</i>	<i>Étude des solutions techniques pour passer le corridor des câbles entre la tête du canyon et la plage</i>
FUGRO Reference projet	Étude géophysique et géotechnique Geophysical and Geotechnical Data Integration Report. Vol C. Fugro Document No.: P903583_INELFE_GEOT_HDD_Data Integration 2019 .
<i>Objectifs</i>	<i>Étude géophysique et géotechnique sur un couloir de franchissement du canyon par forage dirigé (étude Fugro)</i>
CATHIE Ass. Reference projet	Analyse des risques Capbreton Canyon Offshore Drilling Crossing Feasibility, Site Survey Synthesis Report No.: C846_WPA_T01-02 - CATHIE, 30/03/2020
<i>Objectifs</i>	<i>Analyse des risques associés aux couloirs de franchissement du canyon</i>

1.2. OBJECTIFS

À l'issue de la demande de la CNDP, Sorbonne Université et plus particulièrement l'Institut des Sciences de la Terre de Paris, a été engagée afin de produire un dire d'experts indépendants permettant d'analyser la conclusion des quatre études menées par RTE (Tableau 1), qui ont chacune rendu un avis sur la faisabilité technique des tracés maritimes étudiés. Les objectifs de cette expertise O.1 à O.4 visent à répondre aux questions de la CNDP en accord avec le cahier des charges suivant :

O.1 : Évaluer les règles de l'art des études

Indiquer si les études se sont appuyées sur suffisamment d'éléments et si ceux-ci ont été produits grâce à des protocoles adéquats permettant de disposer d'éléments fiables à analyser.

O.2 : Analyser et contraster les conclusions apportées par les études

Donner un avis sur l'adéquation des études menées ainsi que sur la validité de chacune de leurs conclusions.

O.3 : Évaluer les risques du canyon de Capbreton

À partir de l'évaluation des études techniques, ce rapport doit se prononcer sur les conclusions de RTE et sur l'évaluation des risques.

O.4 : Évaluer la faisabilité du passage du câble offshore

Évaluer si les quatre études menées jusqu'à aujourd'hui sont suffisantes pour écarter tout passage du câble en domaine marin.

2. LE CANYON DE CAPBRETON

Le canyon de Capbreton, ou Gouf de Capbreton, est une vallée sous-marine qui se déploie au large de la ville côtière de Capbreton. Le canyon s'étire sur plus de 170 km vers l'ouest, le long de la marge espagnole de Cantabria. La tête du canyon, qui représente l'extrémité orientale de cette vallée sous-marine, est très proche du littoral (~250 m). Le canyon se termine ensuite dans la plaine abyssale, à une profondeur de 3500 m (Figure 1).

Cette zone constitue le principal collecteur des sédiments en provenance du bassin versant de l'Adour, localisé au sud de la tête du canyon (Figure 1). Au nord du canyon, la marge Aquitaine est soumise à une dérive littorale (déplacement de sédiments et de sable le long du littoral) ainsi qu'à un important transport sédimentaire vers le sud (Abadie et al., 2006 ; Mazières et al., 2014). Ce transport sédimentaire se nourrit de l'érosion des plages et se produit principalement au moment des fortes tempêtes (Mazières et al., 2014). Il est évalué à 40 000 m³/an (Abadie et al., 2006).

Avec la configuration géographique du Golfe de Gascogne, les sédiments transportés le long de la côte par la dérive littorale sont interceptés, accumulés au niveau de la tête du canyon de Capbreton puis évacués vers le large. Ce processus a lieu périodiquement, lors des épisodes de tempêtes (Mazières et al., 2014). Les levés bathymétriques¹ successifs ayant précédé les études sur la tête du canyon (1998 – 2013, Mazières et al., 2014), montrent que le fond marin proche du littoral (< 100 m de fond) a été considérablement remanié par de nombreux cycles d'érosion et d'accumulation sédimentaire.

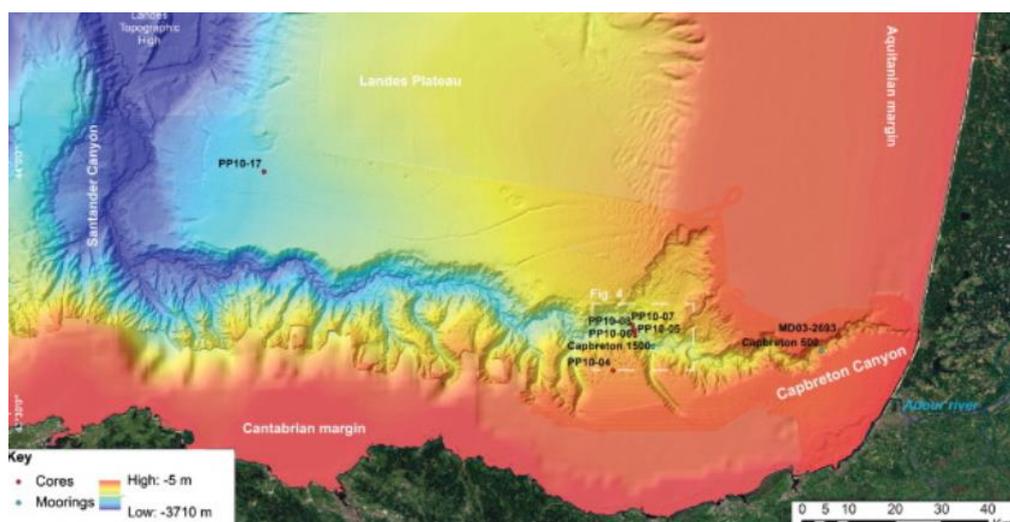


Figure 1 : Carte bathymétrique du canyon de Capbreton (d'après Brocheray et al., 2014).

¹ Profondeur de la colonne d'eau

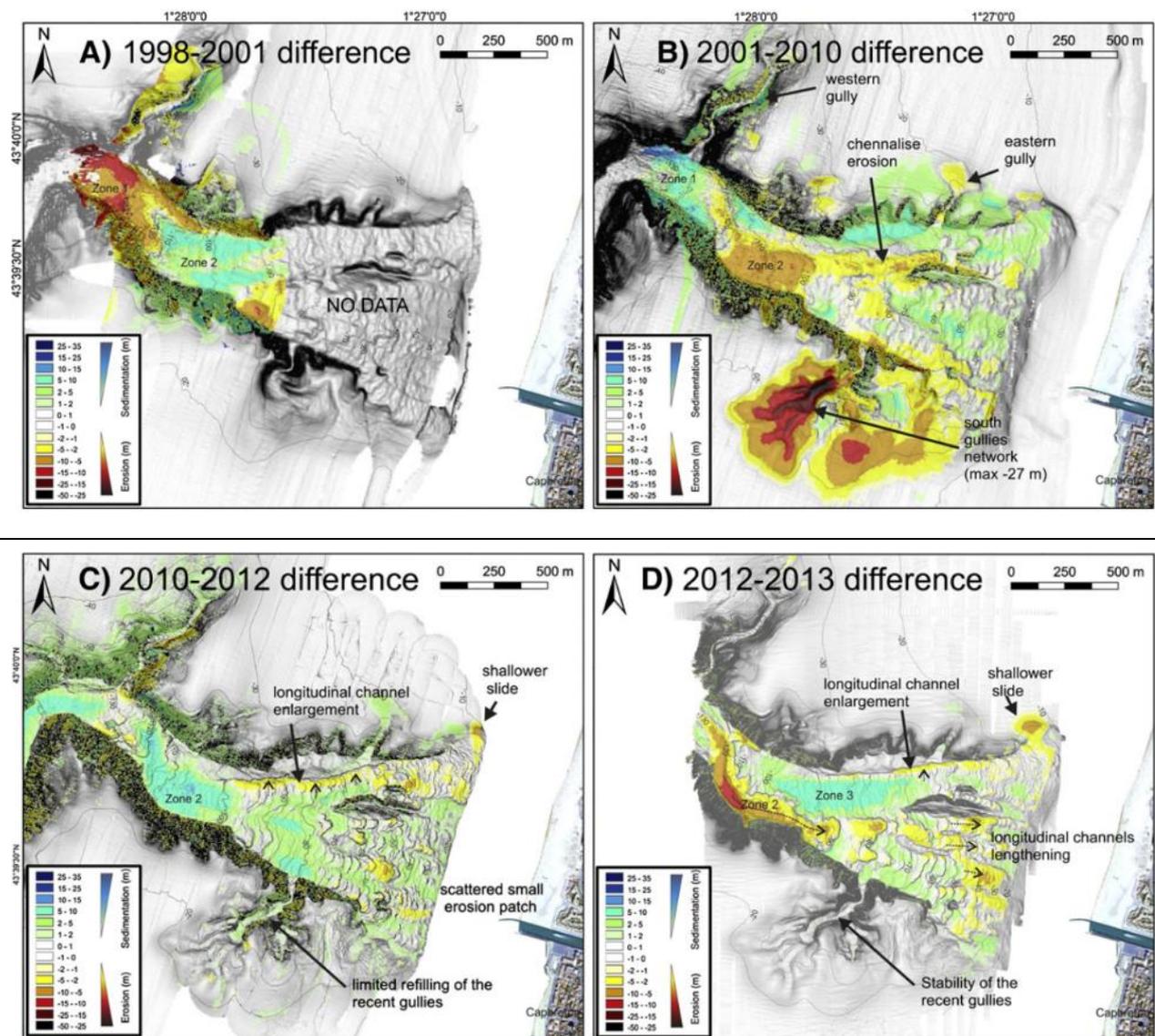


Figure 2 : Différences bathymétriques calculées pour différentes périodes. De rouge à jaune : zones en érosion ; de vert à bleu : zones en accumulation. A) Période entre aout 1998 et mai 2001. B) Période entre mai 2001 et juin 2010. C) Période entre juin 2010 et juin 2012. D) Période entre 2012 et 2013 (d'après Mauzières et al., 2014).

L'évacuation des sédiments se trouvant au niveau de la tête du canyon est, entre autres, responsable de la formation de courants de turbidité ayant un fort potentiel érosif (Mazières et al., 2014). Les courants de turbidité peuvent être comparés à des avalanches sous-marines impliquant le déplacement de grands volumes de sédiments non consolidés. Ces avalanches sous-marines provoquent une érosion accrue au niveau de la tête du canyon. Les sédiments déposés suite à ces événements turbiditiques sont appelés turbidites. L'érosion associée aux courants de turbidité peut être observée à l'échelle de quelques années, comme illustré par les images du fond marin enregistrées à des différentes périodes (Figure 2).

Le processus physique et naturel responsable de l'aléa du canyon de Capbreton est donc représenté principalement par les courants de turbidité (Mauzières et al., 2014). Les études sédimentologiques publiées indiquent que l'activité de ces courants varie selon la profondeur. Elle est plus fréquente le long de l'axe du canyon, vers 1600 m de profondeur, où l'on observe une fréquence d'une turbidité par an. À contrario, en amont, vers 650 m de profondeur, elle est d'une turbidité tous les 10 ans (Brocheray et al., 2014).

Les événements turbiditiques dans le canyon de Capbreton sont générés en période de fortes tempêtes (Mulder et al., 2001). En effet, les tempêtes permettent la remise en suspension des sédiments précédemment déposés sur le plateau au niveau de la tête du canyon. L'autre facteur déclencheur des courants turbiditiques dans le canyon de Capbreton sont les instabilités (i.e. glissements sous-marins) sur les flancs du canyon dans les zones les plus soumises à l'érosion (Mauzières et al., 2014).

Les courants de turbidité et les glissements sous-marins constituent les seuls aléas bien évalués et quantifiés, sur lesquels nous disposons de preuves tangibles. Les périodes de retour de ces aléas (liées certainement aux tempêtes dans le Golfe de Gascogne) demandent une attention immédiate et prioritaire face à tout projet d'installation sous-marine. Des travaux scientifiques récents ont montré que l'érosion enregistrée le long de l'axe du canyon, associée aux courants turbiditiques, peut atteindre 1 km/an, ce qui est loin d'être négligeable (Guiastrenec-Faugas et al., 2020a).

3. DYNAMIQUE DES COURANTS TURBIDITIQUES

Les études Volt 1 et Volt 2 réalisées par Ifremer s'appuient sur une remarquable connaissance du canyon de Capbreton suite à des études antérieures réalisées par Ifremer pour RTE. Les études antérieures ont consisté à (1) analyser les pentes du fond marin au niveau du canyon sur la base de données bathymétriques acquises par l'Ifremer et (2) étudier via la modélisation numérique l'impact physique des courants de turbidité dans le canyon.

