

RD912 – Route de La Corniche

Étude de la sensibilité aux instabilités de la route de La Corniche

**DDTM 64
SEPTEMBRE 2021**

Métadonnées

RD912 - ROUTE DE LA CORNICHE - ETUDE DE LA SENSIBILITE AUX INSTABILITES DE LA ROUTE DE LA CORNICHE ET PRECONISATIONS DE MISE EN SECURITE	
Commanditaire (s)	DDTM 64 Monsieur CHAPUIS Cité Administrative Boulevard Tourasse 64000 PAU

Historique versions

Version (s)	Date	Commentaires
1	02.04.2021	Version provisoire
2	26.08.2021	Version provisoire 2 (envoi DDTM)
3	07.09.2021	Version définitive pour avis BRGM
4	28.09.2021	Version définitive – intégration observations BRGM

Affaire suivi par

GILLES VALDEYRON - Département Infrastructures / Groupe Gestion du Patrimoine et Géotechnique gilles.valdeyron@cerema.fr Tél. 05.56.70.63.10
Site de BORDEAUX, 24 rue Carton, CS 41635, 33073 BORDEAUX Cedex

Références

N° affaire : C20SB0017 - 14.64.G630A

Validation du document

Rapport	Nom	Date	Visa
Etabli par	Frédéric CLEMENT Jérôme REVEL Cyril RESPAUD Emeric VEDIE Gilles VALDEYRON	28/09/2021	
Validé par	Gilles VALDEYRON	28/09/2021	

Envoi du rapport

Destinataire (s)	Date d'envoi
1 ex. DDTM 64 (M. CHAPUIS)	
1 ex. Cerema SO / Département Infrastructures	

Sommaire

INTRODUCTION	4
1 - DESCRIPTIF DE L'OUVRAGE	7
2 - CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	8
2.1 - CONTEXTE GEOLOGIQUE	8
2.2 - CONTEXTE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE	8
2.3 - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	13
2.4 - LA KARSTIFICATION.....	15
3 - CONSISTANCE DES INTERVENTIONS	18
4 - NATURE ET CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DES SOLS	20
4.1 - LES FORMATIONS SUPERFICIELLES	20
4.2 - LES FLYSCHS	22
5 - ANALYSE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN	25
5.1 - LE SITE ET LA PRESENCE D'EAU	25
5.2 - LES INCIDENCES DES MOUVEMENTS DE TERRAIN ET FACTEURS DECLENCHANTS	28
5.3 - ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES MAJEURS.....	31
6 - MECANISMES DE RUPTURE ET MODELISATIONS	40
7 - HYDRODYNAMISME MARIN : MECANISME DE RUPTURE ET MODELISATION	48
7.1 - PRISE EN COMPTE DES EFFETS DE L'EAU	48
7.2 - EVALUATION DE LA STABILITE VIS-A-VIS DE LA HOULE	64
7.3 - PRISE EN COMPTE DES CUMULS MAREES ET HOULES	69
8 - CONCLUSIONS	71

ANNEXES

ANNEXE 1 – PLANS D'IMPLANTATION ET COUPES DE SONDAGES	
ANNEXE 2 – LEVES DE TERRAIN ET DIAGNOSTICS GEOTECHNIQUES	
ANNEXE 3 – PROFILS GEOTECHNIQUES	
ANNEXE 4 – RECONNAISSANCE PAR RADAR GEOLOGIQUE DES PAROIS DE LA FALAISE DE LA ROUTE DE LA CORNICHE (SECTEUR 15B)	
ANNEXE 5 – CALCULS TALREN	
ANNEXE 6 – COMPTE-RENDU DE VISITE DU GLISSEMENT SURVENU LE 29/10/2020	
ANNEXE 7 – RESULTATS DES SUIVIS PIEZOMETRIQUES ET INCLINOMETRIQUES	

RAPPORT

INTRODUCTION

Le Cerema a été sollicité par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Pyrénées-Atlantiques pour étudier la situation de la stabilité et de la sécurité de la RD912 entre Ciboure et Hendaye, dont l'environnement immédiat présente un aléa localement fort à très fort d'instabilité de falaise. Sur cette section d'infrastructure longue d'environ 4,6 km, 2 km ont en effet été classés, par le BRGM, à ce niveau extrême d'exposition.

Cette étude consiste en une mission d'expertise (de type G5 selon la norme NF P94-500) portant sur l'analyse de la sensibilité de la route vis-à-vis des phénomènes de mouvements de terrain (mécanismes redoutés, dangers encourus et niveau d'urgence).

Elle fait suite à l'avis donné par le Cerema fin 2019, à la demande de la DDTM 64, sur l'étude G2-AVP de la stabilité de la route RD 912 entre Socoa et Hendaye réalisée par le bureau d'étude Geotec, dans lequel le Cerema recommandait de compléter l'analyse de sensibilité, notamment au niveau des tronçons jugés les plus sensibles.

L'étude a donc pour objectif de déterminer la sensibilité aux instabilités des falaises de la route de la Corniche (RD 912) sur la commune de Urrugne, entre Socoa et Hendaye.

Elle a été menée en plusieurs phases :

Phase 1 – Recueil de connaissance

Cette phase comprend notamment :

- Une analyse documentaire des données en nombre particulièrement important sur ce site, régulièrement suivi et expertisé par l'Observatoire de la Côte Aquitaine et le BGRM ;
- Un diagnostic sur site permettant d'apporter un complément aux données bibliographiques et d'identifier des secteurs prioritaires ;
- L'organisation d'une campagne de reconnaissance et de suivi pour chacun des sites prioritaires. Ces investigations ont pour objectif de permettre une meilleure connaissance des déterminants spécifiques du comportement de l'infrastructure routière.

Compte-tenu de l'ampleur de la tâche qui aurait consisté à analyser exhaustivement l'ensemble de l'itinéraire incompatible avec le délai réduit imparti à l'étude, le choix a été fait de se focaliser sur plusieurs tronçons identifiés comme prioritaires sans pour autant dénaturer les objectifs de l'étude et la pertinence des conclusions. Ces tronçons prioritaires correspondent aux 5 tronçons de niveau d'exposition aux aléas naturels « très forts » définis en 2009 dans le rapport BRGM RP57301-FR (tronçons 7, 9, 12, 15).

Phase 2 – Modélisation et préconisations

Cette phase comprend notamment :

- La constitution d'un modèle géologique, et la réalisation de calculs de stabilité sur chacun des profils dimensionnants, représentatifs des zones les plus vulnérables ;
- L'appréhension des effets de la houle ;
- L'établissement de préconisations.

Le choix a été fait d'utiliser des modèles simplifiés afin d'avoir une idée claire de l'influence des principaux facteurs (hauteur de la houle, état du massif, etc.).

Finalisation du rapport :

Avant établissement du rapport définitif (objet du présent document), des résultats provisoires ont été présentés :

- Lors du COPIL du 19 mai 2021 (premiers résultats des calculs de stabilité) ;
- Sous forme d'un rapport d'avancement en date du 21 octobre 2020 (détermination des tronçons prioritaires et profils dimensionnants) ;

Le rapport a enfin fait l'objet d'une relecture et d'un contrôle extérieur par le BRGM (avis en date du 21/09/2021) avant d'aboutir à sa version définitive.

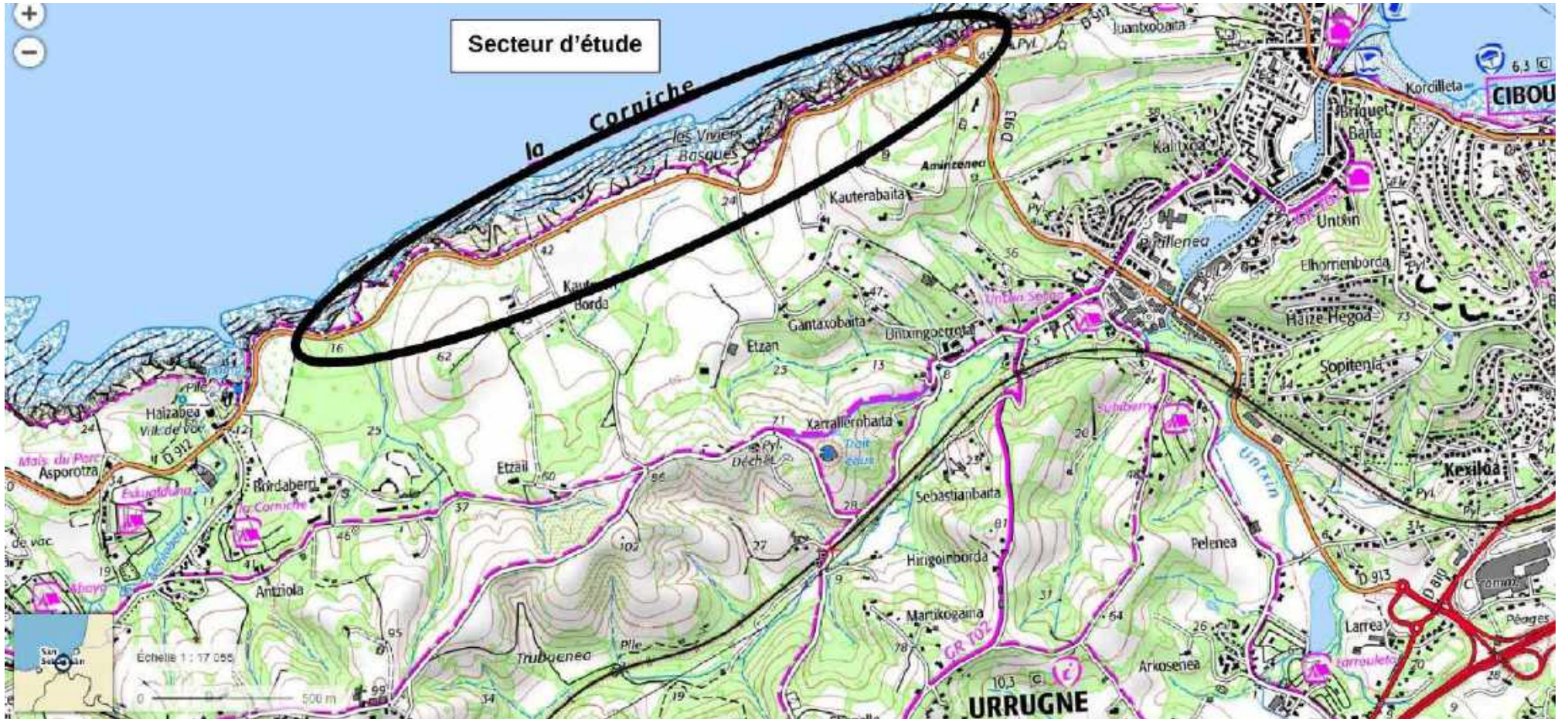


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (source : géoportail - IGN)

1 - DESCRIPTIF DE L'OUVRAGE

Ci-dessous les plans de situation des profils dimensionnants permettant d'estimer le niveau de stabilité de la falaise au droit des secteurs les plus sensibles de la RD 912.

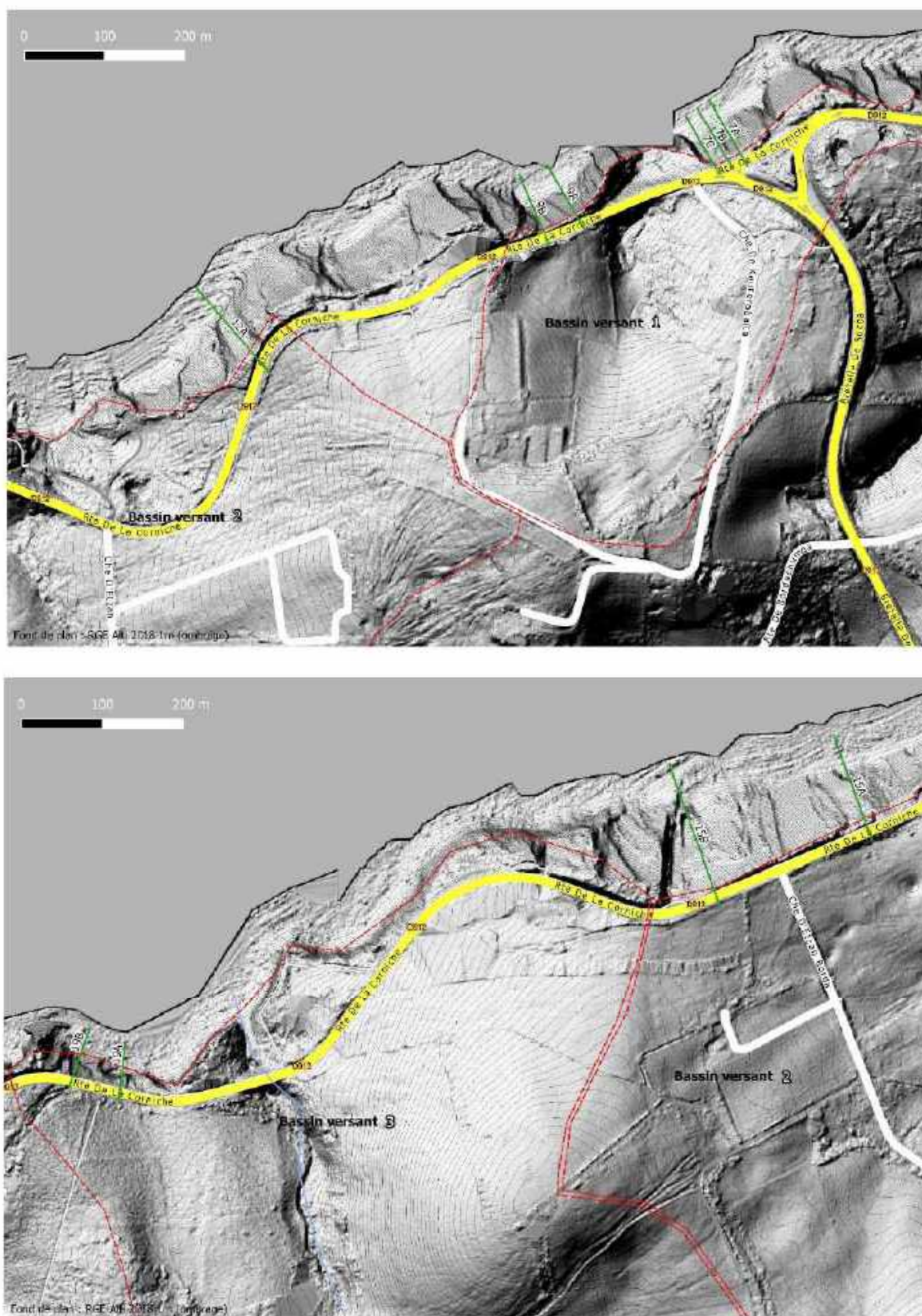


Figure 2 : Environnement topographique et implantation des profils

2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

2.1 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le contexte géologique de la zone d'étude est largement décrit dans les différents rapports du BRGM/OCA (exemple du rapport BRGM/RP-55262-FR de mars 2007). Ainsi pour une connaissance globale de la géologie de la zone d'étude (route de la Corniche), le lecteur pourra consulter la documentation publique du BRGM.

2.2 - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

→ Contexte topographique

Le contexte topographique général est donné par la figure 1. On constate que le secteur de la route de la corniche s'inscrit dans un environnement littoral particulièrement chaoté avec de nombreux bassins versants de petite taille qui sont le siège d'une érosion localisée importante illustrée par les très nombreux thalwegs encaissés.

La route de la corniche est située de manière quasi-continue (sur les secteurs étudiés) sur les points hauts du secteur ; elle est en remblai lorsqu'elle traverse l'exutoire des petits bassins versants littoraux qui tente de rejoindre l'océan.

→ Contexte hydrographique

Le drain hydrographique principal du secteur est un ruisseau d'orientation est-ouest, c'est-à-dire parallèle à la cote, rejoignant l'Untxin qui se jette dans l'océan 1 km plus loin entre la plage de Socoa et la plage de Ciboure. Ce ruisseau draine (i) la partie Est du linéaire de la route de la corniche (entre les secteurs 1 et 5) et la zone rétro-littorale (au-delà de 500 à 1000 m de la crête des falaises. Sur la majorité du linéaire de corniche, les eaux s'écoulent directement vers les falaises de flyschs par l'intermédiaire de trois petits bassins versants (topographiques) littoraux (cf figure 2 ci-dessous) :

- Deux bassins d'environ 1 km² (BV 2 et BV 3) et ;
- Un bassin de 0,2 km² (BV 1).

On constate que les secteurs étudiés et plus particulièrement les profils dimensionnants sont situés de part et d'autre de l'exutoire de ces bassins versants. D'un point de vue topographique, ils ne reçoivent donc pas d'apport hydrique concentré et significatif issus des ruissellements de surface, d'autant que la superficie des bassins versants est très limitée.