Suite au projet INELFE et aux travaux réalisés pour Volt 1, le tracé préférentiel envisagé pour la route des câbles à travers le canyon (Figure 3), est situé dans la zone des 300 m de fonds (station de mesure 1 (Figure 4). Une alternative est également envisagée dans la zone des 1500 m de fond (station de mesure 3, Figure 5). Pour comprendre le transfert de sédiments dans le canyon de Capbreton, l'étude Volt 2, s'est concentrée sur quatre zones : la zone préférentielle de passage des câbles à 1500 m (Figure 5), une zone intermédiaire par 1000 m de fond, une zone déjà instrumentée lors de Volt 1 située à 900 m de fond (station de mesure 2) et enfin une zone à 500 m de profondeur pour l'observation des courants de masses d'eau (Mooring 1, Figure 6). La station située à 300 m de fond, où un mouillage avait été perdu lors des tempêtes de l'hiver 2016 (cf. rapport Volt 1), a été maintenue lors de l'étude Volt 2 (station 1) pour les cibles de carottage afin de garder une possibilité de comparaison.

3.1. Méthodologie

3.1.1. Prélèvements des sédiments du fond marin

En 2015 (étude Volt 1) et en 2016 (étude Volt 2), des prélèvements de sédiments du fond ont été réalisés dans trois stations (Figure 3, Tableau 2, Tableau 3) grâce à un carottier d'interface². À partir des sédiments prélevés, les analyses suivantes ont été réalisées :

- Granulométrie (taille de particules, renseigne sur l'énergie de l'environnement) ;
- Contenu faunistique de foraminifères benthiques (indicateur de l'hydrodynamisme) ;
- Activité en radio-isotopes (renseignent sur les taux de sédimentation).

² Système pour le prélèvement (dit multitubes) d'échantillons de l'interface eau/sédiment. Le modèle utilisé lors de Volt 1 permet de récupérer 8 carottes par site de prélèvement. Lors de Volt 2, un carottier d'interface à quatre tubes et un carottier à tube unique ont été utilisés.

3.1.2. Mesures bathymétriques

Afin de cartographier la morphologie du fond marin et de voir son évolution au cours du temps (entre 2013 et 2016), des cartes bathymétriques (profondeur de la colonne d'eau) intégrant diverses données acquises par le SHOM, Ifremer, RTE et l'Université de Bordeaux, ont été utilisées. L'étude Volt 1 intègre ainsi un suivi des modifications morphologiques en tête de canyon ainsi que dans la zone en amont, jusqu'à la première station d'étude (station 1, 300 m). En 2016, un levé bathymétrique de précision (avec résolution de 2 m) a été réalisé grâce au robot AUV Aster X (*Autonomous Underwater Vehicle*) le long du canyon, entre 1300 et 1400 m de fond. Un levé bathymétrique transversal, effectué le long d'une des routes envisagées pour le déploiement du câble (route dite CR102, référence RTE) a également été réalisé. Les données bathymétriques de 2016 ont été comparées avec celles de 2013 afin d'évaluer les modifications de la morphologie du canyon dans la zone proche de la route CR103.

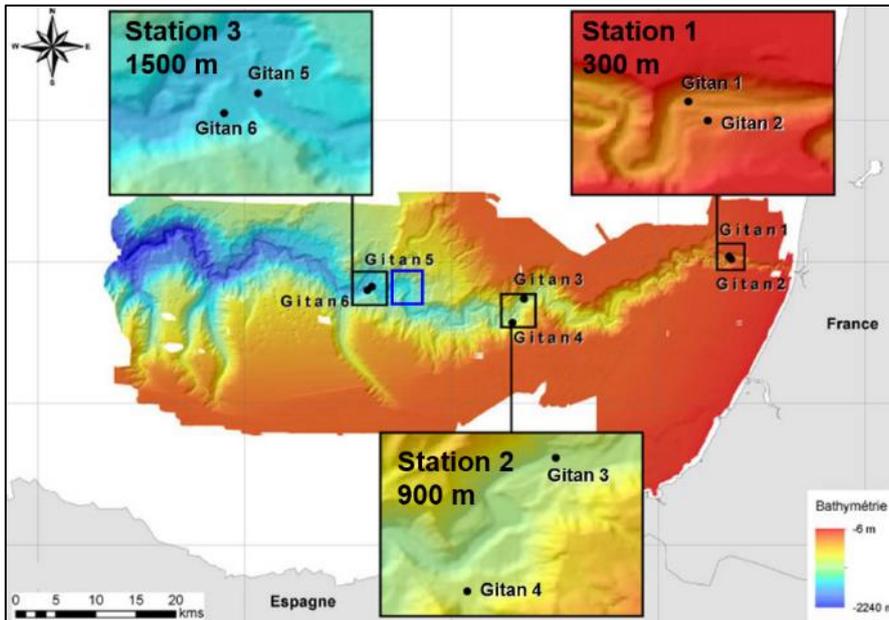


Figure 3 : Localisation des stations 1 à 3 de l'étude Volt 1 où sont situés les sites de prélèvements avec carottes d'interface prélevées en 2015 (Gitan 1 à 6). Ces sites de prélèvements sont aussi nommés GIT-XXXX-Y dans le rapport Volt 1 (cf. Tableau 2). Les profondeurs sont approximées. En 2016 (étude Volt 2) les sites de prélèvements avec carottier d'interface ont été localisés sur ces mêmes stations (Tableau 3). Cadre bleu : localisation de la Figure 5 (d'après Ifremer, 2016).

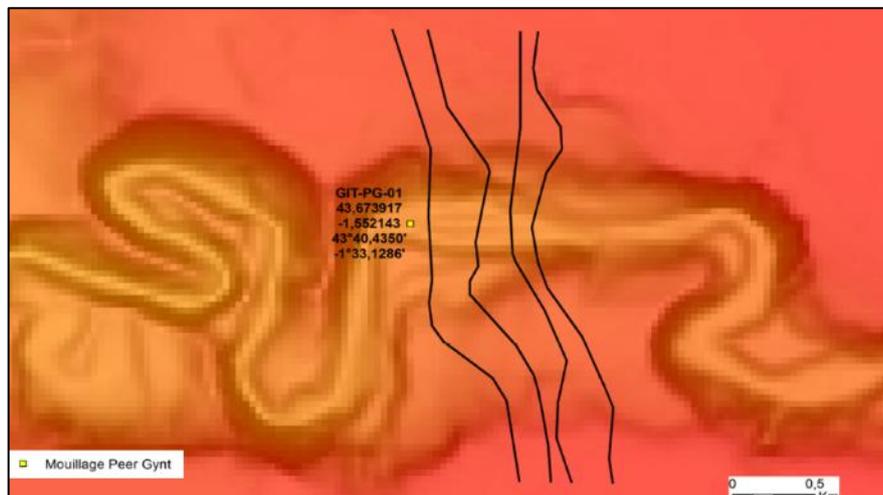


Figure 4 : Localisation des routes de câbles de RTE et mouillage (Peer Gynt) à la station 1, à 300 m de profondeur dans le cadre de l'étude Volt 1. Les mesures de cette station n'ont pas pu être récupérées dû à un fort évènement de tempête (9 février 2016) qui a emporté le mouillage (d'après Ifremer, 2016).

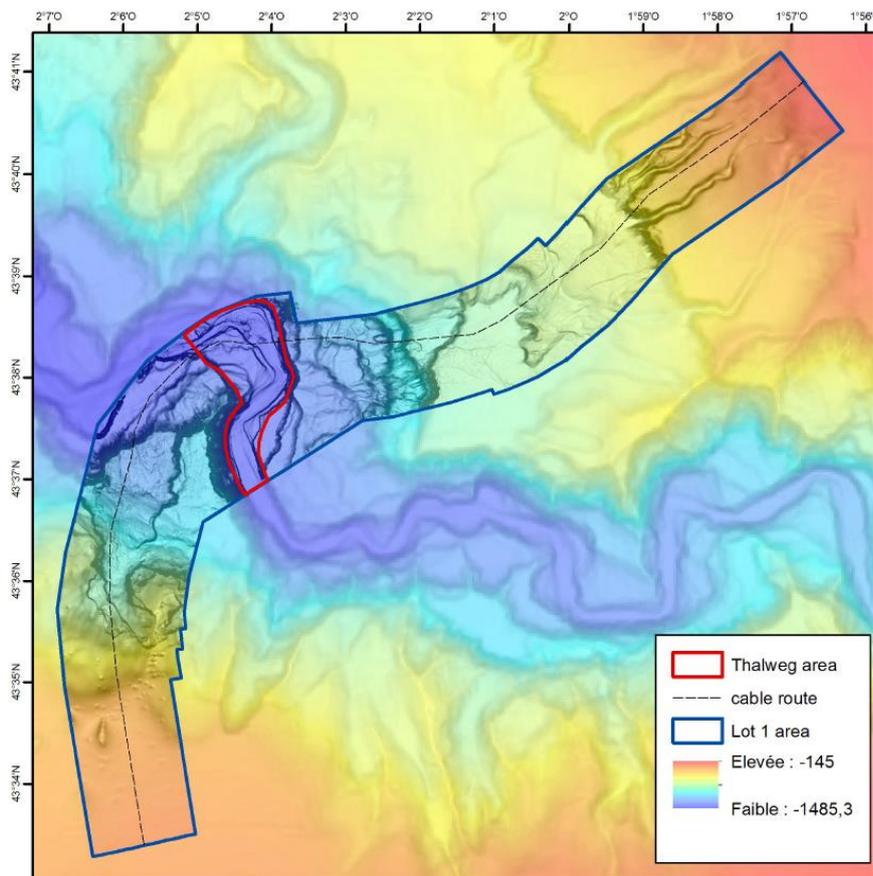


Figure 5 : Route de câble CR102, (référence RTE) (environ 1500 m de fond). En rouge la zone de franchissement critique de l'axe du canyon cartographiée en 2016 (Volt 2). En bleu la zone cartographiée en 2013. En trait pointillé noir la route prévisionnelle du câble. La localisation approximée de cette carte est donnée dans la Figure 3 (carré bleu) (d'après Ifremer, 2017).

Tableau 2 : Étude Volt 1 – Sites de prélèvements

		Station 1	Station 2	Station 3
Prof. (m)	chenal	301 GIT-MTB3-2 Gitan 1	983 GIT-MTB1-1 Gitan 3	1478 GIT-MTB5-1 et GIT-MTB5-2 Gitan 5
	terrasse	251 GIT-MTB4-1 Gitan 2	894 GIT-MTB2-2 Gitan 4	1454 GIT-MTB6-1 Gitan 6

* La distance de la station est donnée par rapport à la tête du canyon. **IMPORTANT** : dans le rapport Volt 1 les carottes sont nommées GIT-XXX-Y dans la section 5 mais Gitan 1 à 6 dans les sections 6 et 7.

Tableau 3 : Étude Volt 2 – Sites de prélèvements

		Station 1	Station 2 (Mooring 2)	Station 3 (Mooring 3)
Prof. (m)	chenal	299 VLT2-DY-01	986 VLT2-IS-03*	1478 VLT2-IS-05*
	terrasse	246 VLT2-DY-02	888 VLT2-DY-04	1446 VLT2-DY-06

* Carottes prélevées avec un carottier d'interface à 1 tube (pas d'analyse granulométrique).

3.1.3. Mouillages

Pour les trois stations, les mesures de courantométrie (mesure de la direction et de la vitesse du courant) ainsi que les prélèvements avec le piège à sédiments ont été acquises en mouillage fixe (cf. moorings dans la Figure 6) sur le fond marin pendant la période hivernale. Les points de mesures de courantométrie (avec un courantomètre de type ADCP installé sur la station de mesure Aniitra³) étaient localisés entre 300 et 350 m au-dessus du fond marin. Une mesure de vitesse a ainsi été réalisée toutes les 60 ou 120 secondes entre octobre 2016 et mars 2017. Le piège à particules était placé à 30 m au-dessus du fond marin et programmé pour une acquisition durant la même période que l'ADCP. D'autres mesures ont été réalisées entre ces deux périodes mais n'ont été exploitées que sur la station 2 en 2015-2016 ainsi que sur les deux stations en aval (Mooring 2 et Mooring 3, Figure 6) en 2016-2017. La Station 1 (2015-2016) a été perdue lors d'une tempête. La Station 3 (2015-2016), a été complètement recouverte de sédiments rendant les données acquises inexploitable. De plus, durant l'hiver 2016-2017, le piège à sédiments du mouillage Mooring 1 (Figure 6) a été endommagé, sans que la cause de l'impact sur la zone motorisée du piège ne puisse être identifiée. Les données de courantométrie ont ensuite été corrélées avec des données de houle disponibles à partir de MétéoFrance afin d'interpréter le signal des tempêtes.

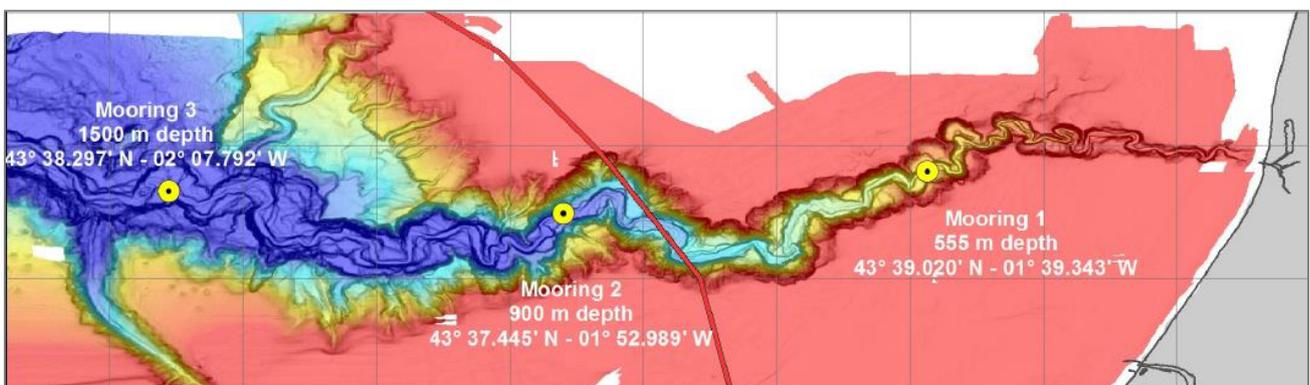


Figure 6 : Localisation des mouillages réalisés entre 2016 et 2017. Les localisations des sites Mooring 3 et 2 coïncident avec les localisations des stations 3 et 2 en 2015-2016, respectivement (d'après Ifremer, 2017).

3.2. Résultats

Les résultats obtenus lors des études Volt 1 et Volt 2 et leurs interprétations sont synthétisés dans les Tableaux 4 à 10. Un avis sur les interprétations est donné dans la section suivante.

³ Station autonome portant un courantomètre à effet Doppler (ADCP, Acoustic Doppler Current Profiler, de 75kHz). Le principe se base sur l'émission des ondes sonores qui sont réfléchies par la matière en suspension présente dans la colonne d'eau.

Tableau 4 : Analyse granulométrique des sédiments

Les prélèvements sédimentaires de 2015 (Volt 1) montrent que les sédiments de granulométrie grossière (i.e. sables, avec des diamètres de particules $\phi > 63\mu\text{m}$) se trouvent au fond du canyon ou sur les terrasses adjacentes, qui sont légèrement surélevées par rapport au fond du canyon. Les carottes obtenues dans le fond du canyon sont courtes car il y a systématiquement un refus sableux. Dans la carotte Gitan 5, le sable est remplacé par des gravillons dont la granulométrie peut monter à 3 mm. Un tel diamètre peut indiquer des vitesses dans le fond du chenal relativement fortes, de l'ordre de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Les prélèvements de 2016 (Volt 2) effectués le long du chenal et sur les terrasses sont similaires aux prélèvements de 2015. Dans le chenal, les intervalles sable-argile sont identiques et la granulométrie du niveau sableux est la même. Sur les terrasses, le faciès argileux est également le même pour la Station 1 (300 m) et la Station 2 (1000 m). Il est observé que les dépôts sédimentaires de la terrasse de la Station 2 prélevés en 2015 et 2016 correspondent à un évènement massif.

Il existe un contrôle de la taille des particules sédimentaires par la bathymétrie : les particules les plus grossières se trouvent le long du canyon tandis que les particules fines comme les silts ($2 \mu\text{m} < \phi < 63 \mu\text{m}$) et les argiles ($\phi < 2 \mu\text{m}$) se trouvent sur les terrasses, légèrement plus hautes. Pour les 3 stations investiguées en 2015 et 2016, les prélèvements le long du canyon montrant des intervalles de sédiments composés de sables recouverts par des argiles, sont interprétés comme des dépôts issus d'un courant turbiditique (i.e. turbidite).

La corrélation des prélèvements de la terrasse de la Station 3 à 1500 m de fond entre 2015 (GIT-MTB6-1/Gitan 6) et 2016 (VLT2-DY-06) semblerait indiquer la présence de trois nouveaux évènements turbiditiques survenus en un an et sur une épaisseur de 5 cm (Figure 7). Cet enregistrement est indicateur d'un taux de sédimentation de 1.8 cm/an , ce qui coïncide avec les résultats de la datation au ^{210}Pb (Tableau 6). On observe une différence de 8 m pour la profondeur du site de prélèvement entre les carottes de 2015 et de 2016 (Tableau 2 et Tableau 3). Ceci pourrait indiquer que la carotte de 2015 n'a pas prélevé l'ensemble des turbidites présentes.

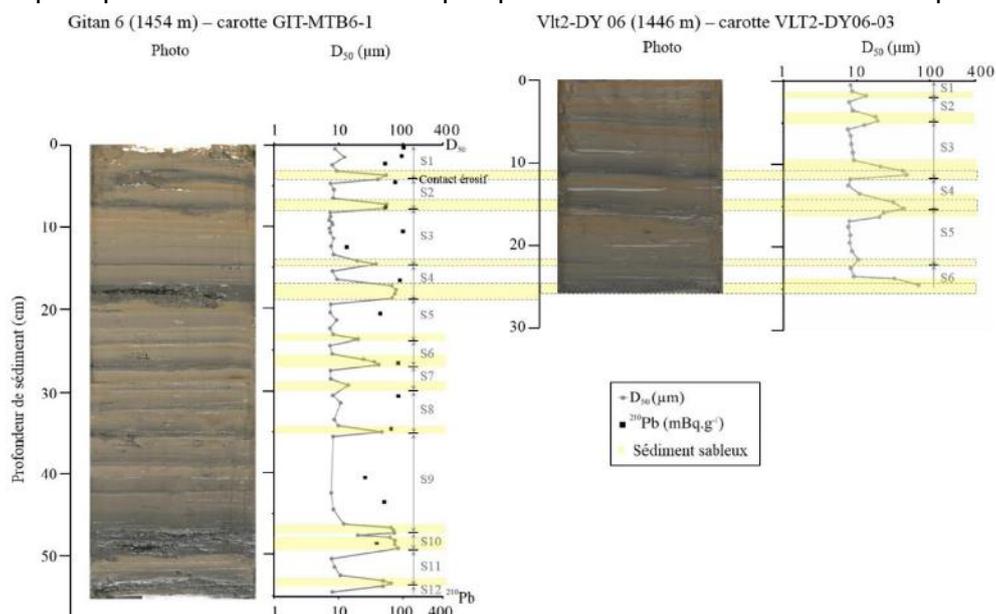


Figure 7 : Corrélation des séquences turbiditiques (traits jaunes) observée entre les carottes GIT- MTB6-1 (Volt1) d'août 2015 et VLT2-DY06-03 (Vlt2-DY06), de juillet 2016 (d'après Ifremer, 2017).

Tableau 5 : Analyse faunistique des foraminifères benthiques

Les analyses sédimentologiques couplées à l'identification d'espèces recolonisatrices de premier et second ordre dans la faune vivante de foraminifères benthiques autochtones (Figure 8) ont permis de mettre en évidence que les carottes prélevées le long de l'axe du canyon (~ 300 m, 900 m et 1500 m), ainsi que celles prélevées dans les terrasses (300 m et 1500 m) étaient le siège de dépôts gravitaires récents. Ce type de dépôts sont significatifs d'un hydrodynamisme important. Ces observations sont valables pour les enregistrements de 2015 (Volt 1) et de 2016 (Volt 2). De plus, la terrasse à 250 m de profondeur semble être constamment dans un état de recolonisation précoce, également probablement en lien avec l'hydrodynamisme.

Seules la carotte de la terrasse Gitan 4 (Volt 1) et la carotte VLT2-DY-04 (Volt 2), éloignées du fond du canyon (station 2, Tableau 2) ne semblent pas directement impactées par une perturbation sédimentaire récente : l'abondance faunistique y est plus importante (indice de Shannon) qu'en 2015. Il en est de même pour l'indice d'équitabilité, qui indique que l'écosystème est moins déséquilibré (Figure 8).

Les carottes Gitan 1, 3 et 5 présentent des espèces de recolonisation de premier ordre qui indiquent que le fond du canyon et la terrasse à 1500 m de fond (Gitan 6) sont le siège d'un processus d'érosion. Plus particulièrement, la carotte Vlt2-DY06 récupérée en 2016 dans la terrasse à 1500 m de fond, qui montre trois turbidites en plus par rapport à 2015, est caractérisée par une faune de foraminifères benthiques typiques d'un stade précoce de recolonisation. La diversité y est également plus faible qu'en 2015. Ces observations sont interprétées comme le signe de conditions plus érosives et perturbées en 2016 qu'en 2015.

L'identification d'espèces allochtones dans la faune morte de foraminifères benthiques sur tous les sites étudiés, indique que le transport s'est fait via les courants turbiditiques et les instabilités sédimentaires. Les foraminifères ont ainsi été transportés depuis des profondeurs inférieures à 60 m, jusque dans l'axe du canyon et les terrasses adjacentes. Les faunes de foraminifères benthiques prélevées dans les pièges à sédiments (Figure 6) valident ce type de transport.

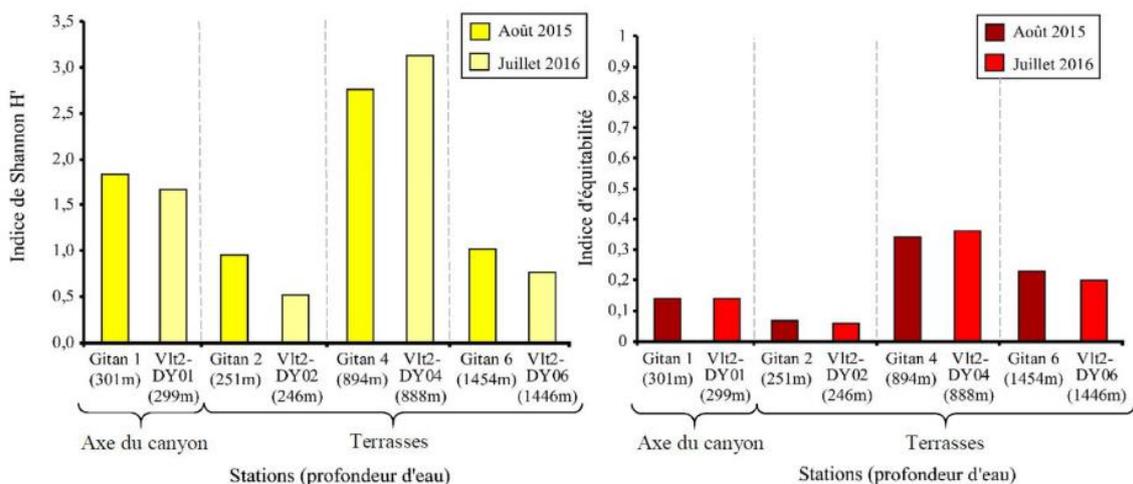


Figure 8 : Indice de Shannon (abondance relative) et indice d'équitabilité (indicateur de l'équilibre de l'écosystème) observés dans l'axe du canyon et sur les terrasses (août 2015 et juillet 2016) (d'après Ifremer, 2017).

Tableau 6 : Analyse de radio-isotopes

Les mesures d'activité en radio-isotopes (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{40}K) permettent une estimation des flux sédimentaires récents ainsi que leurs datations (basées sur le ^{210}Pb). Elles ont été réalisées pour les sédiments prélevés dans les carottes d'interface (Tableau 2 et Tableau 3).

Les taux de sédimentation sont relativement variables entre les différents sites carottés, avec 0.5-0.8 cm/an pour les fractions argileuses (sites Gitan 1, 3, 4 et 5, étude Volt 1, 2015). Le site de carottage Gitan 2 présenterait une activité en radio-isotopes constante du fait d'un intervalle sédimentaire massif avec des taux de sédimentation très élevés (15 cm/an). Ceci semble être en accord avec les concentrations en espèces de recolonisation de 2^{ème} ordre indiqués par les analyses faunistiques (Tableau 5). Cette idée impliquerait que les zones de terrasses sont affectées par des courants turbiditiques de granulométrie fine. Les carottes prélevées en 2016 dans la zone à 300 m (Station 1, Volt 2) montrent des taux de sédimentation semblables (0.3-0.5 cm/an) dans le canyon. La terrasse est également affectée par un intervalle massif composé de sédiments fins.