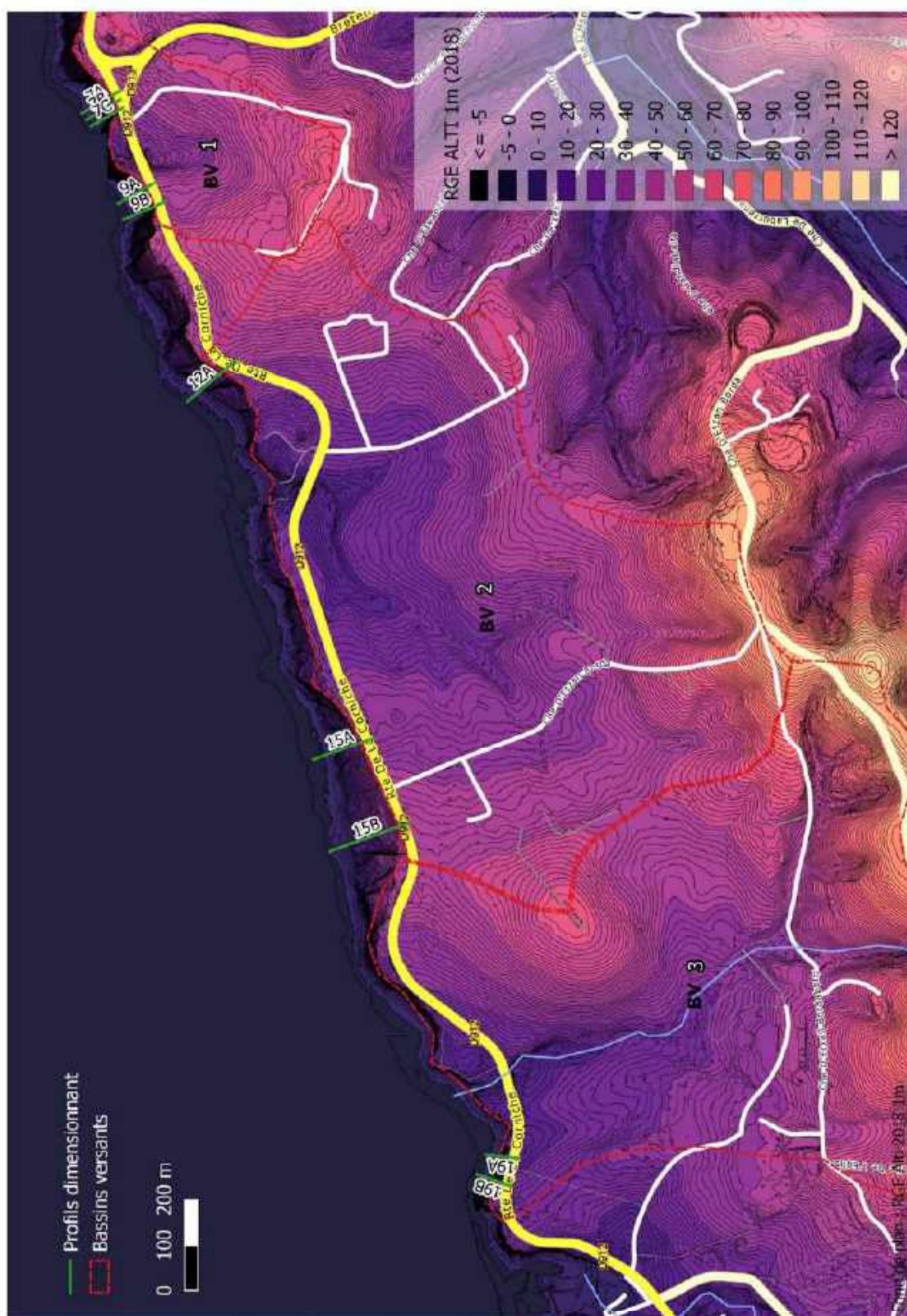


Figure 3: Topographie des bassins versants littoraux sur le secteur de la route de la corniche

Une analyse plus poussée de la topographie a permis par ailleurs d'obtenir et de cartographier précisément les écoulements de surface théoriques ; à partir de la méthode e-exzeco développée par le Cerema (<https://www.cerema.fr/fr/actualites/modelisation-du-ruissellement-bassins-versants-methode>) et basée sur une analyse itérative de la topographie, les chemins préférentiels de ruissellement sont calculés ; ce calcul permet d'obtenir les différentes positions possibles d'écoulement, notamment en fond de thalweg et de dessiner *in fine* une enveloppe de ruissellement potentielle selon la taille du bassin versant considéré.

Les résultats globaux de cette analyse topographique sont donnés par la figure ci-dessous. Plus l'enveloppe est foncée, plus les écoulements sont concentrés car plus le bassin versant est grand. En d'autres termes :

- Les enveloppes blanches traduisent un écoulement plutôt diffus depuis des surfaces amont limitées ;
- Les enveloppes bleues traduisent un écoulement important qui concentre les eaux ruisselant sur des surfaces amont significatives (> 0,5 km²).

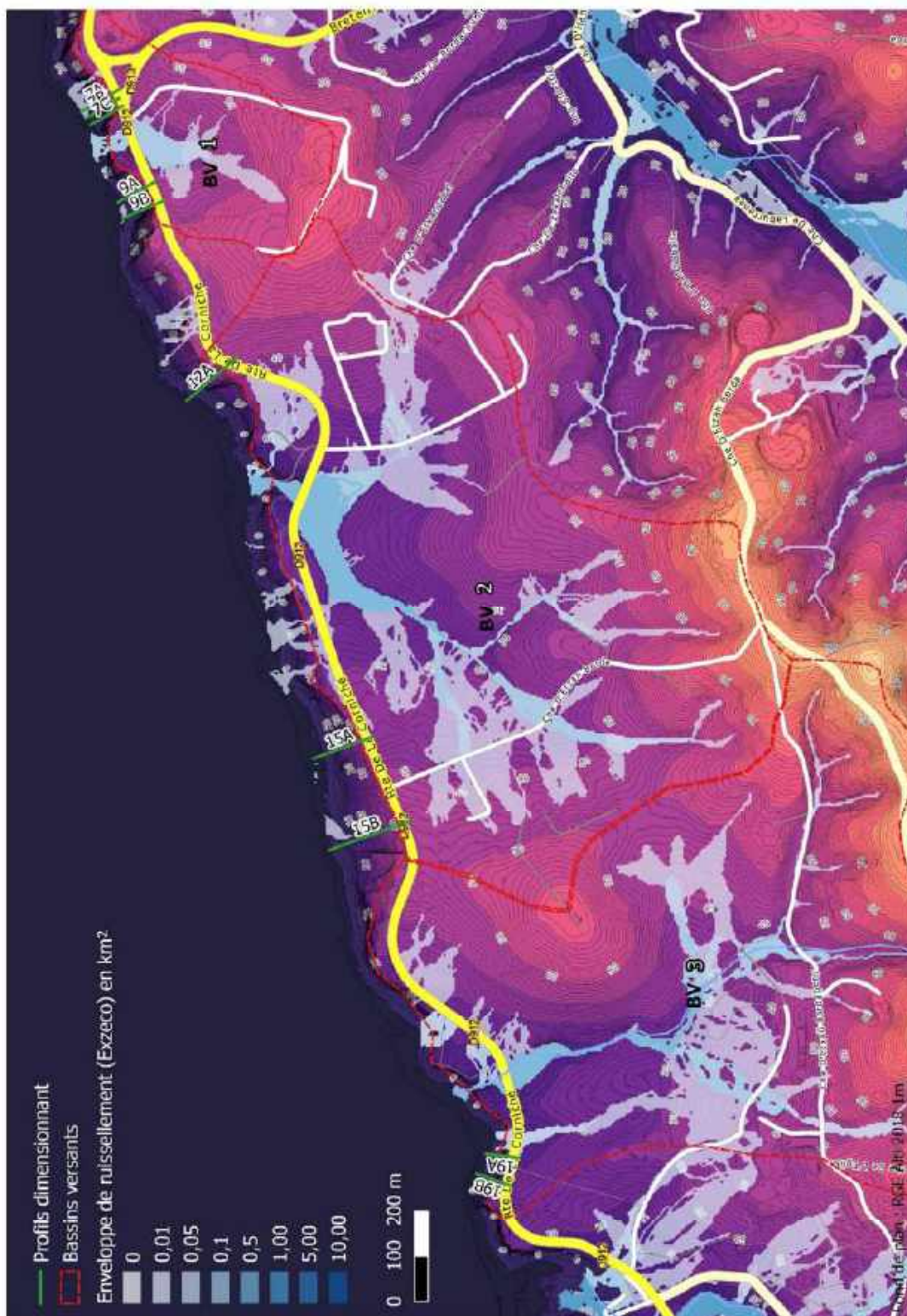


Figure 4: Enveloppes de ruissellement théorique sur le secteur de la route de la corniche

Pour chaque bassin versant, un zoom de ces enveloppes d'écoulement est proposé (figures 4, 5 et 6). Comme l'indique l'analyse préliminaire de la topographie, les profils topographiés étudiés ne correspondent pas à des secteurs avec un débouché des eaux de ruissellement (à l'exception du profil 19A, proche d'un thalweg). Au contraire, la majorité des profils concernent des points hauts topographiques plutôt épargnés des zones d'écoulement (de surface).

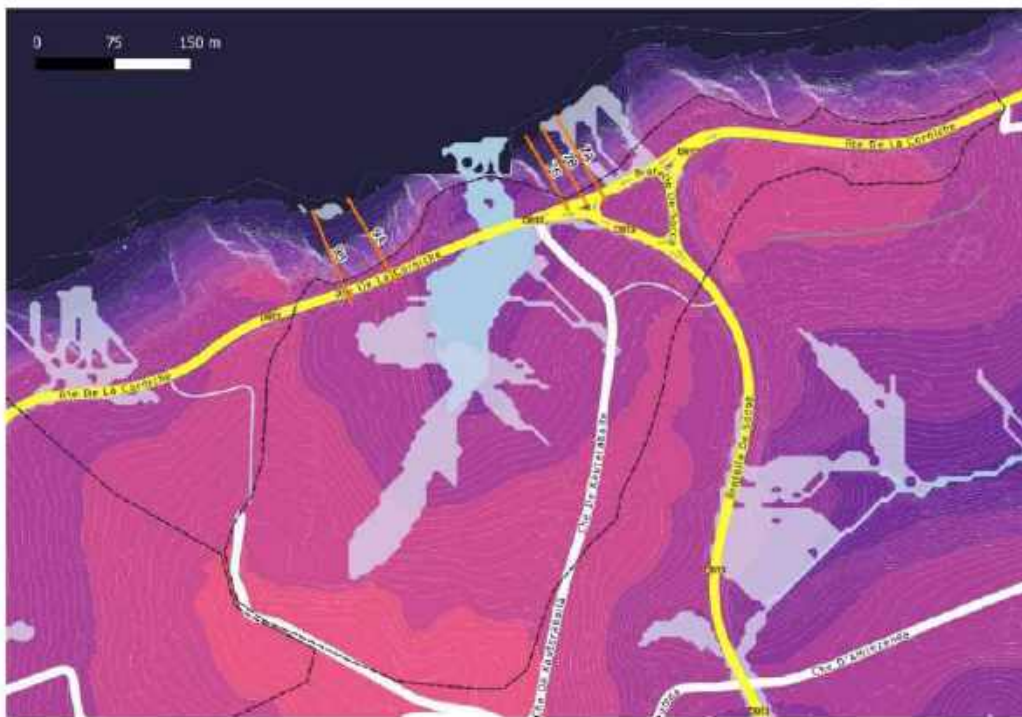


Figure 5 : Enveloppes de ruissellement théorique pour les profils situés sur les secteurs 7 et 9 (Bassin versant 1) - (source : Cerema)

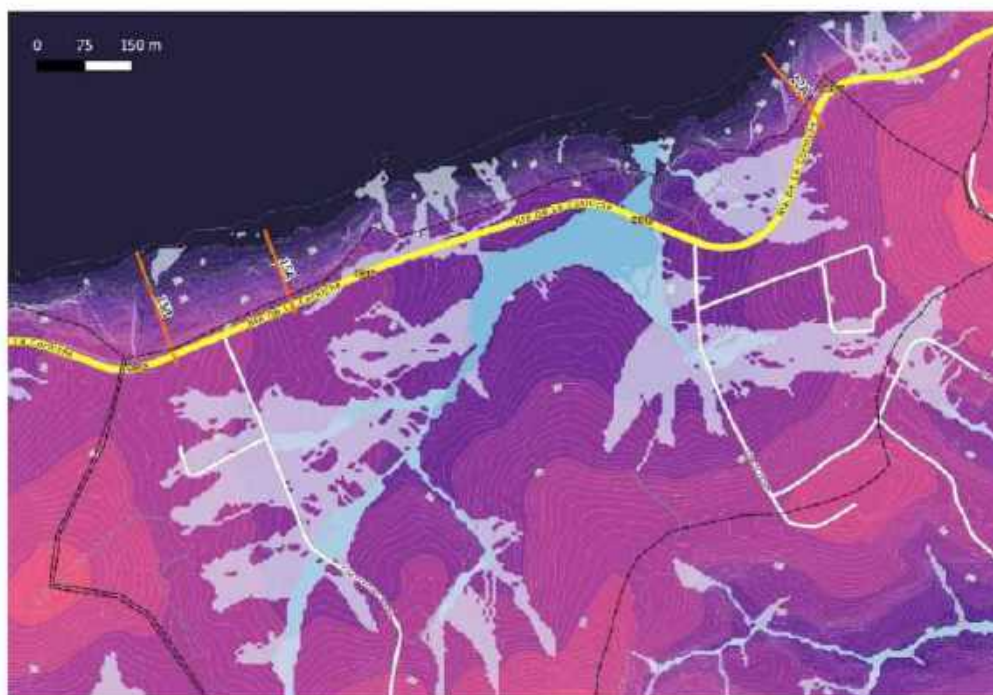


Figure 6 : Enveloppes de ruissellement théorique pour les profils situés sur les secteurs 12 et 15 (Bassin versant 2) - (source : Cerema)

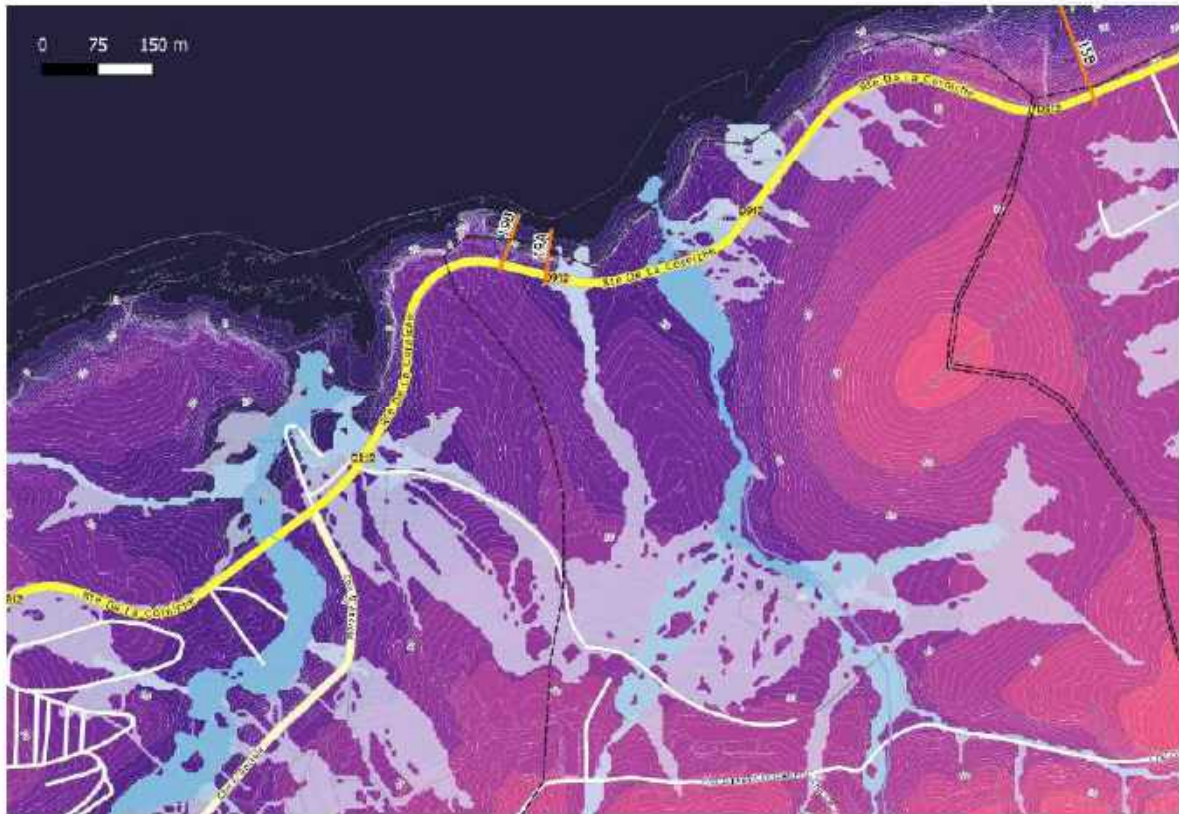


Figure 7 : Enveloppes de ruissellement théorique pour les profils situés sur le secteur 19 (Bassin versant 3) (source : Cerema)

→ Perturbations anthropiques

A noter par ailleurs que les écoulements de surface sont très probablement fortement perturbés par la route de la corniche, souvent en remblai, qui vient :

- Entraver le cheminement des eaux vers l'océan (des ouvrages hydrauliques, non étudiés, permettent en théorie d'assurer une continuité hydraulique) ;
- Apporter localement des eaux d'assainissement depuis la route.

L'impact anthropique sur l'ensemble des écoulements de surface n'a pas été étudié en détail à l'échelle des bassins versants. Toutefois, comme sur le tronçon 7 montrant des apports d'eaux de chaussée sur la crête de falaise (au droit d'un exutoire du réseau d'assainissement pluvial), notre étude tient compte de ces perturbations anthropiques.

2.3 - CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Afin d'apprécier les apports en eaux au sein des falaises, il est important de comprendre les écoulements souterrains et de sub-surface qui peuvent être assez différents des ruissellements de surface (qui semblent limités au droit des secteurs sensibles étudiés). Pour cela, il faut connaître les niveaux d'eau (nappes souterraines et nappes perchées).

A l'échelle régionale, le secteur de la corniche est situé dans le domaine hydrogéologique du flysch crétacé (figure ci-dessous).