La concordance entre des taux de sédimentation de 0.7 cm/an est également observée pour les carottes des terrasses de Volt 2 sur la zone de 900 m de fond (Station 2).

Le site de carottage Gitan 6 (Volt 1) a permis d'échantillonner une série de turbidites, intercalée par des sédiments fins, qui présenterait un taux de sédimentation de 1.8 cm/an. Ceci donne une fréquence de 0.3 turbidites par an, soit une turbidite tous les 10 ans, approximativement.

Les datations basées sur des isotopes du ^{210}Pb demeurent toutefois incertaines en présence de dépôts très soudains et d'apports latéraux et érosifs. Elles montrent cependant que les dépôts turbiditiques les plus superficiels sont postérieurs à la tempête Martin de 1999.

L'apport de sédiments lointains est confirmé par les assemblages des espèces mortes de foraminifère benthiques.

Tous les sites étudiés indiquent un transport sédimentaire depuis le plateau interne (inférieur à 60 m de profondeur).

Tableau 7 : Morpho-bathymétrie du canyon entre les Stations 1 et 2

L'érosion dans le canyon de Capbreton est présente de manière longitudinale le long du fond du canyon : on observe une érosion en marches d'escalier se propageant de l'aval vers l'amont, dans le sens inverse du courant (ressort hydrauliques ou *knickpoints*, Figure 9). La vitesse de recul est estimée à 350-400 m/an. Cette vitesse de recul semble varier en fonction du temps, étant de 170-800 m/an pour la deuxième période d'analyse (Figure 10).

L'érosion latérale, notamment au niveau de la terrasse latérale où la pose de câbles avait été proposée (à l'ouest des Roches du champ des vaches), est présente durant les deux périodes (cf. Érosion latérale sur la Figure 9).

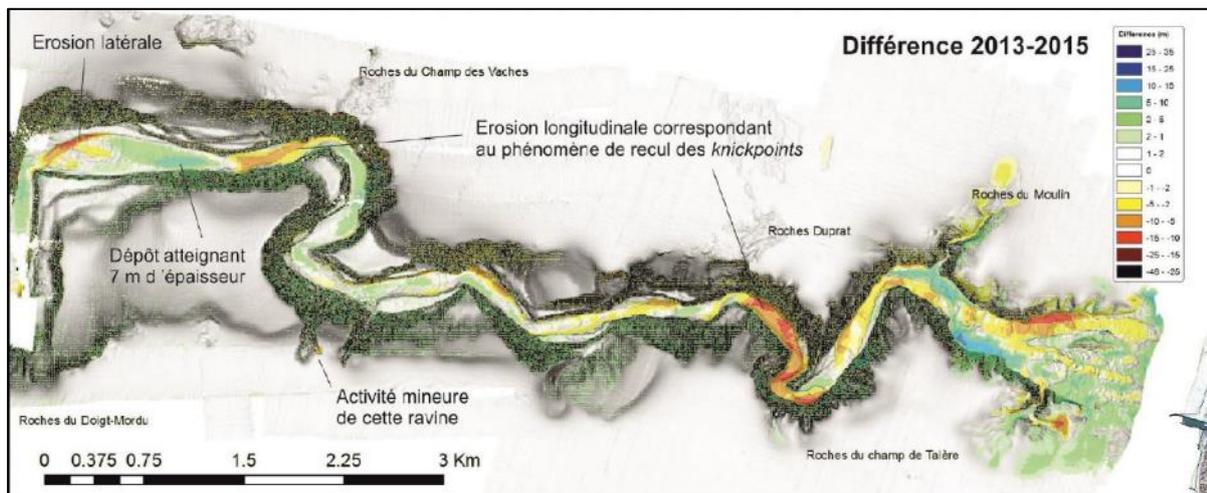


Figure 9 : Évolution morpho-bathymétrique de la partie amont du canyon de Capbreton entre septembre 2013 et août 2015. En Jaune et rouge : érosion ; en vert et bleu : accumulation (d'après Ifremer, 2016).

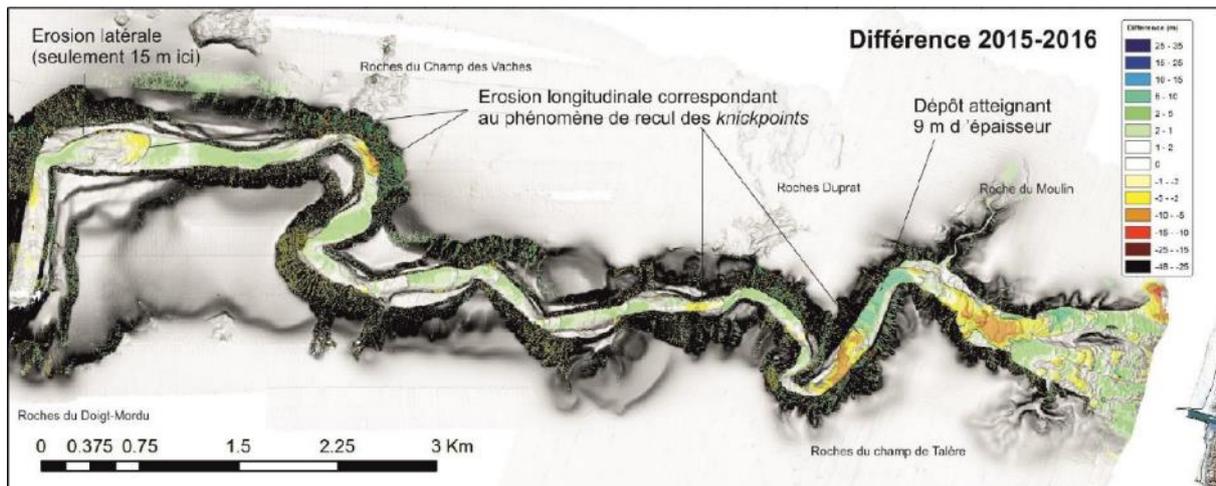
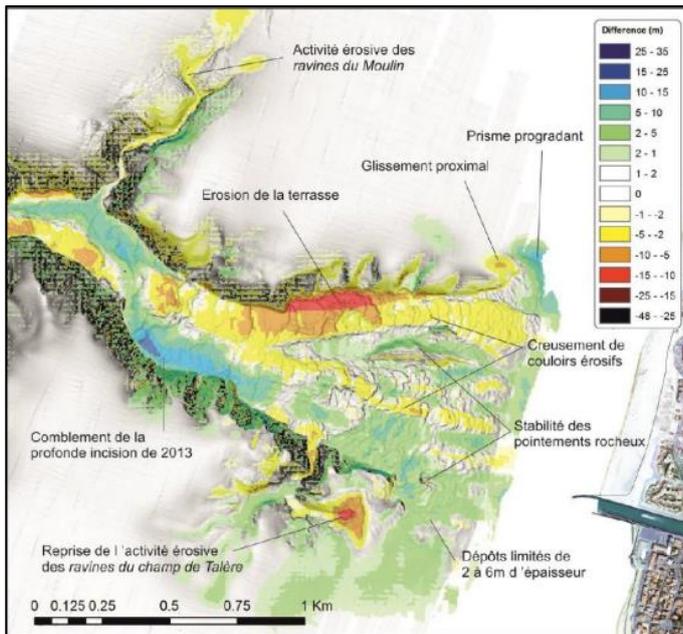


Figure 10 : Évolution morpho-bathymétrique de la partie amont du canyon de Capbreton entre août 2015 et mars 2016. En jaune et rouge : érosion ; en vert et bleu : accumulation (d'après Ifremer, 2016).

Tableau 8 : Morpho-bathymétrie de la tête du canyon

Au niveau de la tête du canyon, l'érosion longitudinale est présente le long de deux couloirs érosifs. On note également l'érosion d'une terrasse, entre 2013 et 2015 (Figure 11). Cette érosion semble se continuer de façon amoindrie entre 2015 et 2016 en se localisant sur des petits glissements le long de ces couloirs.

Cependant, l'érosion latérale persiste entre les deux périodes. En effet, un petit glissement localisé dans la zone dite « Nord » semble emporter une partie (estimée à 28000 m³) du flanc nord de la tête du canyon (Figure 11 et Figure 12).



La présence de marqueurs de glissements dans les sédiments proches de la ligne de côte a été interprétée comme un indicateur de processus de déstabilisation gravitaire, due à un excès d'apport sédimentaire ou à l'impact de tempêtes. Ces glissements expliqueraient le transfert de sédiments de l'amont vers l'aval du canyon.

Figure 11 : Évolution morpho-bathymétrique de la tête du canyon de Capbreton entre septembre 2013 et août 2015. En jaune et rouge : érosion ; en vert et bleu : accumulation (d'après Ifremer, 2016).

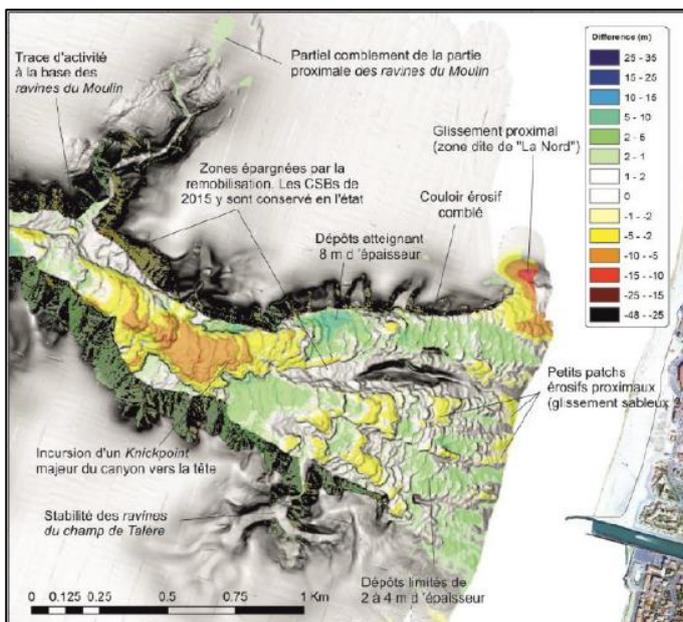


Figure 12 : Évolution morpho-bathymétrique de la tête du canyon de Capbreton entre août 2015 et mars 2016. En jaune et rouge : érosion ; en vert et bleu : accumulation (d'après Ifremer, 2016).

Tableau 9 : Morpho-bathymétrie de la partie en aval du canyon (zone route CR102)

Des écarts importants sont visibles entre les cartes bathymétriques réalisées en 2016 et en 2013 (étude Volt 2). Ces écarts sont liés soit à de l'érosion, soit à une accumulation/accrétion de sédiments dans le fond de la partie nord du canyon, à proximité de la route prévisionnelle du câble (Figure 13). À cet endroit, l'érosion de deux *knickpoints* (ressauts bathymétriques en marches d'escalier) présents lors du levé de 2013, est conséquente : on observe un creusement de 10 m pour l'un et de 12 m pour l'autre, vers l'amont du canyon et sur une distance de 70 m. La route prévisionnelle du câble, qui se trouvait à 140 m du *knickpoint* en 2013, n'est ainsi plus qu'à 70 m de ce ressaut en 2016.

Les zones d'accumulation de sédiments (en vert, au sud de la Figure 13A) peuvent dévier les écoulements des courants de turbidité, provoquant ainsi un fort creusement en aval de ces zones. Au nord, proche de la route de câbles CR102, on observe ainsi un creusement du canyon principal associé à des accumulations de sédiments par débordement. Ce creusement se connecte avec le canyon principal en aval. Cette zone de connexion montre une très forte érosion (12 m).