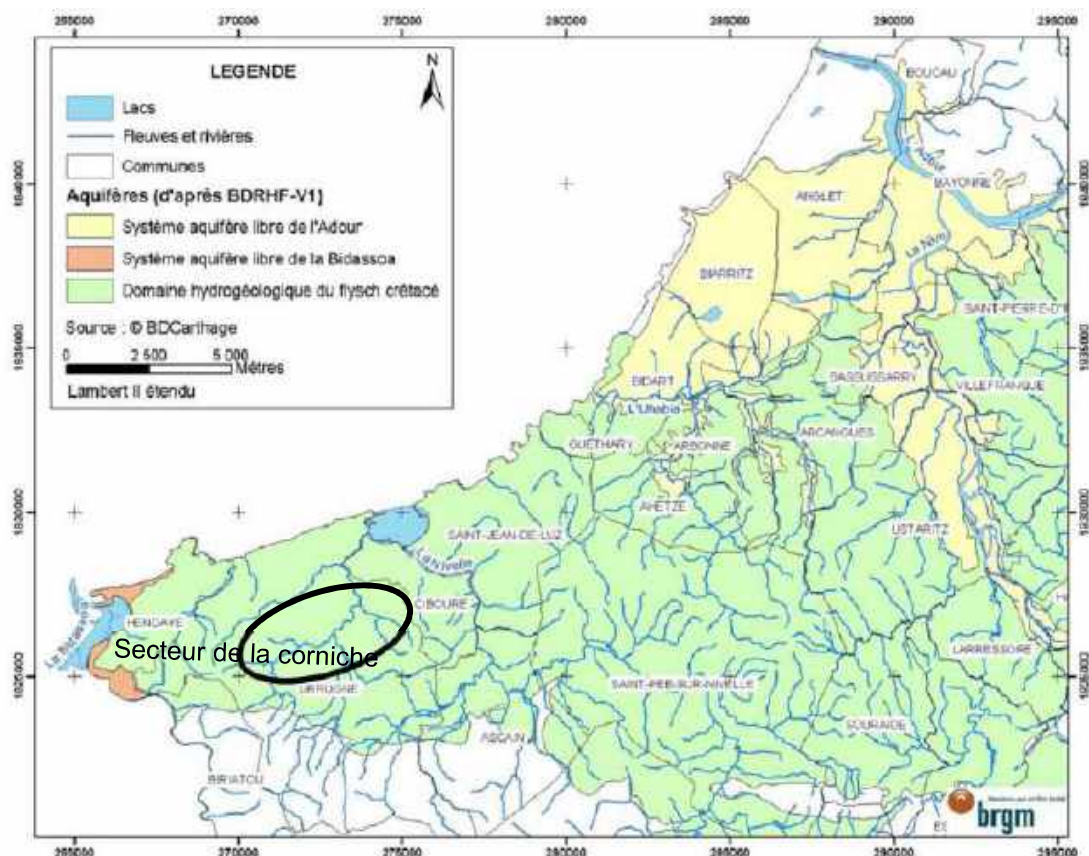


Figure 8 : Carte du réseau hydrographique et des principaux aquifères (Winckel et al., 2004)

Les études hydrogéologiques n'étant pas menées sur les petits bassins littoraux de la route de la corniche, peu d'information sont disponibles sur la nature et la quantité des apports hydriques continentaux au sein des flyschs constituant les falaises littorales.

Les données sont à rechercher dans l'exploitation des sondages (pour certains équipés de piézomètres) réalisés au cours des différentes études relatives à la stabilité de la route de la corniche, y compris la présente étude du Cerema (voir chapitre suivant).

Au regard de la géologie locale (flysch à pendage oblique), les circulations d'eau (et leurs fluctuations) sont naturellement conditionnées par la configuration litho-structurale des formations en place (géométrie des bancs et tectonique) :

- Circulation via la porosité des matériaux : en lien avec la nature du substratum dans lequel l'eau s'écoule ;
- Circulation aux interfaces lithologiques : en lien avec la configuration (stratigraphie) du substratum marno-calcaire ;
- Circulation au niveau des discontinuités et de la fracturation : en lien avec les failles, fissures et boyaux.

Suite aux visites de terrain, plusieurs arrivées d'eau sont constatées depuis les falaises ; notamment au niveau des fractures et zones bréchiques mais aussi au sein des inter-bancs marno-calcaires. Pour ces dernières, si on considère l'altitude des niveaux de résurgence (compris entre +3 et +5 m NGF), elles peuvent traduire une « vidange d'eau de mer » de la paroi après un niveau de Pleine Mer, mais une arrivée d'eau continentale n'est pas à exclure ; des études sur la chimie des eaux confirmeraient cela, bien qu'il soit difficile de l'affirmer du fait que les précipitations littorales présentent un taux en chlorure assez élevé et donc proche de celui des eaux océaniques (BRGM/RP-57054-FR).

La réalisation d'un relevé exhaustif et pluri-saisonnier des arrivées d'eau au sein des falaises n'a pas pu être menée dans le temps imparti pour cette étude ; néanmoins, cela constituerait une piste importante d'amélioration des connaissances relatives aux circulations d'eau continentale dans les falaises.

Pour améliorer notre connaissance du comportement du substratum, l'indice IDPR (Indice de Développement et de Persistance des Réseaux – source Infoterre BRGM) a été recherché ; il indique que :

- Les terrains des bassins versants 1 et 2 sont plutôt le siège d'un ruissellement de surface ;
- Les terrains du bassin versant 3 sont plutôt le siège d'une infiltration, notamment à l'aval, ce qui est cohérent avec la présence d'altérites constatées au niveau des profils 19A et 19B.

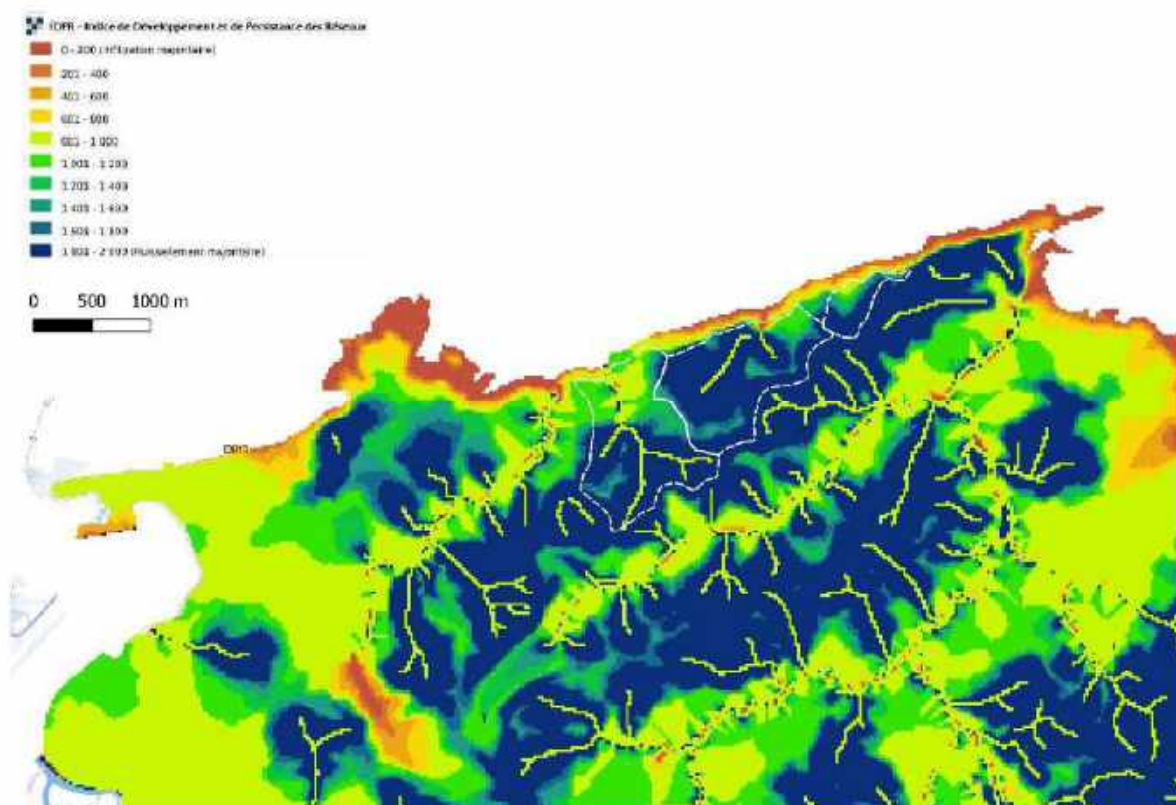


Figure 9 : Indices de développement et de persistance des réseaux (source : Infoterre-BRGM)

Cet indice IDPR est donné à titre indicatif pour souligner l'intérêt d'améliorer les connaissances relatives au comportement des sols des bassins versants et leur capacité à infiltrer les eaux, de manière diffuse et/ localisée. Ce point constitue une piste d'amélioration à mener ultérieurement.

2.4 - LA KARSTIFICATION

Les études menées par Borie et al. en 2004, 2005 et 2009 tendent à démontrer qu'il existe un aquifère fracturé, voire karstique, dans le flysch marno-calcaire de Socoa, en témoignent la présence de sources et de zones de ruissellement et de suintement constatées sur le secteur de la route de la corniche.

Plus précisément, il est spécifié (BRGM/RP-57054-FR) que l'aquifère karstique est « complexe » et s'est développée en lien avec une nappe située à l'interface entre les flyschs et les altérites.

Cette configuration « altérites sur flyschs » ne se rencontrant que très peu sur les secteurs étudiés (excepté pour le secteur 19), l'horizon karstique décrit dans la bibliographie est ici désormais (sub-)affleurant (contexte de karst nu en raison de l'ablation des altérites) ce qui change son fonctionnement initial (contexte de karst sous-couverture).

Malgré ces informations, aucune manifestation karstique significative n'a été observée au droit des profils dimensionnants ; seuls sont relevés des phénomènes d'érosion non liés au karst :

- Érosion différentielle affectant localement les bancs marneux (de manière plus intense que les bancs calcaires) ;
- Érosion privilégiée au droit des zones fracturées (érosion à l'origine des sous-cavages en pieds de falaise).

Cela ne signifie pas l'absence de circulation d'eau souterraines via des drains privilégiés d'origine tectonique (fractures et discontinuités) et/ou karstique. Une étude du contexte karstique (mis par ailleurs en évidence par Vanara et al. en 2007¹ spécifiquement sur le plateau rocheux continental) serait à associer à l'étude du fonctionnement hydrogéologique des bassins versants côtiers.

De fait, les indices karstiques sont recensés ; ils sont situés en dehors des zones étudiées (profils dimensionnants) :

- Plus à l'est, entre le secteur 5 et le secteur 1 : résurgences (au sein des falaises) qui présentent un délai de réponse très court aux précipitations (inférieur à 3 jours ; Borie et al., 2004) ; sur cette zone, les falaises formeraient l'exutoire de(s) nappe(s) de l'horizon karstifié. Au regard de la vitesse de restitution suite aux précipitations, Borie et al. (2004) font l'hypothèse d'un réseau karstique assez largement évidé (décolmaté).
- Sur le secteur 14, au droit de l'éboulement survenu en octobre 2020 (cf photo ci-dessous) : résurgence assez nette avec débit de plusieurs litres par minute (écoulement en direction des terres).



Figure 10 : Résurgences au niveau du secteur 15

¹ Vanara Nathalie, Perre Alain, Pernet Marc, Latapie Serge, Jaillet Stéphane, Martine Olivier. Aroca (domaine marin côtier, Pays basque, France) : un karst continental ennoyé par les transgressions maritimes quaternaires. In: Karstologia : revue de karstologie et de spéléologie physique, n°49, 1er semestre 2007. Formations superficielles du Causse de Sauveterre (Aveyron, Lozère) et Le karst ennoyé d'Aroca (Pays basque) pp. 43-55 doi : <https://doi.org/10.3406/karst.2007.2599> https://www.persee.fr/doc/karst_0751-7688_2007_num_49_1_2599

Ces résurgences et manifestations hydriques sont situées au niveau de l'horizon karstique décrit précédemment. Elles sont donc possiblement à rattacher à un contexte de drains souterrains actifs liés à cet horizon karstique.

NOTA : Des indices de dolines sont visibles sur le secteur des Viviers Basques (à l'ouest du secteur 12) et dans le golf proche du secteur 15. Le caractère karstique de ces dépressions est néanmoins difficile à démontrer (fausses dolines ?). Un recensement de ces indices topographiques serait à prévoir et à comparer aux levés structuraux identifiés sur la zone.

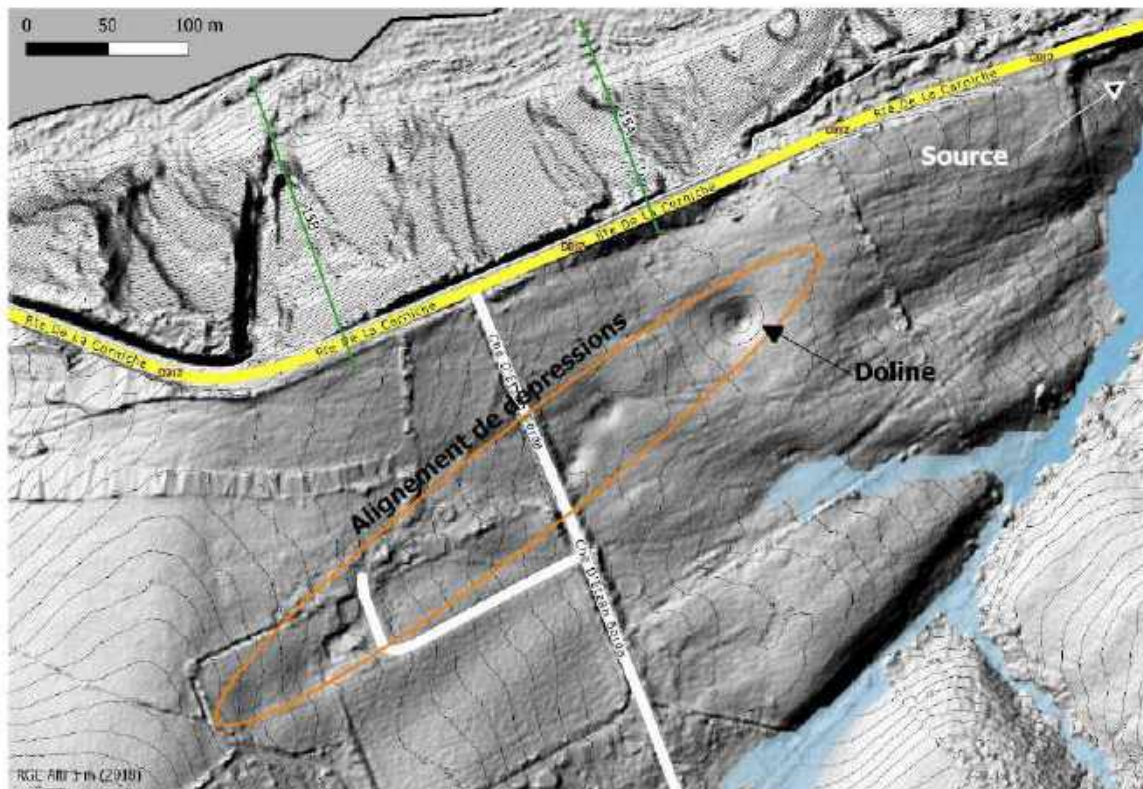


Figure 11 : Dépression topographique constatée au niveau du profil 15

Bien qu'évoquées dans les études de Borie et al. en 2004, 2005 et 2009, les circulations d'eau au sien du massif des flyschs littoraux de Soccoa ne sont pas encore clairement identifiées et qualifiées.

Sans nier la présence de circulation d'eau au sein des falaises et de potentielles résurgences liées à la troncature que constituent les falaises avec l'horizon karstifié supposé, nous pouvons retenir, pour la présente étude, les points suivants :

- Les zones étudiées (profils dimensionnants) sont situées en dehors des exutoires topographiques des petits bassins versants côtiers (sauf au droit du tronçon 19) ;
- Les zones étudiées (profils dimensionnants), sont situées dans des sites dépourvus d'altérites épaisses (secteurs 7, 9, 12 et 15); la présence d'un aquifère karstique (interface altérites/flysch) y est donc plus hypothétique bien qu'un réseau karstique souterrain ancien puisse tout de même s'y être développé avant l'ablation des altérites;
- A l'exception de petits suintements locaux, aucune arrivée d'eau continentale marquante n'a été clairement identifiée en crête de falaises au droit des profils dimensionnants au cours de l'étude (un suivi à plus long terme est néanmoins indispensable pour confirmer ce constat).

3 - CONSISTANCE DES INTERVENTIONS

Le secteur d'étude, entre les tronçons 7 et 19 de la route de La Corniche à URRUGNE, a fait l'objet de plusieurs campagnes de reconnaissance des sols et du sous-sol par sondages et méthodes géophysiques. Ces campagnes de reconnaissance sont les suivantes, par ordre chronologique (données fournies par le BRGM et le Département des Pyrénées-Atlantiques).

→ Reconnaissance géophysique de l'Ecole Centrale de PARIS (ENPC – 2004)

Dans le cadre d'un travail universitaire de DEA réalisé par Mme BORIE, des investigations géophysiques ont été effectuées sur le secteur des Viviers Basques, proche du tronçon 12 : 2 sections de panneaux électriques couvrant une longueur totale de 465 m / profil Dipôle-Dipôle. Les résultats de ces investigations électriques sont présentés dans le rapport "Analyse des glissements rocheux des Viviers Basques" – M. BORIE (2003/2004) – ENPC Paris IV.

→ Reconnaissance géophysique du BRGM (janvier 2005)

Dans le cadre d'une caractérisation géophysique d'instabilités pour le secteur du Vivier Basque (proche du tronçon 12), les auscultations suivantes ont été réalisées par le BRGM : 2 panneaux de résistivité, VB1 de 185 m et VB2 de 210 m (mesures Dipôle-Dipôle). Les résultats de ces auscultations géophysiques sont présentés dans le rapport "BRGM/RP-53532-FR" de janvier 2005.