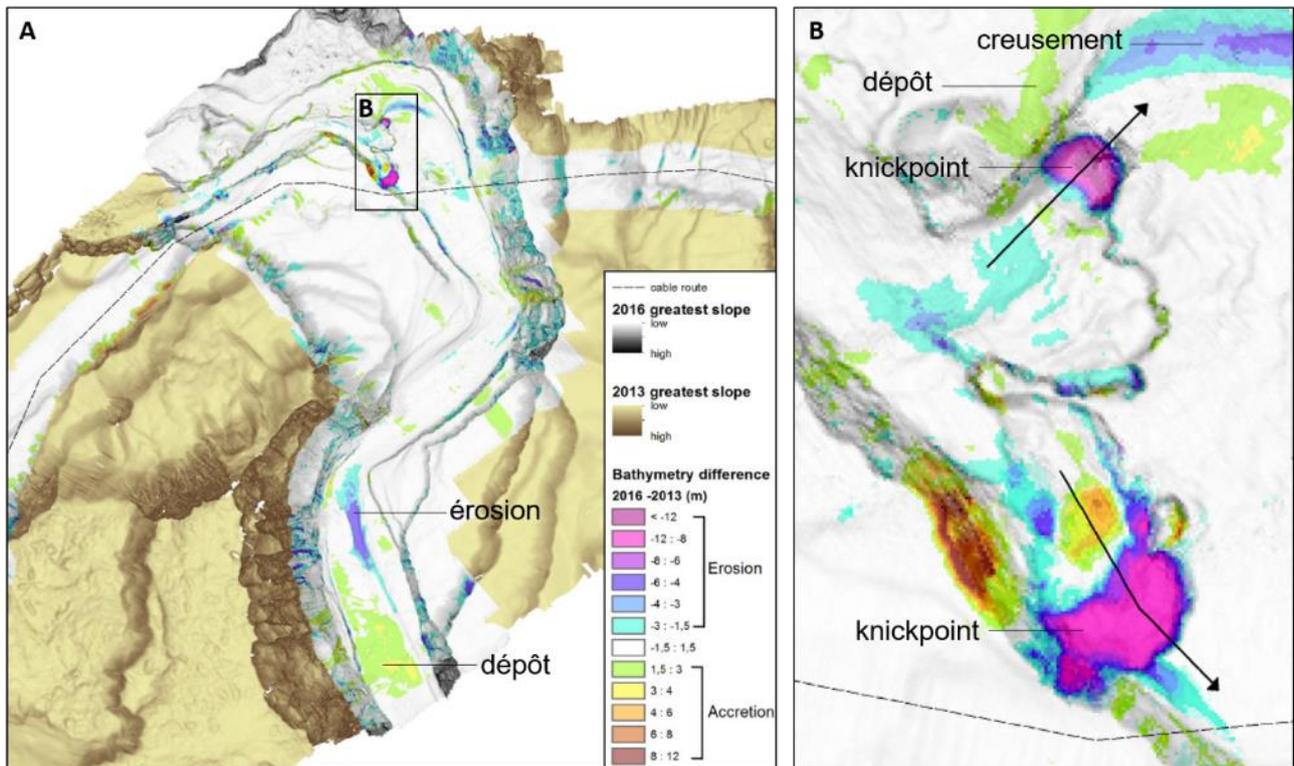


Figure 13 : A) Différence bathymétrique entre 2013 et 2016. B) Érosion et recul des *knickpoints* vers l'amont du canyon (érosion environ 12 m dans le sens des flèches) à proximité de la route de câble CR102 (d'après Ifremer, 2017).

Tableau 10 : Dynamique sédimentaire observée dans les mouillages

Les observations pour la période 2015-2016 (à 900 m de profondeur, Station 2) semblent montrer que les courants de turbidité qui sont associés à des vitesses importantes (valeurs élevées de TC, Figure 14) et à des apports sédimentaires conséquents (volume piégés), ont lieu suite à une accalmie dans les grands événements de houle (et donc de tempête). Les événements de tempête (houle, vent) induisent en effet une remise en suspension des sédiments déposés sur une partie du plateau continental. Simultanément, les masses d'eau et les sédiments en suspension, migrent vers le « coin » sud-est du Golfe de Gascogne, où la collecte sédimentaire des produits de tempête alimente le canyon. Ce processus se produit à la fin des épisodes de tempêtes, lorsque la houle et les courants associés ne sont plus suffisants pour maintenir en suspension les sédiments qu'ils ont mobilisés. Ainsi, après des événements extrêmes (houle dépassant les 10 m, Figure 14), les tempêtes plus modestes normalement incapables de mobiliser les sédiments dans la colonne d'eau en début de saison, peuvent remobiliser les sédiments et rendre possible la génération de courants de turbidité. Des courants gravitaires pouvant atteindre des vitesses de 1 m/s, se propagent alors le long du canyon, sans faiblir, et ce jusqu'à 1500 m de profondeur au moins (limite de cette étude). Les concentrations déduites peuvent atteindre quelques grammes de sédiments par litre d'eau de mer.

Les observations pour la période 2016-2017, montrent le même processus d'activité turbiditique après les tempêtes. D'autre part, il semble que plusieurs événements soient nécessaires pour activer le transfert sédimentaire de la tête vers l'aval du canyon. Deux interprétations sont données : soit les sources des sédiments ne sont pas immédiatement activées (défaut de sédiments), soit les écoulements ne se propagent que lorsque la quantité de sédiments stockée est suffisante pour générer des écoulements tout le long du canyon. Les vitesses observées près du fond du canyon sont comprises entre 25 et 50 cm/s, avec, très ponctuellement, des valeurs supérieures à 1m/s. Il semble ainsi qu'il n'y ait pas d'accalmie enregistrée au niveau des mouillages, puisque les vitesses sont toujours > 10 cm/s. (*Note : les valeurs de courantométrie sont citées dans le rapport Volt 2 mais les données sont manquantes*).

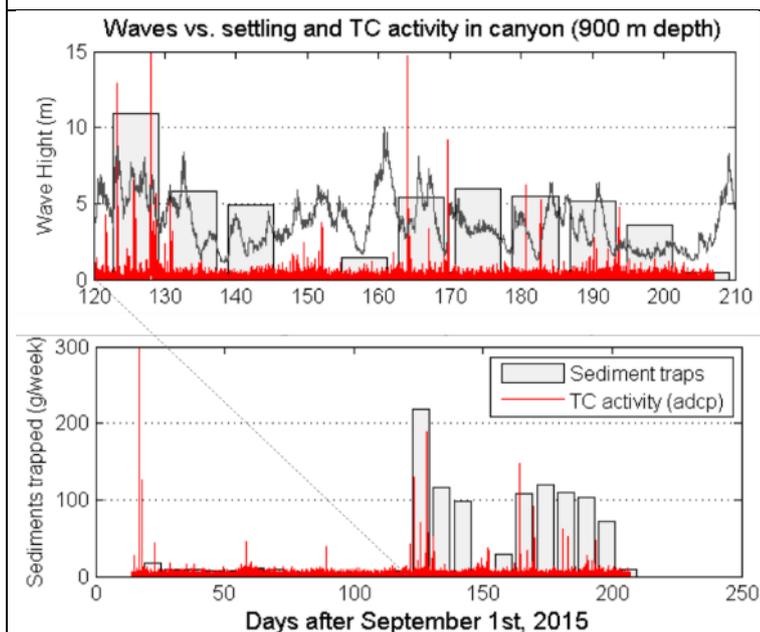


Figure 14 : Comparaison entre la houle, les pièges (sediment traps) et l'intensité des courants dans le canyon (TC activity) à 900 m de fond à la Station 2, pour la période 2015-2016. Mise en évidence des événements turbiditiques avec la période d'accalmie des tempêtes. En bas, flux sédimentaires comparés à l'intensité des courants de turbidité à 900 m de profondeur au sein du canyon (d'après Ifremer, 2017).

3.3. Avis sur l'étude

Les études Volt 1 et Volt 2 montrent de manière précise l'évolution morfo-sédimentaire du canyon à partir de l'intégration de données pluridisciplinaires entre 2013 et 2016. Ces données ont été obtenues grâce à des méthodes d'observation et d'analyse conformes aux règles et à l'état de l'art. L'interprétation et l'analyse de ces observations et données ont permis de converger vers une bonne compréhension des phénomènes d'érosion provoqués par les courants turbiditiques : le canyon de Capbreton est caractérisé par de fortes érosions longitudinales qui entraînent de fortes accumulations sédimentaires d'une année sur l'autre. Ces zones en forte érosion peuvent se déplacer le long du canyon, sur une distance d'environ 500 m par an. Cet hydrodynamisme important est à l'origine de la variabilité morphologique temporelle du canyon et est bien documentée dans ces études pour différentes périodes. Il apparaît que les deux zones considérées à l'origine pour les routes de câbles, à 300 m et à 1500 m de fond, coïncident avec des zones d'érosion longitudinale importante.

Les études faunistiques réalisées documentent une courte période d'accumulation sédimentaire dans les zones proches du fond du canyon. Il est également possible d'y enregistrer plusieurs événements turbiditiques successifs. Ces conditions ne permettent pas l'installation d'espèces de foraminifères sur une longue période au fond du canyon, mais seulement au niveau des terrasses. L'analyse des faunes mortes ou décantées dans les pièges à particules montre que les sédiments proviennent de régions côtières peu profondes (<30 m). Les terrasses enregistrent quant à elles des dépôts de sédiments dont la source est principalement située au niveau des milieux côtiers mais également au niveau du canyon. L'activité turbiditique est en effet capable de transporter des sédiments en suspension dans le canyon sur de longues distances, jusque dans le bassin profond.

L'absence de décroissance dans l'activité du ^{210}Pb a permis de conclure que les turbidites identifiées dans les carottes sédimentaires prélevées dans le fond du chenal sont très récentes et ont été probablement déposées durant la dernière décennie et vraisemblablement dans l'année qui a précédé le prélèvement. Les taux de sédimentation déduits des radio-isotopes ont apporté des informations supplémentaires sur l'activité des courants turbiditiques, qui semble être d'une turbidite tous les dix ans. Cette fréquence expliquerait l'absence de fortes vitesses de courants (de l'ordre de 1m/s) au niveau des mouillages, pour les périodes 2015-2016 et 2016-2017. Les corrélations entre la houle et le volume de sédiments accumulés pour la période 2016-2017 indiqueraient que plusieurs événements de tempête soient nécessaires pour activer le transfert sédimentaire vers l'aval du canyon et déclencher des courants turbiditiques.

La zone de la tête de canyon montre localement une activité récurrente érosive et en progression, comme montré par les données bathymétriques obtenues entre 2013 et 2016, avec un glissement proche de la côte dans le flanc nord du canyon (Figure 11 et Figure 12). Considérant les résultats obtenus lors de ces deux études, il est possible de conclure que les évolutions morphologiques du canyon sont dominées par des processus érosifs responsables de changements rapides et de forte amplitude (jusqu'à 10 m d'érosion en amont, plus en aval). Les marches en escalier (*knickpoints*), semblent être à l'origine de l'érosion dans les canyons, formant le creusement du fond et la déstabilisation régulière des flancs.

4. FAISABILITÉ TECHNIQUE DES ROUTES DES CÂBLES

4.1. Méthodologie

L'étude réalisée par Red Penguin intègre l'avis de cinq sociétés (Tableau 11) expertes dans la pose de câbles sous-marins. Elles ont été mandatées sur la faisabilité de l'installation des câbles entre la tête du canyon de Capbreton et la côte, qui se trouve à 10 m de profondeur d'eau. (Figure 15).

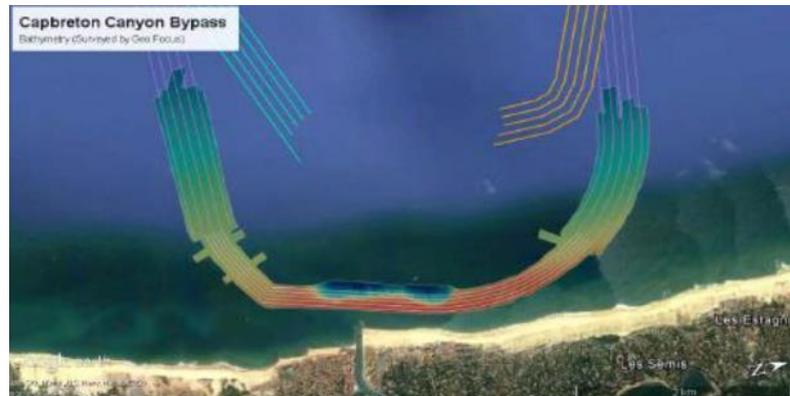


Figure 15 : Route de câbles proposée entre la tête du canyon de Capbreton et la côte. La route serait dédiée à 6 câbles : 4 câbles d'alimentation et 2 câbles de fibre optique (d'après Red Penguin, 2017).

Tableau 11. Avis des sociétés de pose de câbles sur la faisabilité de la route des câbles		
LD Travocean	Négatif	<ul style="list-style-type: none"> • Les conditions de profondeur d'eau sont trop faibles • Leur système nécessite 3 m de fond • Proposent de passer le câble à terre pour contourner la zone de la tête de canyon
VBMS	Positif	Conditions : <ul style="list-style-type: none"> • Déploiement du câble avec une barge • Ancre localisée sur un rayon de 2 km, ce qui impliquerait une localisation très proche de la tête du canyon (risque de glissement) • Profondeur minimale de la colonne d'eau de 4 m (cela limite le temps de travail aux périodes de haut niveau marin) • Le port de Capbreton devrait être fermé ainsi que l'activité de pêche lors des 3 jours d'activité par paire de câbles
Asso Divers	Négatif	<ul style="list-style-type: none"> • Les conditions de profondeur d'eau sont trop faibles • La houle semble trop importante • Leur méthode (<i>water jetting</i>) impliquerait une remobilisation très importante du sable qui se chenaliserait vers le canyon ; possible problème de stabilité • Proposent de passer le câble à terre pour contourner la zone de la tête de canyon
Jan de Nul	Positif - qualifié	Conditions : <ul style="list-style-type: none"> • Déploiement du câble avec une trancheuse (<i>moonfish</i>) posée sur le fond et une barge avec une profondeur minimale de 1.5 m • La <i>Moonfish</i> pèse 130 tonnes ; il serait nécessaire de vérifier si le fond marin a la capacité portante suffisante pour le supporter (afin d'éviter un glissement dans la tête du canyon)
JD Contractors	Positif - qualifié	Conditions : <ul style="list-style-type: none"> • Houle très limitée à 1m (fenêtre météo les mois de Juillet-Aout) • Barge avec une profondeur minimale de 5 m

4.2. Avis sur l'étude

Dans son étude, la société Red Penguin synthétise les avis donnés par les sociétés expertes contactées pour la pose des câbles sous-marins et conclut que la route proposée entre la tête du canyon de Capbreton et la côte est très risquée et donc peu faisable pour les raisons suivantes :

- Les sociétés qui ont répondu à la sollicitation de Red Penguin (Tableau 11) ont exprimé des doutes sur les potentiels risques lors des opérations de tranchage et enterrement des câbles. Deux facteurs pourraient être à l'origine de risques gravitaires importants : (i) la possible instabilité du fond marin due à sa proximité avec la tête du canyon et (ii) l'action de la houle, qui peut être importante dans cette zone (cf. rapport Volt 2). Suite à ces arguments, ils proposent de contourner la tête du canyon en passant par la terre.
- La faible profondeur de la zone (10 m entre la côte et la tête du canyon, Figure 2) justifie que les sociétés proposent d'installer les câbles à partir de barges. Selon les profondeurs minimales nécessaires pour les barges, les opérations seraient faisables. Néanmoins, ce type de bateau serait à risque compte tenu de la houle (importante) qui caractérise la zone (cf. Volt 2). Cela amène toutes les sociétés à demander des données météocean (vent et houle) précises et locales afin de mieux prédire les risques associés aux déploiements des barges.
- D'autre part, certaines barges ont une longueur d'ancres qui peut être de 2 km, ce qui pose problème. Ces distances impliquent que durant la durée des travaux d'enfouissement des câbles, le port de Capbreton devrait être fermé. Les pêcheurs se verraient alors impactés. En effet, la distance entre la côte et la tête du canyon est très réduite (< 1 km).

À partir de ces éléments, les conclusions de Red Penguin, qui trouve trop risquée une installation de câbles dans la zone de la tête du canyon de Capbreton, semblent justifiées.

5. ETUDE D'INTEGRATION GEOPHYSIQUE ET GEOTECHNIQUE

L'étude de Red Penguin concluant que le passage de la route des câbles entre la tête du canyon et la côte était trop risqué, l'entreprise Fugro a été sollicitée. Il lui a été demandé de réaliser une intégration de données d'investigation géophysique de surface et de subsurface (acquises en 2018) avec des données géotechniques (acquises en 2019). L'objectif de l'étude était de fournir des informations précises sur les fonds marins situés le long du couloir de franchissement nommé « Base case » ainsi que le long du couloir alternatif « Option A » (Figure 16).

5.1. Méthodologie

5.1.1. Géophysique

Les différentes acquisitions réalisées lors de l'étude géophysique consistent en :

- Mesures bathymétriques dans le but de compléter l'imagerie spatio-temporelle de la morphologie du canyon de Capbreton. À partir de données bathymétriques acquises en 2016 par la société MMT et mises à disposition pour Fugro, une cartographie de l'érosion et de l'accumulation sédimentaire a été réalisée. Cette étude prend en compte les différences de profondeur entre 2016 et 2018, soit un total de 22 mois. À ceci s'ajoutent les différences bathymétriques obtenues entre septembre 2018 et avril 2019, qui ont été établies à partir de profils bathymétriques extraits des profils de sondeur de sédiments (SBP).
- Levés de sismique réflexion multitraces de type UHR (très haute résolution) et SBP (sondeur de sédiments, haute résolution et faible pénétration). Cette méthode permet d'imager le sous-sol et d'obtenir des coupes en profondeur de l'architecture et de la géométrie des strates sédimentaires. Ce type de données, qui ressemblent à une échographie du fond marin, peut renseigner, par exemple, sur l'existence de dépôts de glissements sous-marins, qui sont caractérisés par un signal acoustique bruité (dit chaotique).
- Cartographie des « contacts sonar » permettant de cartographier et de classer des objets indéfinis présents sur le fond marin (rochers, débris...).
- Mesure des anomalies magnétiques dans les zones prévues pour l'échantillonnage géotechnique. Cette méthode permet de mettre en évidence la présence de corps métalliques et en particulier d'anciennes charges explosives. Il est ainsi possible de cibler les zones où une opération de dépollution pyrotechnique serait nécessaire pour sécuriser la zone d'échantillonnage.

5.1.2. Géotechnique

Lors de la campagne géotechnique de 2019, six forages ont été réalisés, permettant de récupérer des carottes de sédiments jusqu'à 100 m de profondeur (Figure 17). Pour ces forages, des mesures géotechniques *in situ* à l'aide d'un pénétromètre statique (CPT, mesures de résistance qc, friction et excès de pression) ont été également faites. La localisation de ces opérations de forages (Tableau 12) est donnée dans la Figure 16.

Tableau 12 : Opérations géotechniques réalisés par Fugro en 2019		
Site de forage	Opérations	Code opération
BC_Exit	forage avec CPT	BC_Exit_CPT
	forage composite avec alternance d'échantillonnage et de CPT	BC_Exit_BH
BC_J2	forage avec pénétromètre statique continu et des échantillons sélectionnés	BC_J2_CPT
BC_C1	forage composite avec de l'échantillonnage et du CPT	BC_C1_BH
BC_C2	forage composite avec de l'échantillonnage et du CPT	BC_C2_BH
OptionA_Exit	forage avec CPT et des échantillons sélectionnés puis passage à un forage composite avec alternance d'échantillonnage et de CPT	OptionA_Exit_CPT
OptionA_J1	forage avec pénétromètre statique continu puis passage à un forage composite avec alternance d'échantillonnage et de pénétromètre statique	OptionA_J1_BH
	forage avec échantillonnage continu	OptionA_J1_BHa

NOTE : CPT (de l'anglais, *Cone Penetration Test*) fait référence à la méthode du pénétromètre statique.

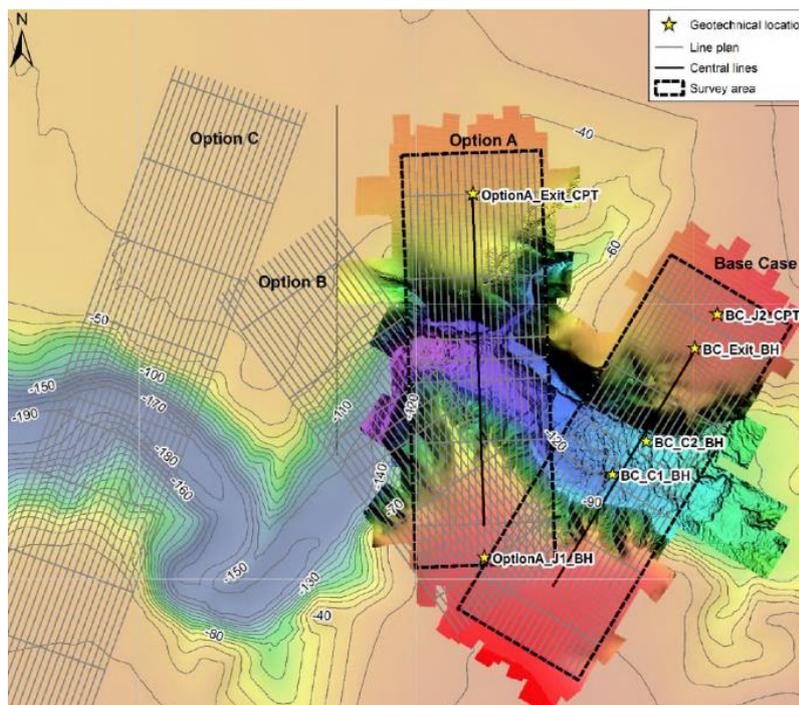


Figure 16 : Localisation des zones d'acquisition bathymétriques le long des couloirs de franchissement « Option A » et « Base Case » et localisation des sites de forage géotechniques (étoiles jaunes). Les traits en gris correspondent aux lignes de navigation suivies pendant l'acquisition géophysique (2018). Les couloirs Option B et Option C n'ont pas été retenus pour des investigations réalisées par Fugro.

5.2. Résultats

Les résultats et leurs interprétations sont synthétisés dans les Tableau 13 à 15. Un avis sur les interprétations est donné la section suivante.

Tableau 13 : Évolution morpho-bathymétrique

L'étude de Fugro présente une comparaison de mesures bathymétriques réalisées entre 2016 et 2018 (Figure 17A). Elle illustre l'hydrodynamisme actif dans le temps et dans l'espace qui a sculpté le fond du canyon de Capbreton, avec des zones en érosion et d'autres en accumulation (Figure 17B). Des zones avec de fortes pentes (jusqu'à 80°) ont été identifiées. Les différences bathymétriques entre 2018 et 2019 ont également mis en évidence des zones en érosion très importantes sur le flanc sud (10-20 m, Figure 17C). Lors des opérations du forage BC_Entry en 2019, un glissement sous-marin a en effet été interprété sur le flanc sud à partir d'une différence de 18 m par rapport à la bathymétrie de 2018. La surface du glissement cartographié mesure 400 mètres de long et 200 mètres de large (cf. trait en tireté rouge, Figure 17A).