→ Reconnaissance de GEOTEC (mai 2019)

Dans le cadre d'une étude Avant-Projet de sécurisation de la route de La Corniche, commandée par le Conseil Départemental 64 – DGA, l'entreprise GEOTEC a réalisé la campagne de sondages suivante, entre les tronçons 7 et 19 :

- 9 sondages destructifs ϕ 63 mm (SD7, INC9, INC12, SD15, SD15bis, Pz15, INC15, INC15bis et SD19), de 15 à 40 m de profondeur, avec enregistrement des paramètres de foration. 4 sondages sont équipés de tubes inclinométriques et 1 sondage en piézomètre
- 5 sondages pressiométriques ϕ 63 mm (SP7, SP9, SP12, SP15 et SP19), de 15 m de profondeur, avec essai tous les mètres.

→ Reconnaissance de GEOLITHE (février 2021)

Dans le cadre de ce travail, le Cerema Sud-Ouest / Département Infrastructures a demandé à la DDTM 64 la réalisation des sondages suivants (réalisés par l'entreprise GEOLITHE et TEMSOL) :

- 3 sondages carottés ϕ 110 mm (SC7B, SC7C et SC19B), de 15 m de profondeur, avec prélèvements d'échantillons intacts. Ces sondages ont été équipés de tubes inclinométriques
- 6 sondages destructifs ϕ 120 mm (SD7A, SD9A, SD9B, SD12, SD15B et SD19B), de 20 à 32 m de profondeur, avec enregistrement des paramètres de foration et diagraphie optique toute hauteur (avec analyse de la fracturation des flyschs). Ces sondages ont été équipés de tubes piézométriques.

Le rapport de GEOLITHE du 7 avril 2021, présentant les résultats de cette reconnaissance, a été reçu le 8 avril 2021 (mail de la DDTM 64).

Les plans d'implantation et coupes de sondages des campagnes de GEOTEC en 2019 et GEOLITHE en 2021 (y compris diagraphies optiques) sont joints en annexe 1.



Figure 12: Remblais récents au profil 9A



Figure 13 : Remblais anciens (fossé béton) au profil 7C

4 - NATURE ET CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DES SOLS

A partir de la synthèse des données existantes (bibliographie, reconnaissances 2021), nous distinguons les couches géotechniques suivantes :

- Les formations superficielles qui sont constituées d'altérites limoneuses, blocailleuses et des remblais divers (dont les anciens remblais du tramway touristique)
- Le substratum marno-calcaire appelé Flysch. Ces flyschs sont plus ou moins préfragmentés et bréchiques, voire entièrement fracturés en blocs épars (éboulis).



Figure 14 : Affleurement montrant les formations sur site (profil 19A)

4.1 - LES FORMATIONS SUPERFICIELLES (REMBLAIS ET ALTERITES)

→ Les remblais

On distingue les remblais récents, composés de débris et déchets inertes (verres, plastiques, etc.) et les remblais anciens qui constituent les sols supports de l'ancienne voie ferrée (tramway touristique) :

- Les remblais récents (épaisseurs visibles sur site de l'ordre de 50 cm), rencontrés sur la quasi-totalité du secteur d'étude, sont peu épais et plus ou moins remaniés avec les altérites sous-jacentes. Il s'agit de matériaux fins à granulaires, de couleur dominante marron et très riches en déchets divers (époque moderne) (Cf. photo ci-contre)
- Les remblais anciens, observés en couches supports de l'ancienne ligne ferroviaire du tramway touristique, sont principalement rencontrés sur les tronçons 7 et 9. Il s'agit de matériaux plutôt granulaires, d'épaisseur métrique et dont les talus sont stabilisés par un voile en béton (Cf. photo ci-contre).

Aucun essai de laboratoire et aucune caractérisation pressiométrique n'ont été réalisés sur ces remblais (formation de nature très hétérogène et de grande variabilité spatiale).

→ Les altérites

On rencontre ces altérites sur la quasi-totalité des secteurs avec des épaisseurs variant de quelques décimètres (exemple des tronçons 9 et 15), à plusieurs mètres (exemple du tronçon

19 avec plus de 5 m d'épaisseur). Il s'agit d'argiles limoneuses marrons, brunes à grises, plus ou moins riches en blocs / fragments de flyschs. Ces altérites sont issues de l'érosion et du démantèlement du substratum marno-calcaire (flysch) et plus ou moins remaniés, soit en tant que dépôts de pente (colluvions / éboulis), soit par érosion et ruissellement avec les remblais, induisant une grande variabilité des dépôts.

Comme observé au droit du profil 19A, ces altérites montrent à l'affleurement un litage et une alternance de couches de granulométries très différentes des éléments rocheux (débris de flyschs), avec un pendage des horizons lités parallèle à la pente du substratum sous-jacent.

Du point de vue hydrogéologique, les formations plus épaisses peuvent montrer la présence de nappes perchées temporaires et très localisées, formées à la faveur des alternances de granulométrie. La stabilité de ces formations superficielles est fortement dépendant de leurs épaisseurs.



Figure 15 : Détails d'une couche d'altérites litées (profil 19A)

Aucun essai de laboratoire n'a été effectué sur ces altérites très hétérogènes. Concernant leurs caractéristiques mécaniques, l'entreprise GEOTEC a réalisé en 2019 des essais in-situ :

- Caractéristiques pressiométriques

- | | |
|--------------------------|--|
| - pression limite nette | PI* = 0,1 à 4,4 MPa
PI* moyen = 0,6 MPa (15 valeurs) |
| - module pressiométrique | E _M = 0,7 à 25,8 MPa
E _M moyen = 3,5 MPa (15 valeurs) |

Les valeurs des essais pressiométriques sont assez faibles. Les valeurs des horizons les plus blocailleux ont été écartés (non représentatives du faciès).

- Caractéristiques mécaniques au cisaillement

Aucun essai triaxial sur la partie fine n'a été réalisé dans ces altérites. De même, aucun essai phicométrique in-situ n'est disponible dans les archives.

Les valeurs présentées ci-après sont celles retenues dans l'étude de GEOTEC – dossier n° 18/07916/BORDX-indice B du 7 octobre 2019 (issues d'essais de laboratoire de Geotec sur des faciès similaires de la Pointe de Ste Barbe ; non communiqués) :

- altérites argileuses poids volumique humide = 17 kN/m³
 cohésion $c' = 10$ kPa (0 kPa si graveleux)
 angle de frottement φ (interne) = 27° (30° si graveleux)

Nota : Le choix des caractéristiques mécaniques intrinsèques des altérites fait dans l'étude du Cerema et présenté au chapitre 5 est issu de l'expérience des mécaniciens des sols chargés de la compréhension des mécanismes en jeu.

4.2 - LES FLYSCHS (SUBSTRATUM)

On rencontre le substratum rocheux sur tous les tronçons étudiés, à l'affleurement sur les falaises du littoral basque à URRUGNE. Le substratum, daté du Crétacé Supérieur (Sénonien), montre des alternances rapides de bancs calcaires et marneux, généralement pluridécimétriques (typique des flyschs). Celui-ci est fracturé et affecté par des plis métriques (tectonique régionale, orogénèse pyrénéenne principalement). Le taux de fracturation (RQD) est très variable selon les discontinuités, mais une pré-fragmentation du rocher, d'origine géologique probablement, semble affecter l'ensemble du substratum. Selon les configurations, cette pré-fragmentation conduit à la formation de fissures mécaniques et à la formation de brèches blocailleuses visibles en surface des flyschs.

Le toit du substratum et certaines dalles rocheuses en falaises sont fortement altérés avec démantèlement de fragments rocheux (visibles à l'affleurement) sur plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseur, voire métrique sur certains secteurs. Ce démantèlement des flyschs est peut-être présent sur toute la série sédimentaire (cf paragraphe suivant).



Figure 16 : Rocher bréchié, écaillage superficiel (profil 15B)



Figure 17 : Flyschs en falaise montrant des faciès calcaires et marneux fracturés (profil 12)

Comme le montre la coupe géologique du profil 19B, joint en annexe 2, le toit du substratum peut être localement très irrégulier, avec des surcreusements et des ressauts importants (crypto-reliefs fonction des discontinuités structurales du massif) ou d'ablation partielle de dalles instables.

Du point de vue hydrogéologique, des circulations d'eaux sont possibles en interbanco et dans les zones fracturées / altérées (porosité interne ou héritée).

A ce stade d'avancement, aucun essai de laboratoire n'a été effectué sur les flyschs. Concernant leurs caractéristiques mécaniques, l'entreprise GEOTEC a réalisé en 2019 des essais in-situ :

- Caractéristiques pressiométriques

- | | |
|--------------------------|---|
| - Pression limite nette | $PI^* = 1,1 \text{ à } > 5 \text{ MPa}$ |
| | $PI^* \text{ moyen} = 4,5 \text{ MPa (42 valeurs)}$ |
| - Module pressiométrique | $E_M = 48,7 \text{ à } > 250 \text{ MPa}$ |
| | $E_M \text{ moyen} = 196 \text{ MPa (42 valeurs)}$ |

Les valeurs des essais pressiométriques dans le substratum sont bonnes (sans dissociation entre les faciès calcaires et marneux).

- Caractéristiques mécaniques au cisaillement

Aucun essai de cisaillement n'a été effectué sur les flyschs.

Les valeurs présentées ci-après sont celles retenues dans l'étude de GEOTEC – dossier n° 18/07916/BORDX-indice B du 7 octobre 2019 (issues d'essais de laboratoire de Geotec sur des faciès similaires de la Pointe de Ste Barbe ; non communiqués) :

- | | |
|-----------|--|
| - flyschs | pois volumique humide = 25 kN/m^3 |
| | cohésion $c' = 0 \text{ kPa}$ ($c' > 30 \text{ kPa}$ si sain) |
| | angle de frottement φ (interne) = 40° |

Nota : Comme pour les altérites, les caractéristiques mécaniques des flyschs choisies dans la présente étude du Cerema et présentées au chapitre 5, sont issues de l'expérience des mécaniciens des sols et des levés de terrain des géologues sur les profils étudiés, y compris l'analyse de l'évènement d'octobre 2020

5 - ANALYSE DES MOUVEMENTS DE TERRAINS

5.1 - LE SITE ET LA PRESENCE D'EAU

Le secteur d'étude, situé entre le tronçon 7 et le tronçon 19 de la route de La Corniche (RD912) à URRUGNE, montre des falaises côtières de pente comprise en 20° au Sud-Ouest (côté Espagne) et 50° au Nord-Est (côté France).

Ces pentes sont très proches des pendages des bancs de flyschs (stratification, alternance de faciès calcaires et marneux), avec localement des ruptures brutales de pente au droit des zones de sous-cavages, de fracturation, de plissements tectoniques et d'effondrements (rocheux et altérites superficielles).

Quelques arrivées d'eau semblent correspondre à des circulations d'eaux météoriques d'infiltration sur le bassin versant amont, notamment dans les formations superficielles les plus épaisses et perméables (exemple du profil 19A).

Localement, on observe des résurgences temporaires à la base de formations superficielles, au contact des flyschs sous-jacents.



Figure 18 : Résurgence sous les formations superficielles (profil 15)

La plus grande partie des circulations d'eaux visibles, lors de nos visites en falaises étudiées se concentre en pied des parois rocheuses, probablement en partie par recharge successive des discontinuités du massif en eau de mer (porosité de fracture).



Figure 19 : Exemple de suintements d'eau en pied de falaise (profil 9A)

La recharge de ces "pseudo-aquifères" complexes se fait irrégulièrement en cours d'année, avec des moments hydrogéologiques et marins plus importants lors des précipitations intenses et des plus fortes marées et tempêtes. Conjuguées à la fatigue mécanique des pieds de falaise (impact de l'altération marine), ces variations hydriques plus ou moins brutales et intenses, conduisent à une remontée des niveaux d'eaux dans les terrains (et aux déjaugages associés) et peuvent approcher un seuil critique conduisant à l'activation et à l'évolution des instabilités. Ce seuil critique peut également être atteint auprès des saturations successives (phénomène échelonné) et créer des couches "savon" en interbanco.

Une partie de l'alimentation en pied de falaises peut également provenir d'infiltrations d'eaux douces (origine continentale), circulant dans le massif à la faveur des interbanco rocheux et de fractures (écoulements gravitaires, apports pluviométriques le long des discontinuités et des interfaces).

Les niveaux d'eaux observés sur les falaises et dans les forages sont indiqués sur les profils en travers géologiques joints en annexe 3. Un suivi piézométrique des sondages implantés dans la zone d'étude a été réalisé par le Cerema (levés piézométriques du 31 mars 2021 au 09 septembre 2021 joints dans le tableau ci-dessous) et permet de préciser l'évolution sur 6 mois des niveaux d'eaux.

N° DE SONDAGE (GEOLITHE : TEMSOL)	NIVEAU D'EAU – PROFONDEUR LE 31 MARS 2021 (m/TN)	NIVEAU D'EAU – PROFONDEUR LE 27 AVRIL 2021 (m/TN)	NIVEAU D'EAU – PROFONDEUR LE 09 SEPTEMBRE 2021 (m/TN)	NIVEAU D'EAU – PROFONDEUR LE 09 SEPT 2021 (m/TN)
SD7A-Pz	- 9,57	-9,76	-5,80	-10,73
SD9A-Pz	- 16,22	-17,61	-18,03	-18,05
SD9B-Pz	- 6,31	-8,36	-4,81	-8,82
SD12-Pz	- 13,19	-13,53	-9,93	-12,85
SD15B-Pz	- 10,28	-10,94	-11,30	-11,92
SD19B-Pz	- 15,13	-15,12	-15,11	-15,12

Ces niveaux piézométriques, dans les sondages de reconnaissance de la campagne 2021, montrent des circulations d'eaux possibles dans les altérites et dans les bancs de flyschs, au sein du massif, avec des fonctionnements hydrogéologiques très hétérogènes selon la configuration du profil.

Ces circulations d'eaux dans les flyschs semblent globalement s'écouler en souterrain gravitairement vers le pied des falaises (connexion probable avec les eaux marines), à la faveur des joints stratigraphiques et fractures du massif. Du fait du pendage les circulations

d'eau n'atteignent que rarement le front de la falaise (sauf cas de fracturation inter-bancs). Il n'y a donc pas de nappe subhorizontale (à confirmer par la poursuite du suivi piézométrique sur un cycle annuel complet).

Nota : A ce stade de l'étude, aucune corrélation n'a été réalisée entre les données piézométriques et les conditions météorologiques (données pluviométriques non consultées).



Figure 20 : Ecaillage superficiel (tronçon 15)



Figure 21 : Ecaillage massif (plurimétrique) au tronçon 9



Figure 22 : Glissement de dalle (local) tronçon 9



Figure 23 : Glissement de dalles massive, tronçon 15



Figure 24 : (à gauche) Glissement et écroulement généralisé de la falaise, proche tronçon 12



Figure 25 : (à droite) Glissement dans les formations superficielles au tronçon 19

5.2 - LES INDICES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN ET FACTEURS DECLENCHANTS

Le secteur d'étude montre des problèmes de stabilité des falaises côtières depuis toujours (à l'échelle historique), aujourd'hui dommageables pour le maintien de la circulation sur la RD912 et l'accès libre sur le sentier du littoral (forte probabilité du recul du trait de côte vers l'infrastructure routière toute proche – exemple de l'effondrement de fin octobre 2020).

Concernant les suivis des déplacements et les instrumentations, l'Observatoire de la Côte Aquitaine a recensé et mesuré, au cours des dernières années (notamment depuis 2012), l'évolution des différents types de mouvements de terrain visibles sur le secteur d'étude.

Les résultats de ces suivis de l'exposition aux mouvements de terrain de la route de la Corniche à URRUGNE, sont présentés dans les rapports BRGM-OCA (notamment BRGM/RP-61119-FR de mai 2012 et suivants).

Afin de compléter l'analyse des mouvements de terrain historiques réalisée par l'O.C.A. sur le secteur d'étude, le Cerema propose une analyse spécifique des événements passés (voir chapitre suivant).

Concernant la **surveillance inclinométrique et piézométrique**, l'exploitation des données de GEOTEC (mise en place en 2019) et du Cerema (pose en février 2021 par GEOLITHE-TEMSOL) et les mesures entre mars et septembre 2021 (voir annexe 7), indiquent :

- L'absence de déformation marquante de type glissement de terrain profond dans les tubes inclinométriques ;
- Des profondeurs et évolutions très hétérogènes des niveaux piézométriques (fonction de la configuration des terrains très hétérogènes selon les profils étudiés).

NOTA : une analyse de ces données par profil dimensionnant a été réalisée dans le cadre de nos modélisations (voir chapitre suivant).

Afin de compléter la connaissance actuelle du site et d'améliorer la compréhension des mécanismes d'instabilités en cours sur chacun des profils en travers dimensionnant à étudier, le Cerema a effectué plusieurs visites sur site entre juillet 2020 et mars 2021 (y compris par accès sur corde pour levés en falaises).

Les résultats de ces visites sur site sont synthétisés sur les profils en travers géologiques joints en annexe 3 et sur les vues des falaises jointes en annexe 2.

On y retrouve les différentes configurations topographiques et géologiques responsables des différents types de mouvements de terrain pouvant affecter les falaises et les zones d'enjeux.

Les photographies présentées ci-avant montrent ces mouvements de terrain observés dans la zone d'étude (par ampleur croissante), principalement en falaises rocheuses mais également au droit des altérites (formations superficielles).

Concernant l'état du massif, la présence d'une pré-fragmentation d'origine tectonique semblant affecter l'ensemble du substratum, peut être un facteur interne dimensionnant le niveau de stabilité des falaises.

Afin d'étudier l'état de fracturation du substratum en profondeur, nous avons réalisé les analyses spécifiques suivantes :

- Une campagne d'auscultations au radar géologique "test" in-situ le 9 mars 2021, afin d'évaluer l'efficacité de cette méthode géophysique dans la recherche de discontinuités structurales dans le massif
- Une étude structurale (analyse des fractures) à partir des diagraphies optiques de GEOLITHE (rapport de reconnaissance du 7 avril 2021).

Les résultats de l'opération « test » au radar sur la zone d'étude sont joints en annexe 4 et l'analyse des fractures du massif est jointe en annexe 1 (extraits de l'étude GEOLITHE / TEMSOL).

La mise en œuvre du radar géologique et l'acquisition des données radar, le long d'une paroi inclinée entre 20 et 25°, a nécessité la présence d'un opérateur cordiste et d'un géophysicien (Cf. photos ci-dessous).



Figure 26 : Mise en œuvre du radar géologique

Les premiers résultats géophysiques, réalisés sur la paroi du secteur 15B, permettent d'identifier, sur des profondeurs d'investigation comprises entre 1 m et 1,5 m :

- Les empilements de bancs de nature calcaire ou marneuse (la nature et l'épaisseur par banc sont homogènes au droit d'une ligne radar) ;
- Des cassures transversales à la ligne de plus grande pente, traversant les bancs calcaires sur au moins 80 cm d'épaisseur. Ces cassures non visibles en surface confirment le découpage des grandes dalles en plusieurs morceaux de 4 à 5 m de linéaire ;
- Des anomalies géophysiques ponctuelles indiquant des indices d'érosion au sein d'un banc.

Un banc marneux, épais de plus de 40 cm, amorti totalement les ondes électromagnétiques émises par le radar, ce qui a pour conséquence de limiter la profondeur d'investigation et de ce fait, de ne pas pouvoir identifier les présences de brèches ou de couches savon au sein du substratum.

Alors que les auscultations au radar géologique ne permettent pas de conclure sur l'état du massif en profondeur (la profondeur d'investigation est inférieure à 1.5 m en raison de la nature marneuse du flysch), les diagraphies optiques permettent l'observation de l'état du

substratum. Elles confirment la présence d'une pré-fragmentation interne du substratum en profondeur, mais également des zones de fracturation marquante (brèches plus ou moins profondes et assez localisées) :

- Le forage SD7A montre une zone décomprimée vers 6 m de profondeur (cavité observée à la caméra)
- Le forage SD12 est bréchique vers 3,5 m de profondeur
- Le forage SD15B montre une zone de broyage des flyschs vers 5,8 m de profondeur
- Le forage SD19B montre des fractures marquantes dans le substratum, vers 6 m de profondeur (zone bréchique interne). Celle-ci semble correspondre à la zone de pli-fracture observé à l'affleurement, entre les profils PT19A et PT19B (avec changement de direction et de pendage de la stratification).

A ce stade des connaissances, les facteurs aggravants responsables d'une évolution brutale (ou marquante) des instabilités en falaises, semblent être les variations des conditions hydromécaniques et des pressions interstitielles en pied de falaises (effets permanents et accidentels de l'ablation marine et des circulations d'eaux en pied de massif, y compris d'origine continentale par circulation interne le long des discontinuités et interfaces) (Cf. photos ci-après).

Les variations des précipitations et des niveaux piézométriques en crête de falaises peuvent correspondre à un facteur déclenchant accidentel à prendre en compte dans la définition des niveaux de vigilance et d'alerte (effets aggravants par surpressions internes).

Les effets de ces variations hydrodynamiques sur la qualité du massif et sa résistance en pied de falaise, sont visibles sur la quasi-totalité des profils étudiés (déstructuration / fragmentation de la roche) d'où la nécessité de disposer d'un suivi adapté dans la durée.

On constate de façon générale un rôle prépondérant de la fracturation du massif (et des plis) dans l'altération et la déstructuration des flyschs. Comme présenté sur nos documents "levés de terrains" et "diagnostics géotechniques" joints en annexe 2, la présence de ces discontinuités structurales dans le massif favorise le sous-cavage des pieds de falaise exposés à l'ablation marine.



Figure 27 (à gauche) : Exemple d'arrivée d'eau sur fracture en pied de falaise sur tronçon 9
 Figure 28 (à droite) : Exemple de pied de falaise bréchique au tronçon 15 (ablation marine)



Figure 29 (à gauche) : Exemple de sous cavage développé à la faveur d'un pli tectonique au tronçon 15
 Figure 30 (à droite) : Exemple de sous cavage développé à la faveur de fractures au tronçon 9

Nota : Comme l'illustrent les photographies ci-dessus et les données existantes du BRGM et du projet Ezponda, la forme / géométrie des sous-cavages en pieds de falaises semble en lien direct avec la présence des discontinuités structurales (fractures et plis).

La modélisation et les calculs de stabilité présentés dans le présent rapport tiennent compte de notre analyse ci-dessus des mouvements de terrain constatés sur la zone d'étude.

5.3 – ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES MAJEURS

Sur la période analysée (1969 à 2020), après examen de la bibliographie disponible (rapports BRGM RP-57301 et suivant ainsi que les fiches OCA), et compte-tenu des outils à disposition, nous avons observé que le secteur d'étude comportait peu d'évènements significatifs conduisant à des reculs instantanés importants de la falaise (métrique ou plus). Néanmoins deux évènements significatifs sur les tronçons 6 (non documenté entre 2010 et 2019) et 14 (octobre 2020), qui ont conduit à des reculs instantanés de 4 à 5 m, ont notamment retenu notre attention, ils sont détaillés ci-dessous.

L'estimation des mouvements anciens a nécessité l'examen des photos anciennes issues du site géoportail (de 1969 à 2015) et de Google Earth (jusqu'en 2018).

Les campagnes de photographies aériennes entre 1969 et 2015 ont été privilégiées pour leur qualité (résolution/netteté) et par leur facilité à être georéférencées (sous G-gis). A ce titre les campagnes antérieures (BRGM RP-570301 de 2009) n'ont pas été retenues.

Les photos anciennes ont été géoréférencées afin de pouvoir être mises à la même échelle et ainsi estimer les évolutions dans le temps (méthode comparative nécessitant le recalage des clichés).

Concernant les difficultés de cette approche, la fréquence des photos en libre accès (géoportail et Google Earth) ainsi que leur qualité ne permettent pas d'avoir une photo exploitable par an. Autre frein, l'angle de prise de vue des photos n'étant pas le même, les mesures prises doivent être considérées comme des ordres de grandeur.

→ Tronçon 6 – effondrement de 2010

Les photos (géoportail) entre 1969 et 2009 permettent de suivre l'évolution de la largeur du pied de la falaise (voir figure ci-dessous).

Malgré les limites de cette méthode, la qualité des photos sélectionnées permet de réaliser des estimations fiables que l'on peut comparer sur différentes années.



Figure 31 : Evolution du pied de la falaise entre 1969 et 2009 (source géoportail)

On observe, sur ces quatre clichés, qu'entre 1969 et 2009, le pied de la falaise s'est aminci d'environ 10 m en 40 ans, soit 0,25 m/an en moyenne. Il apparaît toutefois que cette progression n'est pas continue : des phases de stabilité (relative), sans évolution, alternent avec des périodes plus actives où la vitesse d'érosion du pied peut atteindre environ 2 m/an, par exemple, entre 2008 et 2009.

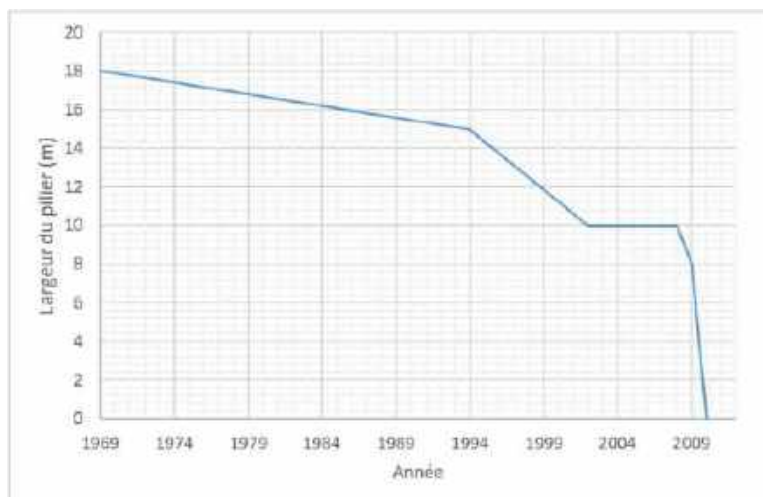


Figure 32 : Evolution du pied de la falaise - Secteur 6

Les photographies obliques de l'OCA permettent de dater l'effondrement entre le 17 octobre 2009 et le 18 avril 2010 (voir figures ci-dessous). Il s'agit, probablement, d'un glissement banc sur banc des flyschs suite à la rupture du pied rocheux.



Figure 33 : Photo avant effondrement - 17 octobre 2009 - Secteur 6



Figure 34 : Photo après effondrement - 18 avril 2010 - Secteur 6

L'examen des différentes sources de photographies permet d'estimer les dimensions de cet effondrement (voir ci-dessous) et d'en déduire un volume effondré² d'environ 3000 à 5000 m³.

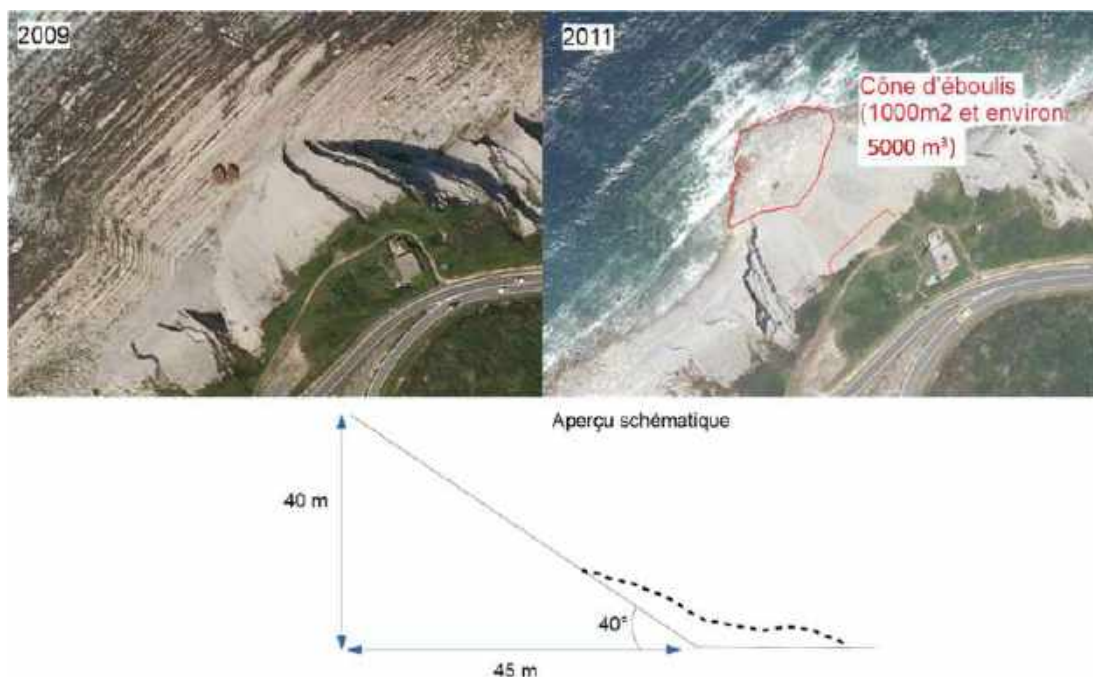


Figure 35 : Estimation de la géométrie du cône d'éboulis

Le cône d'éboulis, en 2010, s'étend sur environ 1000 m² sur une épaisseur maximale estimée à environ 5 m. Son évolution est visible sur les photographies obliques de l'OCA. Il est visible jusqu'en 2013 pour être totalement évacué en 2014 (soit environ 3000 à 5000 m³ en 4 ans). Le recul instantané, visible sur les photographies ci-dessous, est estimé entre 4 et 5 m. La blocométrie est estimée, très grossièrement, à environ 1 m³.

² Cette valeur a été estimée en supposant que le recul mesuré sur les photographies correspondait à un glissement inter-bancs de même épaisseur biaise. Il s'agit donc d'une borne supérieure du volume d'effondrement rocheux.



Figure 36 : Erosion par mer du cône d'éboulis entre 2010 et 2014 – secteur 6

→ Tronçon 14 – effondrement de 2020

Notre analyse comparative des photos permet de suivre l'évolution du pied rocheux depuis 1977, cette évolution se caractérise par des périodes montrant peu ou pas d'évolution marquante et des périodes de nette accélération et notamment la rupture survenue le 29 octobre 2020 (voir analyse ci-dessous).

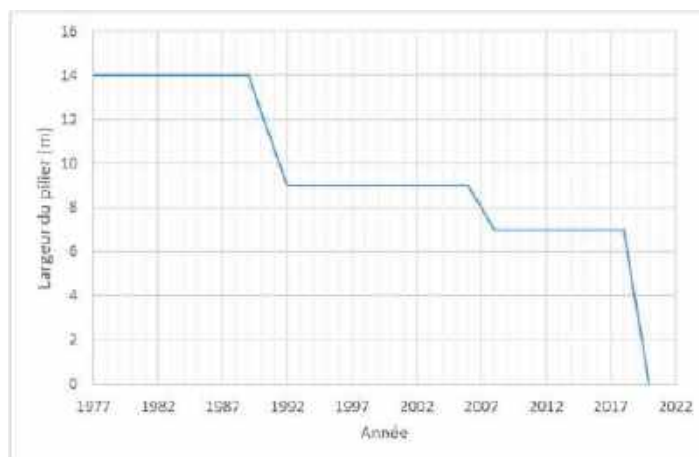


Figure 37 : Evolution du pilier du sous-cavage - Secteur 14

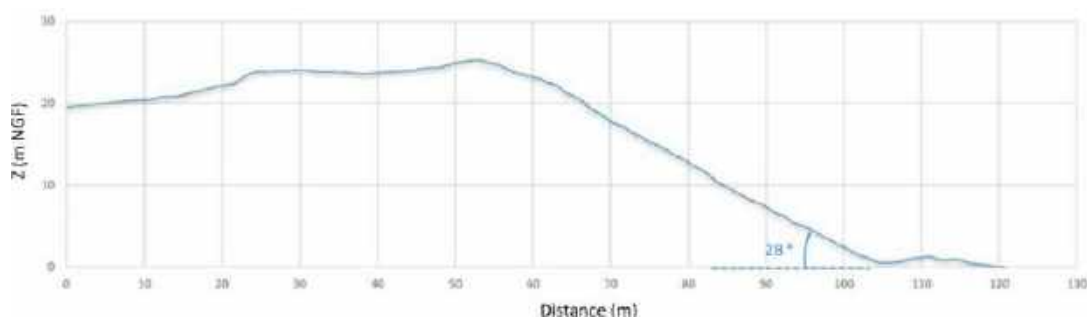


Figure 38 : Profil en travers (source LIDAR MNT)

Le glissement s'est opéré sur un inter-banc marneux (levés de terrain du Cerema). Le caractère bréchiq ue de la falaise avant écroulement est confirmé par la fragmentation visible sur les photos (voir illustration ci-dessous).

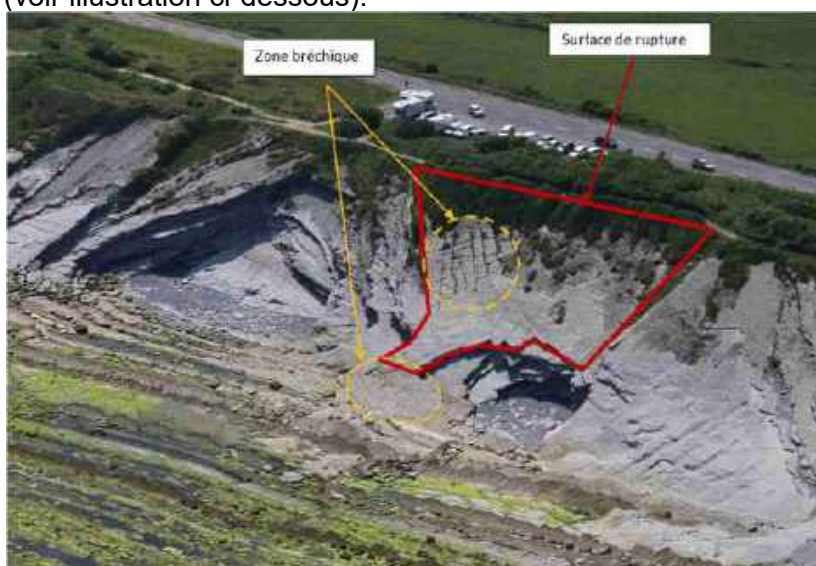


Figure 39 : Surface de glissement et caractère bréchiq ue de la falaise et du pied avant écroulement (date à préciser)

Le mécanisme de ruine est supposé être une rupture de la voûte mince (c'est-à-dire sur un/deux bancs) du sous-cavage due à :

- Une rupture du pilier de la voûte (rein), déjà historiquement affaibli (bréchification et amincissement du pilier au cours du temps) sous l'action marine (élément déclencheur) ;
- Associé à une dégradation des caractéristiques mécaniques des matériaux de la falaise (présence de dalles bréchiques témoignant de contraintes mécaniques par mouvements des bancs rocheux).

L'action marine a vraisemblablement conduit à une rupture du pied (rein) de la voûte, par suite, dans un mouvement banc sur banc, l'ensemble de falaise a glissé, le frottement mobilisable à l'inter-banc n'est pas suffisant pour assurer la stabilité (voir figure ci-dessous).