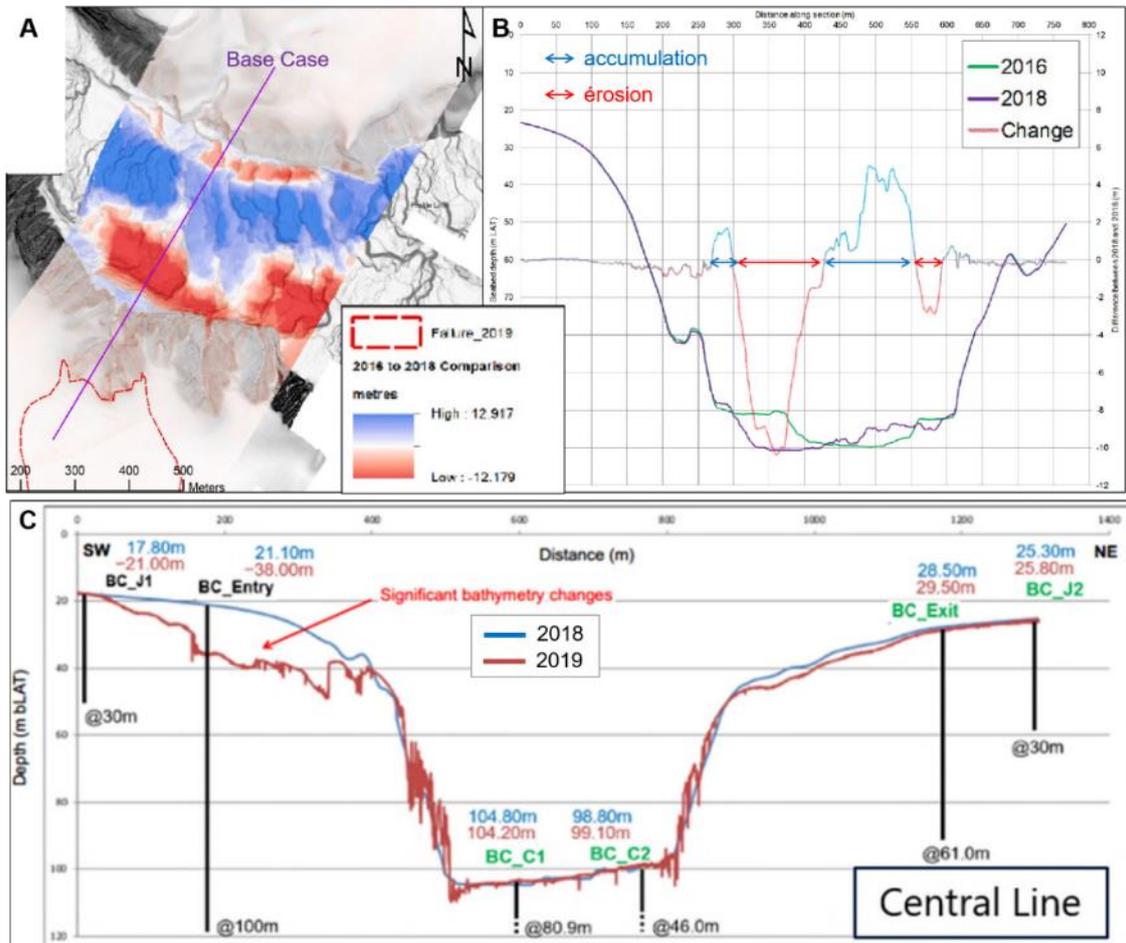


Figure 17 : A) Différences bathymétriques entre 2016 et 2018. Les zones en rouge correspondent à une différence négative, soit de l'érosion entre 2018 et 2019. Les zones en bleu, avec valeurs positives, indiquent l'accumulation sédimentaire. B) Profils bathymétriques le long de la trajectoire du « Base Case » en 2016 (en vert) et en 2018 (pourpre). La courbe de couleur variable indique la variation : gris (zéro), rouge (érosion), bleu (accumulation) qui caractérise le fond du canyon. C) Profils bathymétriques le long de la trajectoire du « Base Case » en 2018 (bleu) et en 2019 (rouge foncé) (d'après Fugro, 2019). La différence bathymétrique identifiée sur le flanc sud est interprétée comme l'érosion entraînée par un glissement sous-marin.

Tableau 14 : Architecture sédimentaire

L'imagerie par sismique réflexion a été corrélée avec les prélèvements de sédiments dans les différents sites de forage, illustrant ainsi l'architecture des accumulations sédimentaires (i.e. sables, paléo-chenaux, ...) et des surfaces d'érosion (horizons sismiques H10 et H20, Figure 18).

Par exemple, le long de la route « Base Case », il peut être observé que sous le fond du canyon, un intervalle d'au moins 30 m d'épaisseur est constitué de sédiments sableux fins à moyens (forages BC_C1 et BC_C2). De plus, la géométrie irrégulière de la surface du glissement (cf. fond marin en 2019, trait rose, Figure 18) serait en accord avec un phénomène de déstabilisation indépendant du contrôle lithologique (e.g. le trait rose n'est pas parallèle au tracé de l'horizon H10).

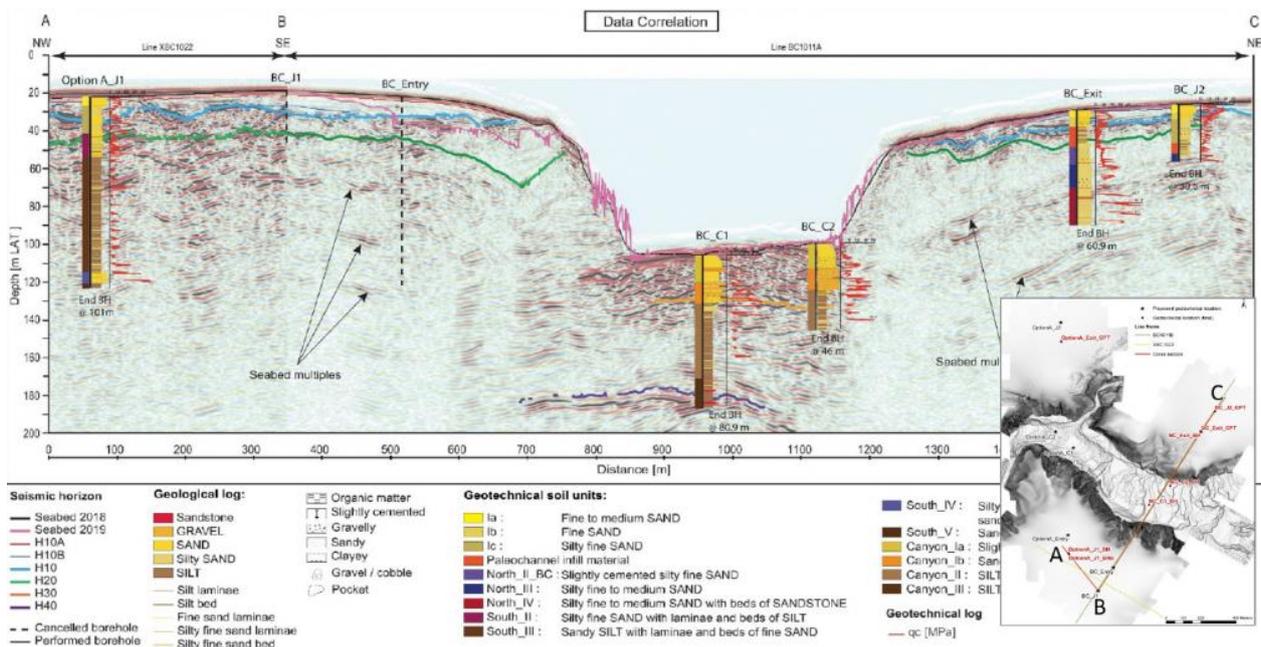


Figure 18 : Corrélation de deux lignes sismiques (entre les points A-B et B-C) avec les descriptions lithologiques des prélèvements dans les forages et les courbes de résistance (q_c , en rouge) mesurées avec le CPT (d'après Fugro, 2019).

Tableau 15 : Analyse des facteurs de cause du glissement déclenché entre 2018 et 2019

L'étude de Fugro propose trois scénarios potentiels (A, B et C) pour expliquer le déclenchement de glissements sous-marins dans la zone du canyon de Capbreton :

Scénario A : évènement de tempête qui entrainerait une érosion localisée dans la zone de la tête de canyon par l'action des courants turbiditiques. Les mesures metocean montrent qu'en janvier 2019, de forts vents (100 km/h) et des hauteurs de vagues jusqu'à 7 m ont été enregistrés dans la zone.

Scénario B : instabilité des flancs du canyon par l'effet d'une forte tempête sur les propriétés mécaniques des sédiments superficiels. Lors des tempêtes, une charge cyclique créée par la houle (i.e. cycles de compression/décompression en suivant l'amplitude des vagues), se traduirait par des variations de pressions de fluides dans les sédiments, entraînant leur déstabilisation. Ce scénario semble être le plus plausible pour expliquer le glissement sous-marin de 2019. En effet, en janvier 2019, une forte tempête, avec des vents >100 km/h et une houle ~7 m a été enregistrée dans la zone.

Scénario C : instabilité par érosion rétrogressive. Ce scénario correspond aux conditions d'érosion progressive des flancs associées à une augmentation du gradient des pentes. Un exemple de ce phénomène est illustré par l'érosion localisée sur le flanc sud, près du fond du canyon, où le glissement a eu lieu (zone en rouge, Figure 19). Ce scénario serait aggravé par l'absence de substratum rocheux.

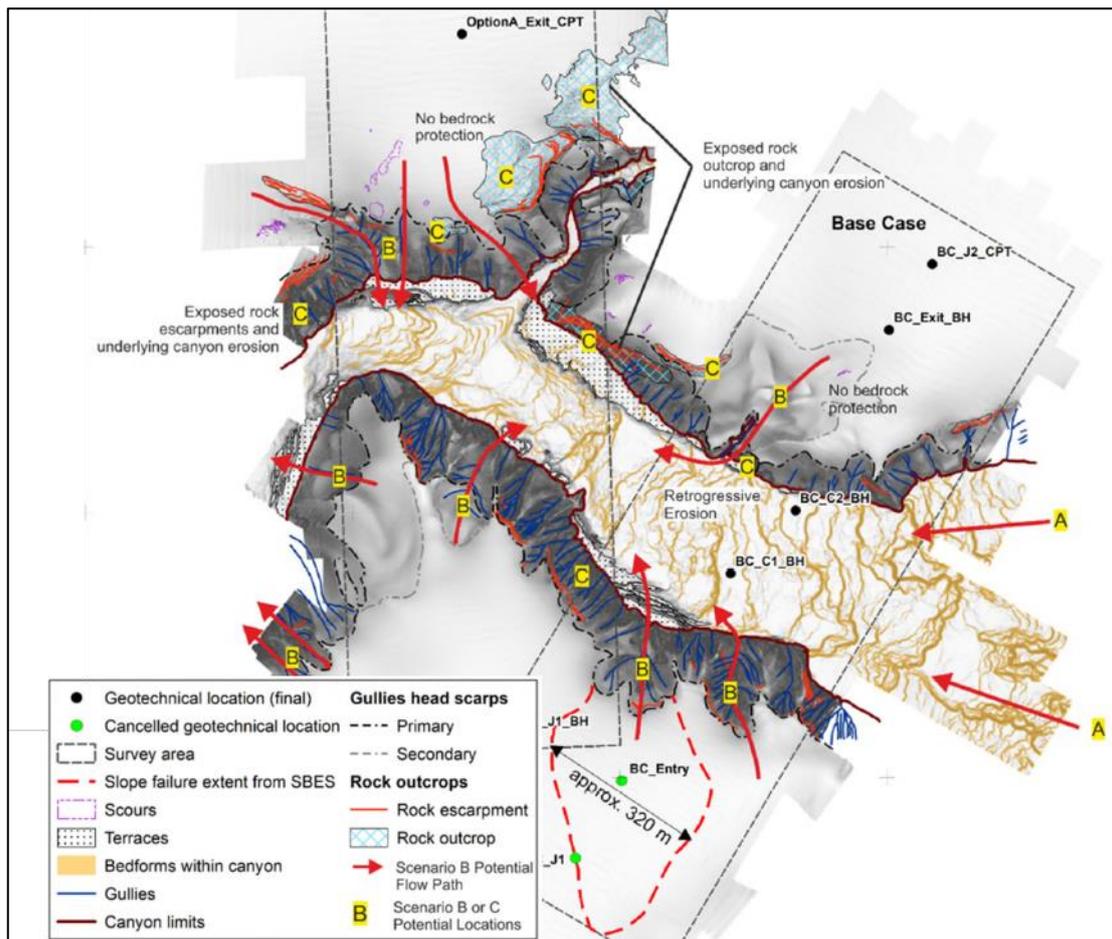


Figure 19 : Localisation des zones potentiellement instables indiquées selon les scénarios décrits (étiquettes A, B ou C en jaune) par Fugro (Fugro, 2019).

5.3. Avis sur l'étude

Les données géophysiques ont été exploitées correctement et interprétées en termes d'évolution morpho-sédimentaire pour la période de 2016 à 2018. L'acquisition de profils bathymétriques sériés le long de la route « Base Case », initialement prévue pour le passage des câbles, ont permis de cartographier un glissement sous-marin survenu entre 2018 et 2019. Les corrélations entre les données géophysiques et géotechniques permettent de mieux comprendre l'architecture sédimentaire et ainsi de montrer que le glissement n'est probablement pas contrôlé par une lithologie particulière.

L'étude se base sur une approche pluridisciplinaire et propose une analyse sérieuse et qualitative de la stabilité du fond marin. Les données sont de qualité. Il s'agit d'une étude assez complète et bien fondée. Elle renseigne notamment sur les facteurs à l'origine des glissements sous-marins ayant lieu dans le canyon de Capbreton. À partir de cette analyse, Fugro conclut que les phénomènes qui sont à l'origine de l'érosion et du déclenchement des glissements sous-marins sont principalement liés aux tempêtes.

6. RISQUES ASSOCIES AUX ROUTES DE CABLES

L'étude réalisée par Cathie Associates consiste en une évaluation des risques concernant les opérations de pose de câbles dans les différents couloirs de franchissement initialement prévus (Figure 20). Des quatre options prévues originellement, seule l'option 1 a été retenue afin d'assurer deux conditions essentielles : (i) de faibles profondeurs d'eau ainsi que (ii) des longueurs de forage les plus faibles possibles. La justification (et l'origine) de ces deux conditions semblent répondre aux besoins techniques des opérations d'enterrement mais cette information n'est pas détaillée dans le rapport.