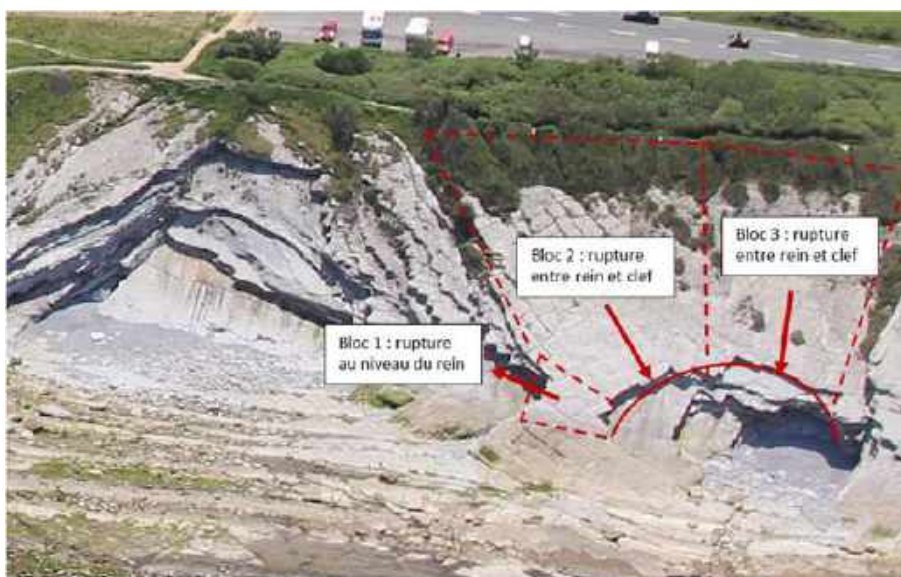


Figure 40 : Cinématique de rupture supposée - secteur 14

Une analyse détaillée du glissement a été réalisée par le Cerema et est jointe en annexe 6.

→ Tronçon 9

Sur ce tronçon, les évolutions marquantes concernent :

- Au profil A : un éboulement rocheux entre 2006 et 2009 attribué à l'augmentation de la portée du sous-cavage (18 m à 22 m d'ouverture entre 2006 et 2009), la cinématique en jeu est probablement proche de celle observée sur le tronçon 14, avec cependant des volumes effondrés moindres ;
- Au profil B : un amincissement notable du pied rocheux qui passe de 15 m à 3 m de 1969 à 2009, soit 0,3 m/an en moyenne. Cette évolution est similaire à celle observée sur le tronçon 14 (régression causée par l'action marine).

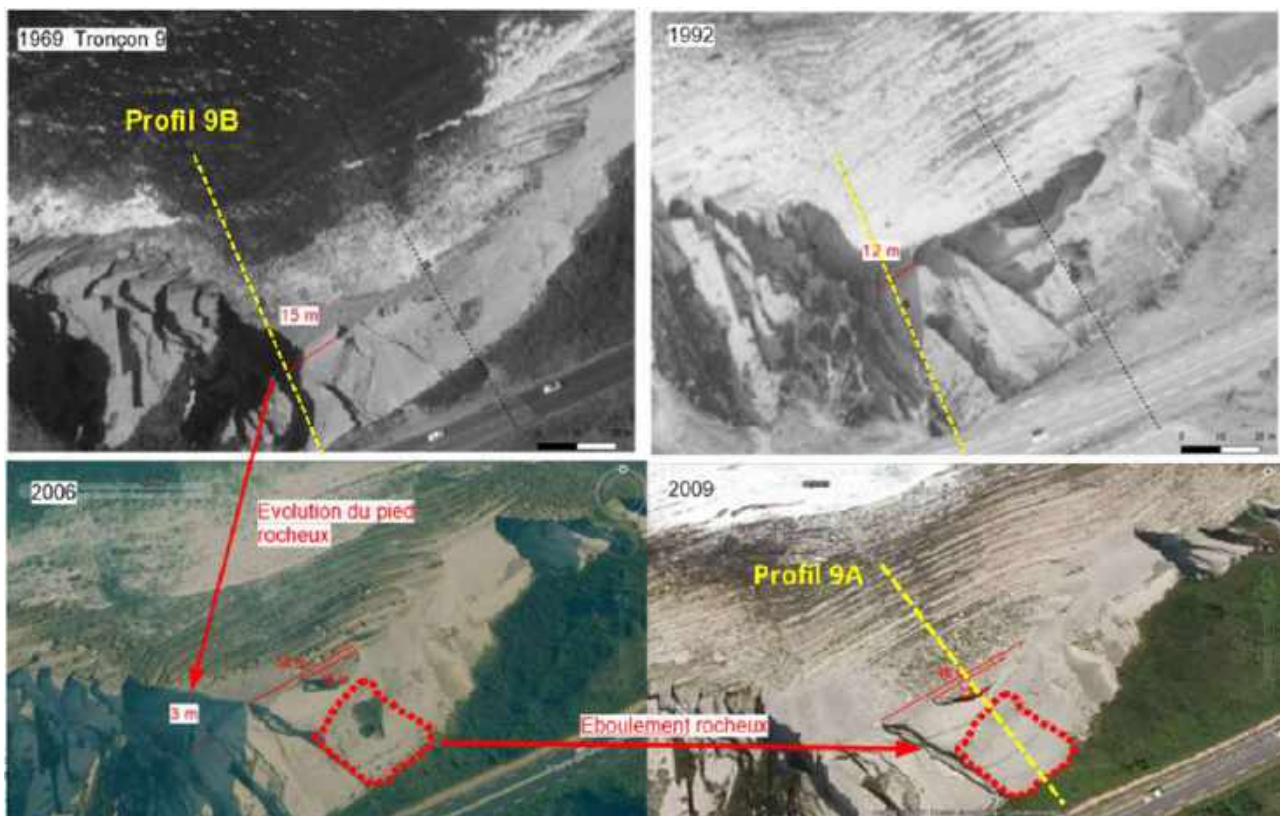


Figure 41 : Erosion marine et amincissement du pied de falaise au profil 9B et ouverture du sous-cavage et éboulement au profil 9A

En conclusion, l'analyse des écroulements historiques montre des évolutions marquantes de la falaise sur plusieurs secteurs. L'érosion en pied de falaise est associée à des événements historiques et quantifiée en terme de vitesses d'augmentation de portée des sous-cavages, de réduction de section des piliers (appuis de dalles) ou d'évacuation des éboulis assurant une protection relative du pied des falaises.

Le chapitre suivant (Mécanisme de rupture et modélisation) propose les éléments géomécaniques et les niveaux de stabilité de la falaise pour chacun des profils dimensionnants. Ils prennent en compte les résultats de la surveillance inclinométrique et piézométrique disponibles à la date de rédaction du rapport.

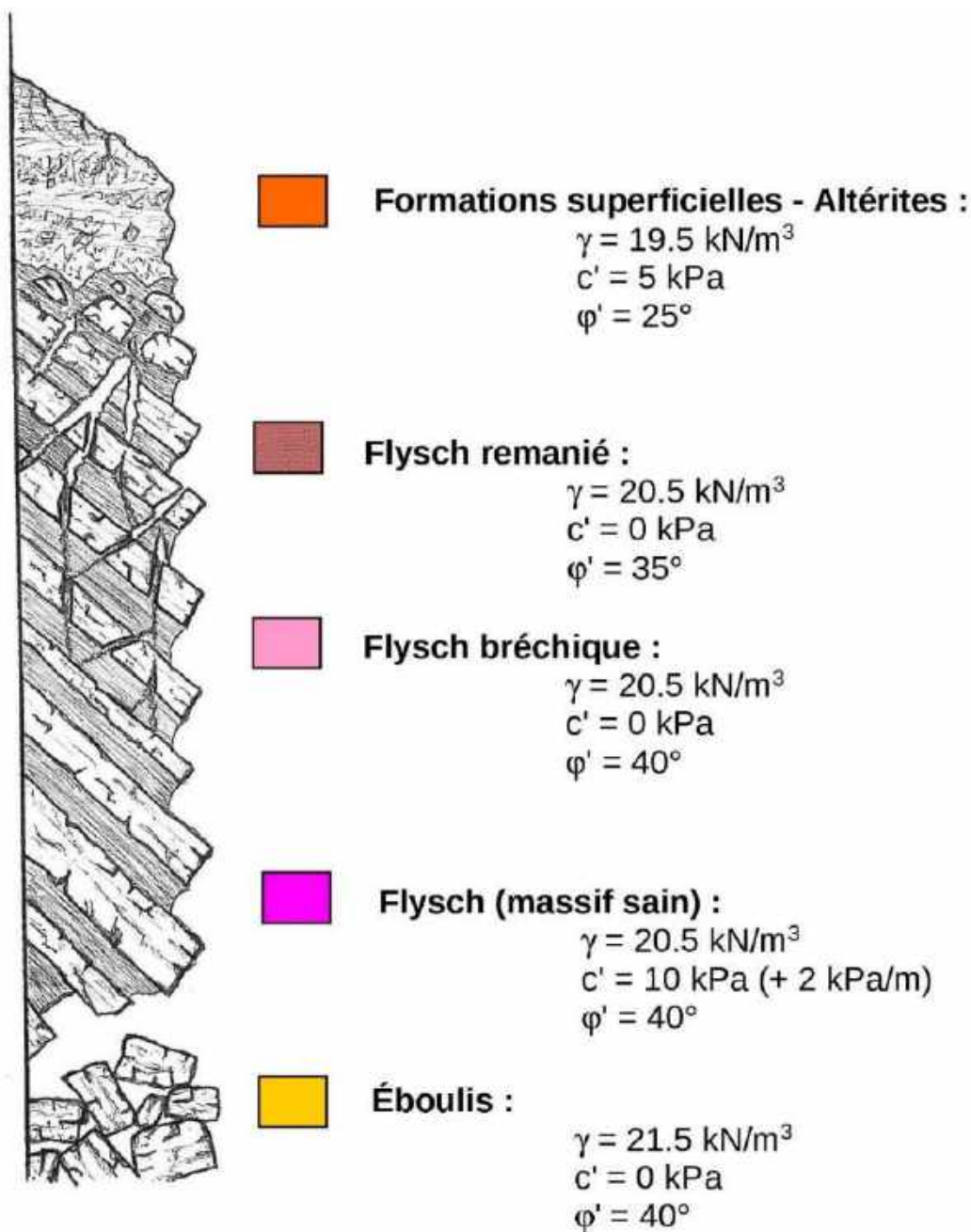


Figure 42 : Log stratigraphique

Les caractéristiques mécaniques proposées ci-dessus sont issues de valeurs d'archives et de l'expérience des mécaniciens des sols et des levés de terrain du Cerema. A titre d'exemple, les valeurs de poids volumiques et de cohésion des différents états de dégradation des flyschs tiennent compte (i) de la présence de faciès plus marneux dans le substratum (poids volumique de l'ordre de 18 à 19 kN/m³) et (ii) du niveau de fragmentation/fissuration des dalles rocheuses (perte de cohésion), tel qu'observé à l'affleurement. Des essais spécifiques de poids volumiques sur le substratum, tenant compte de la présence des alternances de faciès calcaires et marneux, permettraient d'affiner le choix de cette valeur.

NOTA : dans le cas d'un choix de poids volumique supérieur dans les flyschs (de l'ordre par exemple de 25 kN/m³ assimilable au seul faciès calcaire), le niveau de stabilité serait légèrement dégradé pour les configurations de falaise montrant l'absence de butées de pied, comme au droit des zones sous-cavées.

6 - MECANISMES DE RUPTURE ET MODELISATION

Les calculs de la stabilité des versants rocheux (falaises) au droit des profils dimensionnants (7A, 7B et 7C, 9A et 9B, 12, 15A et 15B, 19A et 19B), ont nécessité la construction du modèle géotechnique et géologique dont le choix des formations et leurs caractéristiques mécaniques est synthétisé sur le schéma ci-avant :

- Géométrie : propre à chacun des profils en travers (topographie et reconnaissance des sols) ;
- Géologie : 5 couches (altérites en couverture superficielle, éboulis en pied de falaise et 3 niveaux d'état du massif – flysch sain – flysch bréchiq ue c'est-à-dire en place mais fracturé et flysch remanié c'est-à-dire en cours d'écroulement) ;
- Géotechnique : caractéristiques mécaniques des sols (archive et calage numérique) ;
- Hydrogéologie : circulations d'eaux modélisées selon les niveaux d'eaux mesurés les plus hauts depuis le 31 mars 2021 dans les tubes piézométriques de la reconnaissance GEOLITHE / TEMSOL de 2021 ;
- Modélisation géomécanique et niveau de stabilité actuel ;
- Recherche des coefficients de sécurité par profil (s) dimensionnant (s) : calculs Talren V.5 sur 10 profils (état actuel) (Cf. annexe 5).

Nota 1 : Le calage des paramètres mécaniques des sols a été confirmé par rétro-calcul de l'évènement du 29 octobre 2020 (effondrement du secteur 14 emportant une partie du sentier du littoral) et par modélisation des instabilités actives observées sur les profils d'étude.

Nota 2 : Notre méthode vise à modéliser au mieux chacun des profils dimensionnants en appliquant aux différentes configurations topographiques chacun des états de dégradation du massif.

Ces calculs³ permettent de proposer un niveau de risque de mouvements de terrain en l'état actuel de chacun des profils dimensionnants (état des flyschs choisis en fonction des résultats de nos reconnaissances, notamment des diagraphies optiques). Ils permettent également si besoin d'étudier l'impact d'éventuelles évolutions de l'état du massif, en faisant varier l'état de dégradation pris en compte (vieillesse, fracturation, conduisant par exemple à des flyschs bréchiq ues en profondeur, variation des niveaux d'eau) et de la topographie de la falaise (chute de dalles et recul, érosion en pied, ...).

Les résultats de nos calculs de stabilité par profil dimensionnant (en coefficient global) impactant la rive de chaussée de la RD 912, présentés ci-dessous, sont ceux présentés lors du COPIL du 19 mai 2021 à Bayonne.

Pour chaque profil calculé, nous indiquons la valeur de la zone d'influence (longueur de chaussée) affectée par la même instabilité (configuration géotechnique spécifique à chaque profil).

Par ailleurs, nous différencions dans les tableaux ci-après (i) les mouvements actifs, plutôt localisés en cours sur la falaise (morceaux de dalles en cours d'écroulement, brèches rocheuses ponctuellement plus fragiles, zones de sous-cavage plus précaires, fractures ouvertes, ...), (ii) le mouvement de terrain de l'ensemble de la falaise (de type écroulement généralisé pouvant impacter la rive de chaussée en crête) et (iii) le niveau de stabilité générale de la falaise après évolution et érosion des zones actives (pouvant jouer un rôle de protection

³ La stabilité est évaluée par un coefficient de sécurité formé par le rapport de la somme des moments résistants rapportée à celle des moments moteurs. La valeur $F = 1$ correspond à une situation d'équilibre limite, sans marge de sécurité. Usuellement pour un ouvrage neuf on vise $F = 1,5$. Pour les projets de réparation/confortement, on vise généralement, suivant les techniques employées, $1,1 < F < 1,3$.

relative, comme par exemple les éboulis de pied limitant temporairement l'impact de l'ablation marine).

→ **Tronçon 7 (3 profils dimensionnants)**

N° DE PROFIL : 7A (20 ml)		NIVEAU DE STABILITE
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 1,00	Dalles rocheuses en cours d'effondrement à mi-hauteur de la falaise avec présence de flyschs bréchiques en pied de pente (butée de pied). Recul de 2 m imminent sans impact immédiat pour la RD912 et le sentier (enjeux)
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,24	Risque faible pour la RD 912 Cas de flyschs bréchiques en profondeur (cavité / broyage à 6 m de profondeur observé à la caméra) Recul de 6 m emportant le sentier et la rive de chaussée
F (global) Après évolution des zones actives	F = 1,05	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours (mouvements actifs), recul de 6 m emportant le sentier et la rive de chaussée
N° DE PROFIL : 7B (20 ml)		NIVEAU DE STABILITE
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 0,90	Dalles rocheuses en cours d'effondrement sur toute la falaise avec éboulement massif en pied de pentes (éboulis) et ruine de l'assainissement pluvial en bordure du remblai routier (protection par voile en béton du talus). Recul de 2 m imminent (dalles remaniées) sans impact immédiat pour la RD912 et le sentier (enjeux)
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,15	Risque moyen pour la RD 912 Cas de flyschs bréchiques en profondeur Recul de 5 m emportant le sentier et la rive de chaussée
F (global) Après évolution des zones actives	F = 1,00	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours (mouvements actifs), recul de 6 m emportant le sentier et la rive de chaussée
N° DE PROFIL : 7C (5 ml)		NIVEAU DE STABILITE
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 0,87	Dalles rocheuses en cours d'écroulement sur toute la falaise (décollements en partie supérieure) et éboulis en pied de pente (absence de butée de pied) Ruine du fossé en béton en bordure du remblai routier (sous-cavage). Recul métrique imminent sans impact immédiat pour la RD912 (problème de stabilité du sentier)
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,00	Risque fort pour la RD 912 Cas de flyschs bréchiques en profondeur (fracturation du massif visible en falaise) Recul de 4 m emportant la RD912 (en configuration actuelle)

F (global) Après évolution des zones actives	F = 0,95	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours (mouvements actifs), recul de 5 m emportant le sentier et la rive de chaussée
---	----------	---

Pour le tronçon 7, les calculs de stabilité soulignent l'importance de connaître l'état de fracturation interne du massif (en profondeur), dimensionnant le risque de mouvements de terrain de la falaise. Ils montrent également l'utilité d'un suivi de l'évolution des zones actives, jouant un rôle "tampon" par rapport à la sécurité des enjeux situés plus en amont et permettant la mise en place de points de vigilance.

Sur ce tronçon 7, le profil 7C apparaît comme le plus vulnérable sur une longueur de chaussée de 5 ml (F = 1,00) par rapport à la sécurité de la RD912 (F ≈ 1 en situation actuelle en considérant une fracturation du massif en profondeur visible sur la falaise).