Afin d'investiguer la faisabilité de l'option 1 initialement retenue, Fugro a réalisé, comme nous l'avons vu précédemment, des investigations géophysiques et géotechniques au niveau de deux zones dans le but de déterminer les facteurs agissant sur les fonds marins (Figure 16).

La découverte d'un glissement sous-marin entre 2018 et 2019 (Figure 17) ainsi que la cartographie des zones potentiellement instables (Figure 18) ont amené Cathie Associates à conclure que la route des câbles de l'option 1 présente des risques importants, en particulier pour les opérations de forage dirigé. Par conséquent, aucun des quatre couloirs de franchissement prévus (Figure 20) ne sont réalisables. De plus, Cathie Associates confirme que les conditions réelles d'instabilité de la zone (courants turbiditiques actifs ainsi que les occurrences de glissements sous-marins) ne permettent pas d'assurer une stabilité à long terme d'infrastructures posées sur le fond marin.

Compte tenu des évidences sur la probabilité élevée de phénomènes d'érosion (courants turbiditiques et glissements), la conclusion de Cathie Associates se justifie pleinement.

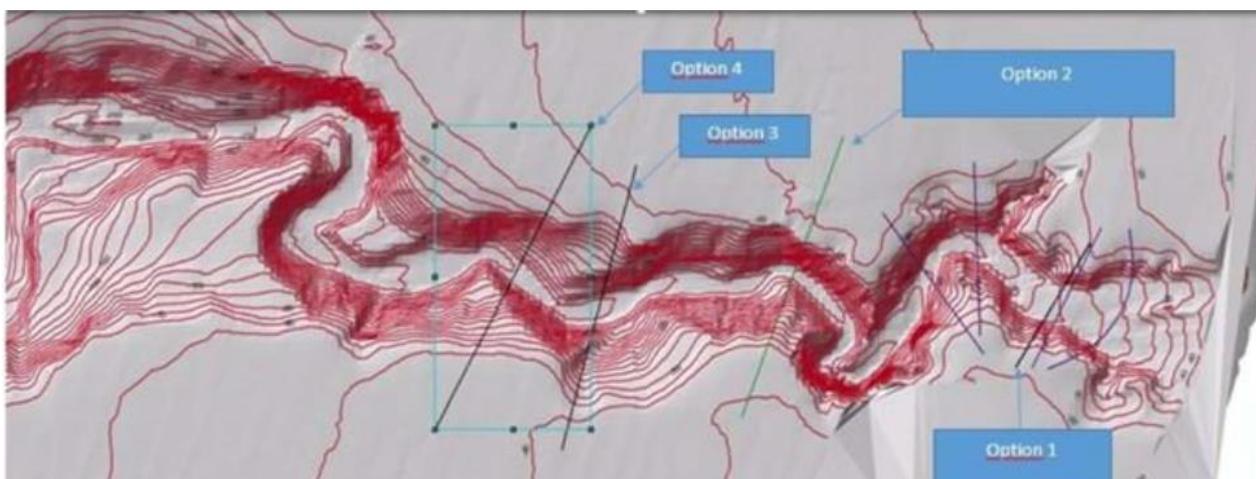


Figure 20 : Les quatre couloirs de franchissement du canyon de Capbreton prévus initialement.

7. AVIS SUR LES RISQUES NATURELS DU CAPBRETON

Les études menées par Ifremer Volt 1 (2016) et Volt 2 (2017), ainsi que l'étude de Fugro, illustrent de manière très précise l'existence de deux aléas majeurs affectant le canyon de Capbreton : les courants de turbidité et les glissements sous-marins.

Il apparaît que l'activité turbiditique au sein du canyon de Capbreton est régulière et activée à chaque tempête importante, dont la fréquence est en augmentation dans un contexte de réchauffement climatique, comme une publication récente le démontre (Guiastrennec-Faugas et al., 2020a). Les études Volt 1 et Volt 2 démontrent en détail la capacité érosive de ces courants de turbidité tout le long d'un transect allant de la tête du canyon (10 m de fond) jusqu'à 1500 m de fond.

La mobilité des dépôts sédimentaires est illustrée par les levés bathymétriques ainsi que par les mouillages. Ces données indiquent que les écoulements turbiditiques sont capables de modifier le fond du canyon ainsi que les zones de terrasses. L'évolution est de l'ordre de plusieurs centaines de mètres par an, voire 1km/an (Guiastrennec-Faugas et al. (2020a). Cette activité hydrodynamique accrue reliée à l'activité des tempêtes, suppose que toute installation sous-marine au niveau du canyon de Capbreton peut se voir affectée par d'importants phénomènes d'érosion, et ceci pour des périodes de temps relativement courtes (à l'échelle d'un an et de la décennie).

Les ressorts hydrauliques créant les *knickpoints* (ressauts bathymétriques en marches d'escalier) semblent provoquer de petits glissements le long de l'axe du canyon ainsi qu'au niveau de la tête (à des fonds entre 100 et 10 m). Leur caractère rétrogressif met en évidence l'érosion régulière qui affecte cette zone. Plus particulièrement, dans la tête de canyon, de nouveaux chenaux érosifs sont apparus lors des 15 dernières années. La capacité des ressorts hydrauliques à modifier les pentes des flancs du canyon pourrait expliquer l'apparition de petits glissements sur le flanc nord au niveau de la tête du canyon.

Des glissements sous-marins de moindre taille ont également été identifiés dans la tête du canyon par Mauzières et al. (2014) avant les études techniques évaluées dans ce rapport. Les levés bathymétriques d'Ifremer dans la zone de la tête du canyon (Volt 2) ont illustré, pour la période entre 2013 et 2016, l'existence d'un glissement sur le flanc nord et le long des chenaux incisés dans la tête du canyon (Figure 11 et Figure 12). Le glissement sous-marin survenu entre 2018 et 2019 (Fugro, 2019) démontre clairement que les instabilités des flancs du canyon de Capbreton sont bien présentes.

L'ensemble des résultats présentés dans les études Volt 1, Volt 2 et de Fugro laisse clairement penser que le canyon de Capbreton est soumis à des aléas d'origine naturelle qui engendrent d'importantes instabilités au niveau du fond du canyon, des terrasses adjacentes et de la tête du canyon.

8. FAISABILITE DU PASSAGE DES CABLES OFFSHORE

Les études synthétisées dans ce rapport mettent en évidence une importante activité d'érosion/accumulation sédimentaire au niveau de la tête du canyon de Capbreton ainsi que dans sa partie en aval. Il est clair que cette activité hydrodynamique représente un sérieux obstacle à toute installation traversant le fond. D'une part, concernant les événements turbiditiques les plus énergétiques et donc potentiellement les plus dangereux, une cyclicité décennale (soit 1 turbidite tous les 10 ans) a été proposée (Volt 1, Ifremer, 2016). D'autre part, l'extrême mobilité des accumulations sédimentaires (quelques centaines de mètre par an, Volt 1 et Volt 2) pourrait éventuellement engendrer un enterrement et un surpoids sur les câbles.

L'évolution spatio-temporelle du transect du canyon étudié montre une incision progressive au cours du temps, avec des phénomènes érosifs (*knickpoints* ou ressorts hydrauliques) rétrogressifs. De ce fait, il ne peut pas être exclu que la tête du canyon soit, en effet, en régression vers la côte. Compte tenu de la distance réduite entre la tête du canyon et la côte (environ 250 m), toute installation dans cette zone serait considérée à haut risque. De plus, les contraintes techniques soulevées par les sociétés spécialisées dans la pose de câbles sous-marins, montrent que tout projet d'enterrement dans cette zone serait difficilement réalisable (Red Penguin, 2017). Les études Volt 1 et Volt 2 ont progressivement permis d'affiner les connaissances des processus hydrodynamiques affectant le canyon de Capbreton. Les résultats ont ainsi mené dans un premier temps à l'abandon du projet de passage des câbles entre la tête du canyon et la côte.

L'apparition de nouveaux chenaux sur les flancs nord et sud du canyon, illustre à quel point l'érosion n'est pas que longitudinale dans le sens des écoulements mais également latérale. L'évènement survenu entre 2018 et 2019 (étude Fugro) illustre que les glissements sous-marins, bien que moins fréquents que les courants turbiditiques déclenchés lors de tempêtes (selon les données disponibles dans le cadre des études évaluées), sont capables de mobiliser des volumes de sédiments bien plus importants. Leur découverte remet donc en question toute possible installation d'infrastructure sur leur passage potentiel. Ces volumes de sédiments peuvent en effet enterrer, voire provoquer, d'importants dégâts sur les installations sous-marines. Ils peuvent également générer des tsunamis, comme observé en 1979 sur la marge Ligure et les côtes niçoises, lorsqu'un glissement sous-marin a provoqué l'effondrement d'une partie de l'aéroport de Nice (Dan et al., 2007). Ces résultats récents (étude Fugro) ont finalement conduit à l'abandon du second projet, qui était le franchissement du canyon par forages dirigés.

À partir de l'évaluation des études techniques menées par RTE et compte tenu de l'observation d'importants phénomènes d'érosion/accumulation provoqués par les courants de turbidité et les glissements sous-marins, ce rapport conclut que toute installation dans le domaine marin est inenvisageable, qu'elle soit localisée entre la côte et la tête du canyon, ou traversant le canyon.

9. BIBLIOGRAPHIE

- Abadie, S., Butel, R., Mauriet, S., Morichon, D., & Dupuis, H. (2006). Wave climate and longshore drift on the South Aquitaine coast. *Continental Shelf Research*, 26(16), 1924–1939. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.06.005>
- Bolliet, T., Jorissen, F. J., Schmidt, S., & Howa, H. (2014). Benthic foraminifera from Capbreton Canyon revisited; faunal evolution after repetitive sediment disturbance. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 104, 319–334. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.009>
- Brocheray, S., Cremer, M., Zaragosi, S., Schmidt, S., Eynaud, F., Rossignol, L., & Gillet, H. (2014). 2000years of frequent turbidite activity in the Capbreton Canyon (Bay of Biscay). *Marine Geology*, 347, 136–152. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.11.009>
- Dan, G., Sultan, N., & Savoye, B. (2007). The 1979 Nice harbour catastrophe revisited: Trigger mechanism inferred from geotechnical measurements and numerical modelling. *Marine Geology*, 245(1–4), 40–64. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.011>
- Guiastrennec-Faugas, L., Gillet, H., Silva Jacinto, R., Dennielou, B., Hanquiez, V., Schmidt, S., Simplet, L., & Rousset, A. (2020a). Upstream migrating knickpoints and related sedimentary processes in a submarine canyon from a rare 20-year morphobathymetric time-lapse (Capbreton submarine canyon, Bay of Biscay, France). *Marine Geology*, 423, 106143. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106143>
- Guiastrennec-Faugas, L., Gillet, H., Peakall, J., Dennielou, B., Gaillot, A., & Jacinto, R. S. (2020b). Initiation and evolution of knickpoints and their role in cut-and-fill processes in active submarine channels. *Geology*, 49(3), 314–319. <https://doi.org/10.1130/G48369.1>
- Mary, Y., Eynaud, F., Zaragosi, S., Malaizé, B., Cremer, M., & Schmidt, S. (2014). High frequency environmental changes and deposition processes in a 2 kyr-long sedimentological record from the Cap-Breton canyon (Bay of Biscay). *The Holocene*, 25(2), 348–365. <https://doi.org/10.1177/0959683614558647>
- Mazières, A., Gillet, H., Castelle, B., Mulder, T., Guyot, C., Garlan, T., & Mallet, C. (2014). High-resolution morphobathymetric analysis and evolution of Capbreton submarine canyon head (Southeast Bay of Biscay — French Atlantic Coast) over the last decade using descriptive and numerical modeling. *Marine Geology*, 351, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.001>
- Mulder, T., Weber, O., Anschutz, P., Jorissen, F. J., & Jouanneau, J.-M. (2001). A few months-old storm-generated turbidite deposited in the Capbreton Canyon (Bay of Biscay, SW France). *Geo-Marine Letters*, 21(3), 149–156. <https://doi.org/10.1007/s003670100077>
- Postma, G., Nemeč, W., & Kleinspehn, K. L. (1988). Large floating clasts in turbidites: a mechanism for their emplacement. *Sedimentary Geology*, 58(1), 47–61. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(88\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0037-0738(88)90005-X)