→ **Tronçon 9 (2 profils dimensionnants)**

N° DE PROFIL : 9A (20 ml)		NIVEAU DE STABILITE
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 0,28	Sous-cavage en pied de falaise en cours d'écroulement (altération marine sur des fractures du massif – zone de plis) sans impact immédiat pour la RD912 et le sentier (enjeux)
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,14	Risque moyen pour la RD 912 d'un écroulement rocheux emportant le sentier du littoral avec un recul de 10 m (et suite à rupture du sous-cavage en pied de falaise)
F (global) Après évolution des zones actives	F = 1,12	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours, recul emportant le sentier et la rive de chaussée
N° DE PROFIL : 9B (5 ml)		NIVEAU DE STABILITE
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 0,55	Dalles bréchiqes en butée sur un pied de falaise fracturé (fragile) Ablation marine et déstructuration du pied de pente en cours (sous-cavage) sans impact immédiat pour les enjeux
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,00	Risque fort d'un écroulement des dalles bréchiqes emportant le bord de chaussée de la RD912 avec un recul de 2 m (et suite à une rupture de la butée de pied sous-cavée)
F (global) Après évolution des zones actives	F = 0,90	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours, recul emportant le sentier et la rive de chaussée

Pour le tronçon 9, les calculs de stabilités confirment l'importance de connaître le niveau de fracturation interne du massif. Les diagraphies optiques dans les sondages ne montrent pas de dégradation profonde des flyschs (roche non bréchiqes).

Dans tous les cas modélisés, le risque d'écroulement du sentier du littoral est assez probable (Profil 9A) à important (Profil 9B).

Sur ce tronçon, identifié comme particulièrement vulnérable à l'ablation marine en raison de pieds de falaises fragiles (sous-cavages fracturés), le profil 9B (qui concerne 5 ml de chaussée) semble le plus sensible (F = 1,00 pour la chaussée).

→ **Tronçon 12 (1 profil dimensionnant)**

N° DE PROFIL : 12 (20 ml)	NIVEAU DE STABILITE	
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 0,93	Ecrolement en cours de dalles (cicatrice d'arrachement visible en crête du versant) et éboulement en pied de falaise sous-cavée et fracturé. Sans impact immédiat pour la RD912 et le sentier du littoral (enjeux).
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,76	Risque très faible pour la RD 912. Cas d'une fracturation interne du massif (brèche visible à 3,5 m de profondeur en diagraphies optiques) avec un recul de 10 m (sentier emporté)
F (global) Après évolution des zones actives	F = 1,60	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours, recul emportant le sentier et la rive de chaussée

A ce stade avec modélisation de circulations d'eau / nappe perchée au sein du massif pour le tronçon 12, les calculs de stabilités montrent un risque très faible d'un écroulement de falaise emportant le sentier du littoral et de la rive de chaussée (recul de 10 m), malgré une forte probabilité d'éboulement en pied de falaise (sous-cavage fracturé) avec entraînement de la dalle remaniée sus-jacente.

Comme visible en bordure Sud-Ouest du profil 12, un écroulement massif reste néanmoins possible à l'échelle de temps probablement supérieure à 100 ans (événement historique de plus de 5 m d'épaisseur de dalles rocheuses visible sur le secteur des Viviers Basques).

→ **Tronçon 15 (2 profils dimensionnants)**

N° DE PROFIL : 15A (20 ml)	NIVEAU DE STABILITE	
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 0,76	Ecrolement en cours de dalles rocheuses et fragilité du pied de falaise sous-cavée (pli fracturé et décollements de dalles) Sans impact immédiat pour la RD912 et le sentier du littoral (enjeux)
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,79	Risque très faible pour la RD912. Cas d'une fracturation interne profonde du massif (flyschs bréchiques si vieillissement) avec un recul > 10 m emportant le sentier du littoral (avec un recul de 1 m en crête, F = 1,54)
F (global) Après évolution des zones actives	F = 1,70	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours, recul emportant le sentier et la rive de chaussée

N° DE PROFIL : 15B (20 ml)	NIVEAU DE STABILITE	
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 1,02	Écroulement en cours d'une dalle rocheuse de grande surface avec poinçonnement en base (bourellet d'éboulis évacué par ablation marine et réactivant les mouvements) Sans impact immédiat des enjeux Avec éboulis en place (situation actuelle), F = 1,52
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 2,00	Risque très faible pour la RD912. Cas d'une fracturation interne du massif (broyage à 5,8 m de profondeur visible en diagraphies optiques) Recul métrique en crête (en bord du sentier)
F (global) Après évolution des zones actives	F = 1,89	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours, recul emportant le sentier et la rive de chaussée

Pour le tronçon 15 et avec prise en compte d'éventuelles arrivées d'eaux continentales dans le massif (suivi piézométrique en cours), le risque de mouvements de terrain emportant les enjeux (RD912 et sentier du littoral), est très faible y compris en tenant compte de la fracturation interne profonde (flyschs bréchiques).

→ **Tronçon 19 (2 profils dimensionnants)**

N° DE PROFIL : 19A (20 ml)	NIVEAU DE STABILITE	
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 0,42	Rupture en cours du talus au droit des altérites et des flyschs fracturés (équilibre au vide) Sans impact pour la RD912 et le sentier du littoral
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,10	Risque moyen pour la RD 912 d'un glissement de terrain avec écroulement de falaise emportant le bord de la chaussée de la RD912 avec un recul de 15 m
F (global) Après évolution des zones actives	F = 1,05	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours, recul de 15 m emportant la rive de chaussée (glissement des altérites)

N° DE PROFIL : 19B (20 ml)	NIVEAU DE STABILITE	
F (global) mouvements de terrain actifs	F = 0,84	Glissement de terrain actif des altérites glissant sur les flyschs défavorablement pentés vers l'océan et sous-cavés Régression en cours avec fermeture du sentier historique et risque pour la bordure de chaussée de la RD912 (recul métrique)
F (global) mouvements de terrain d'ensemble de la falaise / enjeux	F = 1,05	Risque fort pour la RD 912 Cas d'une fracturation interne du massif (flyschs bréchiques à 6 m de profondeur) avec un recul de 2 m emportant la bordure de chaussée de la RD912
F (global) Après évolution des zones actives	F = 1,00	Après écroulement et évacuation des instabilités en cours, recul de 3 m emportant les enjeux

Pour le tronçon 19 montrant une configuration spécifique de glissements de terrain dans la couverture d'altérites épaisses (> 5 m de profondeur sous la RD912) et avec possible circulation d'eaux continentales / nappe perchée dans ces altérites (PT 19A), le risque de mouvement de terrain emportant le bord de la chaussée de la RD912 est probable, et augmente fortement en cas de fracturation du substratum (flyschs bréchiqes internes) tel qu'observé à 6 m de profondeur sur le profil 19B (diagraphies optiques).

Concernant le profil 19B dont un glissement des altérites en 2008 a nécessité la fermeture et le recul du sentier du littoral vers la RD912, ce mouvement de terrain est toujours actif (observation de la poursuite du glissement en février 2021). Un recul métrique du talus enherbé paraît imminent et nécessite une vigilance particulière du gestionnaire du site (suivi périodique avec patrouille régulière).

→ Synthèse des résultats

L'ensemble des résultats des calculs de la stabilité actuelle de la RD912 est reporté dans le tableau ci-dessous :

Tronçon 7	PT 7A (20 ml)	Risque faible (F = 1,24)
	PT 7B (20 ml)	Risque moyen (F = 1,15)
	PT 7C (5 ml)	Risque fort (F = 1,00)
Tronçon 9	PT 9A (20 ml)	Risque moyen (F = 1,15)
	PT 9B (5 ml)	Risque fort (F = 1,00)
Tronçon 12	PT 12 (20 ml)	Risque très faible (F = 1,76)
Tronçon 15	PT 15A (20 ml)	Risque très faible (F = 1,79)
	PT 15B (20 ml)	Risque très faible (F = 2,00)
Tronçon 19	PT 19A (20 ml)	Risque moyen (F = 1,10)
	PT 19B (20 ml)	Risque fort (F = 1,05)

Tableau 1 : Synthèse des calculs de stabilité par profils dimensionnants (extrait du COPIL du 19/05/21)

Pour conclure concernant les risques de mouvements de terrains de la falaise pouvant impacter (à plus ou moins long terme) la RD912, les calculs de stabilité montrent un risque plus fort au droit des profils 7C, 9B et 19B qui nécessite des mesures conservatoires localisées sur ces trois zones.

Globalement, comme indiqué dans le tableau ci-après présenté au COPIL de mai 2021, on observe une nette baisse du niveau de stabilité suite à l'évolution des zones de falaise actuellement actives (pieds de falaise en cours d'écroulement, dalles bréchiqes, écaillages et fracturation marquées).

Le suivi de ces zones actives, visibles sur les profils géotechniques joints en annexe 3, peut constituer sur certains profils dimensionnants un point de vigilance particulière permettant d'anticiper un recul de la falaise impactant la rive de la chaussée de la RD912 (évolutions localisées pouvant précéder l'écroulement généralisé selon certaines configurations spécifiques – voir tableau ci-après).

Résultats des niveaux de stabilité par profil Dim impactant la rive de chaussée



Caractéristiques du profil et incertitudes à lever	19B	19A	15B	15A	12	9B	9A	7C	7B	7A	
Stabilité globale actuelle (coeff F) par rapport aux enjeux (avec niveau d'eau mesuré)	1.05	1.10	2	1.79	1.76	1	1.14	1	1.15	1.24	
Stabilité globale après évolution des zones actives	1	1.05	1.89	1.7	1.6	0.9	< 1.14	0.95	1	1.05	
Détails des observations et actions recommandées	Glissement en cours des allées avec rupture du pied de falaise sous-cavée Recul métrique imminent sans impact pour les enjeux Massif fracturé et suivi en cours	Glissement en cours des allées avec rupture du pied de falaise rocheux Recul métrique imminent sans impact pour les enjeux Pied de falaise bréchique	Écroulement massif en cours avec poinçonnement en pied de falaise Pis de recul immédiat pour les enjeux Massif bréchique en profondeur et suivi en cours	Écroulements en cours de dalle superficielle et en pied de falaise sous-cavée Pis de recul immédiat pour les enjeux Massif bréchique en profondeur et suivi en cours	Écroulements en cours de dalle superficielle et en pied de falaise sous-cavée Pis de recul immédiat pour les enjeux Massif bréchique en profondeur et suivi en cours	Dalles bréchiques en dalle sur un pied de falaise fragile Recul métrique imminent impactant les enjeux Brisches superficielles et suivi en cours	Sous-cavage en cours de dalle en cours d'écroulement Recul oblique imminent sans impact pour les enjeux Substratum sain en profondeur et suivi en cours	Dalles en cours d'affaiblissement sur toute la largeur des fossés béton en tulle Recul métrique imminent impactant les enjeux Brisches en profondeur et suivi en cours	Dalles en cours d'affaiblissement sur toute la largeur Recul de 2 m imminent sans impact pour les enjeux Substratum bréchique en profondeur et suivi en cours	Dalles en cours d'affaiblissement sur toute la largeur Recul de 2 m imminent sans impact pour les enjeux Substratum bréchique en profondeur et suivi en cours	Dalles en cours d'affaiblissement sur toute la largeur Recul de 2 m imminent sans impact pour les enjeux Substratum bréchique en profondeur et suivi en cours

 **SEUIL DE VIGILANCE**
(suivi des zones actives)

Fréquence des coefficients de marée (2020)														
coeff	20 à 29	30 à 39	40 à 44	45 à 49	50 à 54	55 à 59	60 à 64	65 à 69	70 à 79	80 à 89	90 à 99	100 à 109	110 à 120	Total / mois
coeff moy	25	35	42	47	52	57	62	67	75	85	95	105	114	
janv.-20	0	5	3	2	6	7	4	5	10	13	7	0	0	62
févr.-20	0	6	4	5	3	3	2	4	8	13	3	7	0	58
mars-20	0	8	4	5	3	5	4	2	7	12	3	3	6	62
avr.-20	0	7	6	5	3	3	3	3	8	11	2	3	6	60
mai-20	0	5	5	3	9	3	5	4	11	6	4	7	0	62
juin-20	0	3	4	3	3	6	8	5	13	8	7	0	0	60
juil.-20	0	5	3	3	5	4	7	5	11	16	3	0	0	62
août-20	0	7	2	6	4	4	5	4	11	9	5	5	0	62
sept.-20	0	7	5	4	3	3	3	4	8	12	3	4	4	60
oct.-20	0	8	6	2	4	2	3	4	8	14	2	4	5	62
nov.-20	0	2	9	5	4	2	5	3	12	8	2	8	0	60
déc.-20	0	0	7	4	8	4	5	5	15	6	8	0	0	62
Fréq. Totale	0	63	58	47	55	46	54	48	122	128	49	41	21	732

Figure 43 : Fréquence des marées sur l'année 2020

Fréquence des coefficients et principaux marnages (année 2020)						
coeff	40	60	90	110	114	Total /mois
PM (CM)	3,45	3,84	4,47	4,80	4,90	
Moyen (CM)	2,52	2,51	2,56	2,59	2,49	
BM (CM)	1,60	1,17	0,66	0,38	0,08	
a (m)	1,85	2,67	3,81	4,82	4,82	
janv.-20	8	24	30	0	0	62
févr.-20	10	17	24	7	0	58
mars-20	12	19	22	3	6	62
avr.-20	13	17	21	3	6	60
mai-20	10	24	21	7	0	62
juin-20	7	25	28	0	0	60
juil.-20	8	24	30	0	0	62
août-20	9	23	25	5	0	62
sept.-20	12	17	23	4	4	60
oct.-20	14	15	24	4	5	62
nov.-20	11	19	22	8	0	60
déc.-20	7	26	29	0	0	62
Fréq. Totale	121	250	299	41	21	732
% occurrence	16,5	34,2	40,8	5,6	2,9	

Tableau 2: Synthèse des niveaux de marées sur 2020

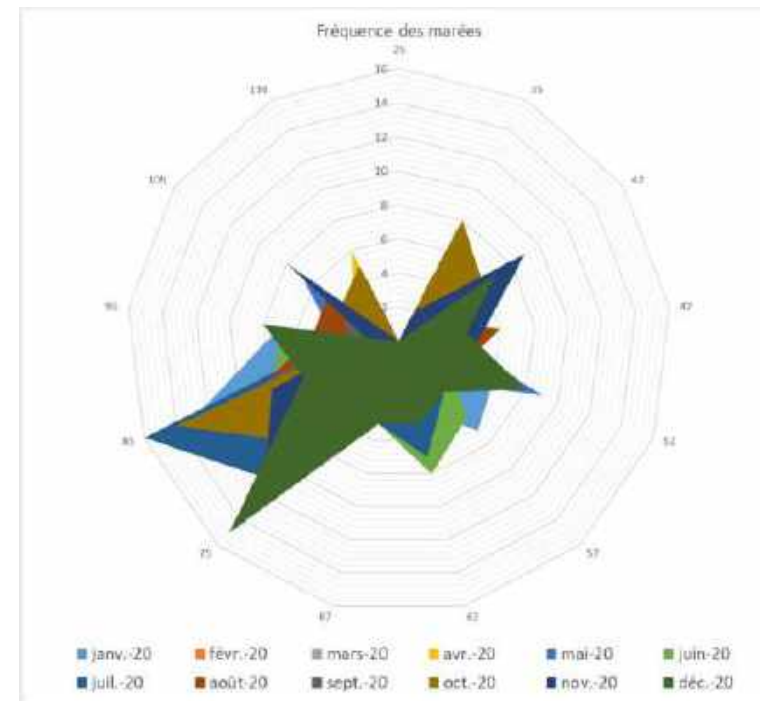


Figure 44 : Rose des marées 2020

7- HYDRODYNAMISME MARIN : MECANISME DE RUPTURE ET MODELISATION

Cette partie a pour objectif d'appréhender les effets de la houle dans les mécanismes de stabilité des falaises.

Compte-tenu de la complexité des phénomènes en jeu et des incertitudes liées notamment aux méthodes d'évaluation des efforts induits par la houle (irrégularités géométriques du site, extrapolation d'essais sur modèles réduit etc.), l'ensemble des calculs réalisés dans cette partie vise seulement à déterminer des ordres de grandeur, en particulier en ce qui concerne les aspects de stabilité.

7.1- PRISE EN COMPTE DES EFFETS DE L'EAU

→ Description de la marée

A SAINT-JEAN-DE-LUZ, les marnages sont caractérisés par une période de 12 h 25 (44 700 s) et une amplitude maximale de l'ordre de 4,9 m. L'ensemble des données est issu du marégraphe situé dans le port et exploité par le SHOM. L'ensemble des niveaux est exprimé en Cotes Marines (CM), le zéro hydrographique (origine des cotes marines) est rattaché au référencement IGN69 (0 CM = -2,176 m NGF).

L'analyse statistique, menée sur l'année 2020, a conduit à différencier 5 niveaux de marées, de coefficients moyens : 40 – 60 – 90 – 110 – 140. Pour chacun de ces cas sont associés des fréquences d'apparition et les niveaux d'eau en basse mer (BM) et pleine mer (PM). Les occurrences et niveaux caractéristiques des marées pour l'année 2020 sont reportées dans les tableaux ci-contre.

Chacune de ces données définit une situation de calcul, le niveau de la houle s'ajoutant au niveau de la marée.

→ Description de la houle

Description statistique de la houle réelle

Dans la latitude concernée par la zone d'étude, la houle trouve son origine sous l'action du vent. Les vagues ainsi générées au large se transforment en houle, soit lorsque le vent faiblit, soit lorsque les vagues se propagent en dehors de l'aire génératrice. Elle prend la forme d'ondes de surface.

Il existe 5 modèles de houles simples (houles simples sinusoïdales, houles de Miche, houles cnoïdales, ondes solitaires et les fonctions de courant) qui varient selon les hypothèses mathématiques retenues.

Il en résulte que ces modèles couvrent le fonctionnement de la houle créée au large (houle sinusoïdale), qui, vers sa progression vers le littoral, passe par le stade "houle de Miche", puis houle cnoïdale et d'onde solitaire avant de déferler sur la côte.

Ainsi, la houle se caractérise par une hauteur de crête à creux (H), une longueur d'onde – distance de crête à crête (λ), une période (T) reliée à la pulsation ($\omega = 2\pi/T$) et à la fréquence ($f = 1/T = \omega/2\pi$). La vitesse de déplacement de l'onde est appelée célérité (C), $C = \lambda/T$, enfin k, le nombre d'onde, vaut $2\pi/\lambda$.

Les différentes formes de houle évoquées plus haut dépendent des caractéristiques de l'onde (période, amplitude, réfraction, diffraction, réflexion etc.) et des conditions aux limites (forme, rugosité et profondeur des fonds notamment), elles sont synthétisées dans le diagramme ci-dessous :

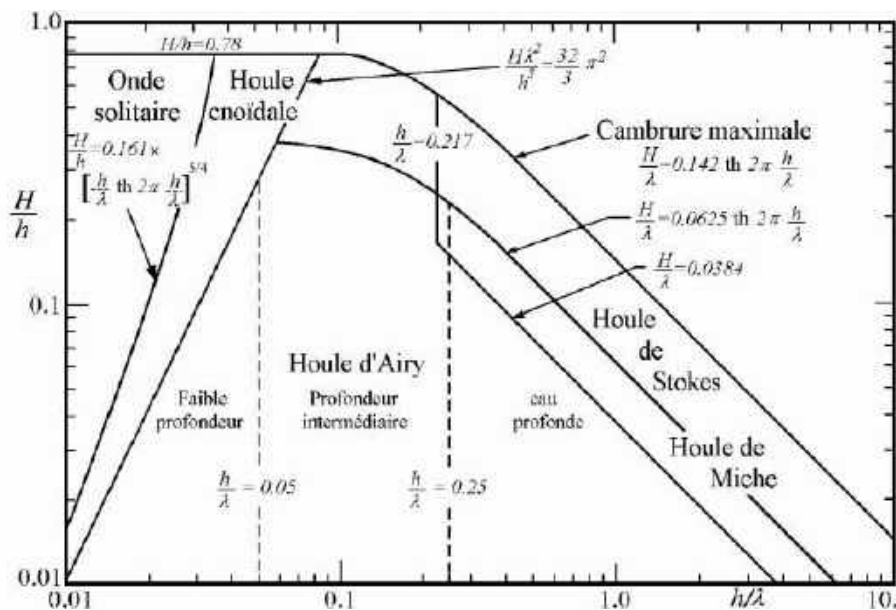


Figure 45 : Domaines d'applications des différentes théories de houle en fonctions de la profondeur et de la longueur d'onde relatives d'après P.D. Komar, complétée pour la houle de R. Miche d'après J. Larras (source : cours en ligne de Jean Bougis)

Dans le cadre de la présente étude, l'houlologue le plus proche est situé aux abords de la baie de SAINT-JEAN-DE-LUZ, à 1 km de la côte en projection orthogonale (Cf. figure ci-dessous), sa profondeur est de 20 m.

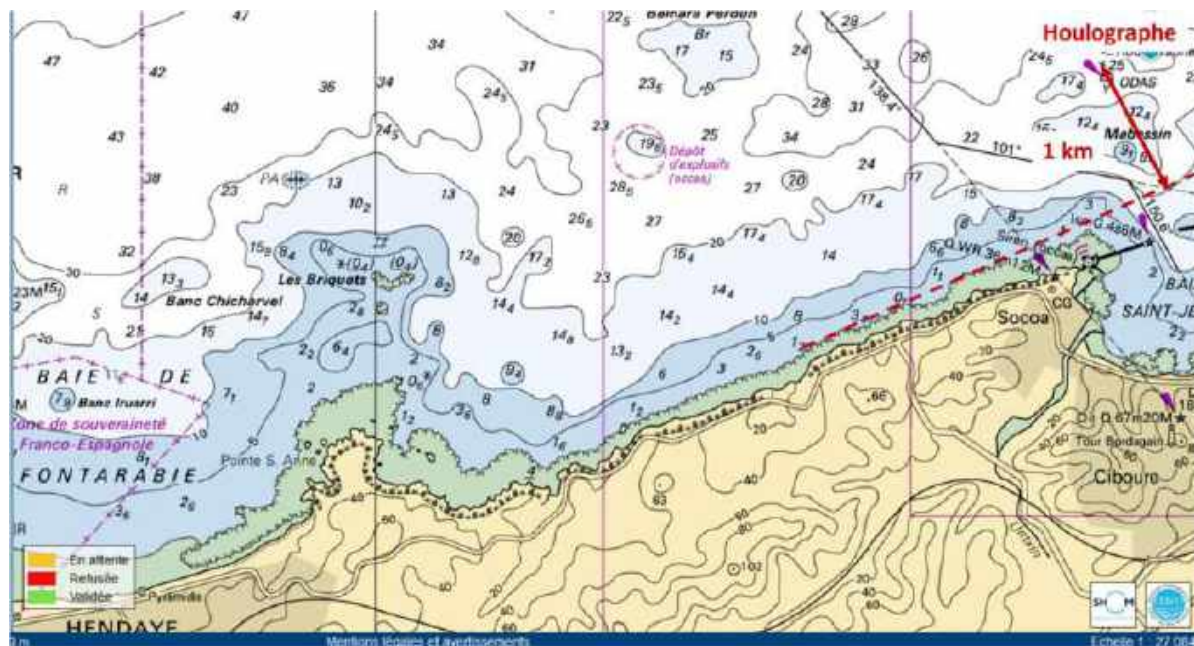


Figure 46 : Emplacement de l'houlologue sur fond de Carte Marine (source SHOM)

L'exploitation des données statistiques de la houle est disponible sur le site Candhis (Centre d'Archivage National de Données de la Houle In-Situ) élaboré par le Cerema. Compte-tenu de la complexité des phénomènes de création et de propagation de la houle, il est illusoire d'espérer en mener une analyse déterministe, pour cette raison, seul le recours à la théorie stochastique permet de fournir un modèle mathématique acceptable.

Ainsi, sans rentrer dans les détails des modèles, les paramètres statistiques usuellement retenus pour une analyse vague par vague (analyse temporelle) sont :

- $H_{1/3}$: hauteur significative exprimée en m des vagues définies par passage au niveau moyen par valeurs décroissantes. C'est la moyenne du tiers des plus grandes valeurs
- $H_{1/10}$: hauteur moyenne exprimée en m du dixième supérieur en hauteur des vagues (i.e. moyenne des hauteurs qui ont une chance sur dix d'être dépassée) définie par passage au niveau moyen par valeurs décroissantes
- H_{max} : hauteur maximale des vagues (en m), définie par passage au niveau moyen par valeurs décroissantes
- $T_{H1/3}$: période significative des vagues exprimée en s (toujours définies par passage au niveau moyen par valeurs décroissantes)
- $T_{H1/10}$: moyenne des périodes du dixième supérieur en hauteur des vagues également exprimée en s (et toujours définies par passage au niveau moyen par valeurs décroissantes)
- T_{avd} : période moyenne des vagues (s)
- T_{Hmax} : période de la vague de hauteur maximale, les vagues étant définies par passage au niveau moyen par valeurs décroissantes.

Le principe de calcul de ces paramètres consiste à reclasser les vagues par hauteur (= amplitude de l'ondulation) par ordre décroissant et d'en prendre la moyenne sur le tiers supérieur, dixième supérieur, etc.

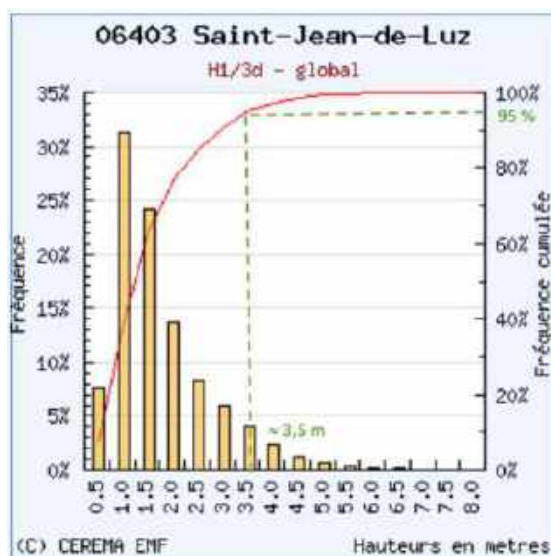


Figure 47 : Distribution de la hauteur significative

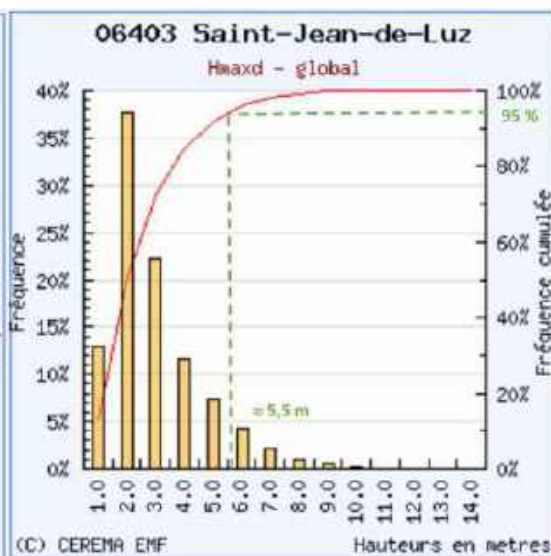


Figure 48 : Distribution de la hauteur maximale

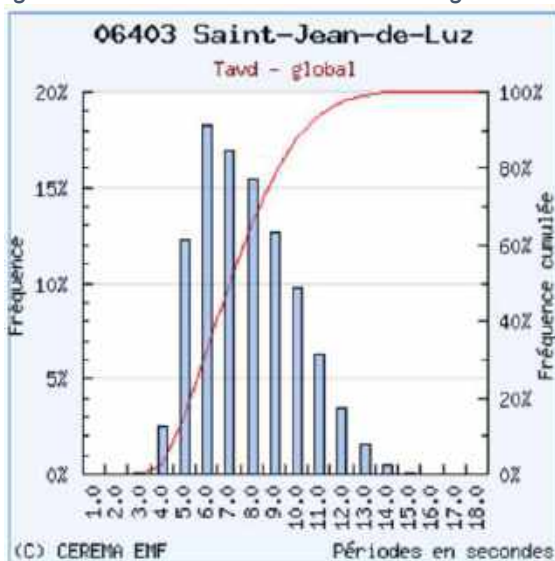


Figure 49 : Distribution de la période moyenne

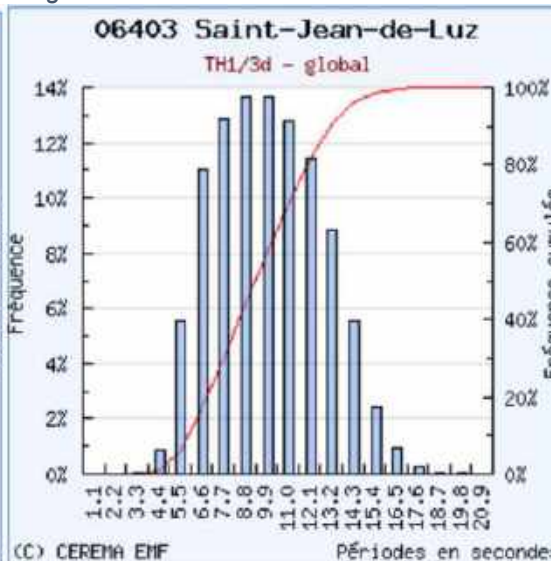


Figure 50 : Distribution de la période significative

L'analyse spectrale permet la représentation de la répartition d'énergie et de la direction des vagues d'un état de mer en fonction de la fréquence, permettant ainsi d'en caractériser la nature (houle, mer du vent). Les paramètres statistiques caractérisant l'état de mer sont alors :

- H_{m0} : hauteur significative spectrale des vagues (en m), calculée à partir du moment d'ordre 0 de la densité spectrale
- T_p : période du pic barycentrique (s) correspond au maximum de la densité spectrale
- T_{02} : période moyenne (s)
- Dir_p : direction moyenne de provenance des vagues au pic du spectre d'énergie.

L'ensemble des données statistiques analysées par le Cerema (Direction Technique Risques, Eaux et Mer) sont reportées sur les figures ci-contre (données 2020 publiées en janvier 2021) :

Généralement, par souci de simplification, particulièrement parce qu'elle est facile à calculer, on confond H_{m0} avec $H_{1/3}$ et T_p avec $T_{H1/3}$. Sur le suivi annuel, on observe alors que 95% des vagues ont une hauteur significative (respectivement hauteur maximale) inférieure à 3,6 m (respectivement 5,5 m). La période moyenne est centrée autour de 9 s.

La durée du suivi de l'houlographe de SAINT-JEAN-DE-LUZ est de 6,9 ans (au 30/11/2020), ce qui autorise une estimation raisonnable des houles caractéristiques sur des périodes de retour allant jusqu'à 5 fois cette durée (environ 30 ans). Au-delà les estimations sont peu précises et nécessitent d'être utilisées avec grandes précautions. Plusieurs lois d'ajustement permettent d'estimer ces périodes de retour au-delà de la durée des mesures, nous retiendrons la plus conservatrice d'entre-elles (i.e. celle donnant les hauteurs maximales – soit la loi exponentielle). Le tableau ci-dessous, illustré par le graphique qui suit, récapitule les houles de projet qui seront étudiées dans la suite du rapport et testées sur les différents profils de calcul :

Période de retour (années)	Hauteur de houle $H_{1/3}$ (m)	Intervalle de confiance à 70%	Tavd (s) – int de confiance à 70%	Qualité de l'estimation
-	3,6	-	-	-
1 an	6,74	non fourni	non fourni	fiable
5 ans	7,99	7,61 à 8,41	12,33 à 17,05	fiable
10 ans	8,54	8,08 à 9,04	13,04 à 18,12	fiable
20 ans	9,09	8,55 à 9,66	13,75 à 19,19	fiable
30 ans	9,37	8,79 à 10	non fourni	fiable
100 ans	12,00	non fourni	non fourni	non fiable

Tableau 3: Période de retour et hauteurs de houle associées

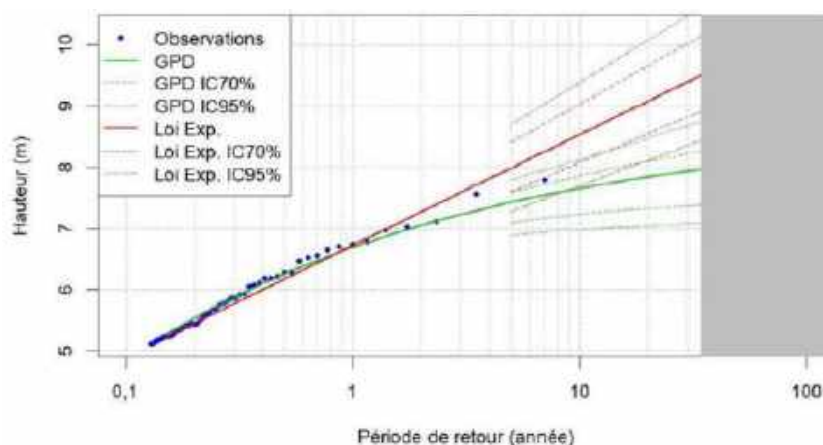


Figure 51 :Ajustement des périodes de retour de la houle

Enfin, l'analyse spectrale de la direction de la houle permet d'établir la Rose des Houles. Dans la zone d'étude, l'orientation principale de la houle est NO 315° :

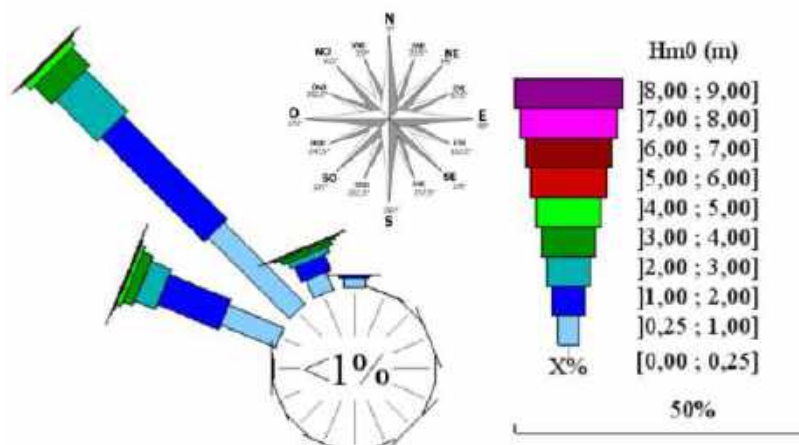


Figure 52 : Rose des houles

Etude de la propagation de la houle

On considère que le point de départ de la houle est l'origine des données (houlographe situé à 1,5 km des côtes), il y a donc lieu d'étudier – en tant que la houle, de sa progression au large vers le littoral, subit des modifications importantes du fait de la diffraction et de la réfraction – la propagation de la houle depuis cette origine jusqu'au niveau des profils de calcul. Par souci de simplicité (aucune influence sur les résultats compte-tenu de la précision du modèle utilisé), il ne sera réalisé qu'un seul profil de propagation par secteurs (7, 9, 12, 15, 19).

Deux approches simplifiées peuvent être utilisées :

- Le modèle SwanOne, développé par l'Université de Delft (Pays-Bas), est un modèle 1D, qui vise à mettre en évidence des effets de la remontée du platier sur l'amplitude et la période de la houle ainsi que l'influence du vent. Cette approche n'a pu être réalisée faute de disponibilité des données Météo-France (Rose des vents).
- Les solutions analytiques de la propagation unidimensionnelle de la houle linéaire (modèle de houle de Airy). Dans ce cas, il convient généralement, après calcul, de vérifier que les résultats obtenus sont compatibles avec les limitations théoriques liées au modèle de houle linéaire de Airy.

Les profils topographiques sont issus des données MNT disponibles sur le site du SHOM, le maillage (25 m x 25 m) présente une précision largement acceptable compte-tenu des simplifications intrinsèques au modèle de propagation. Voici, par exemple, le profil au niveau du secteur 7 :

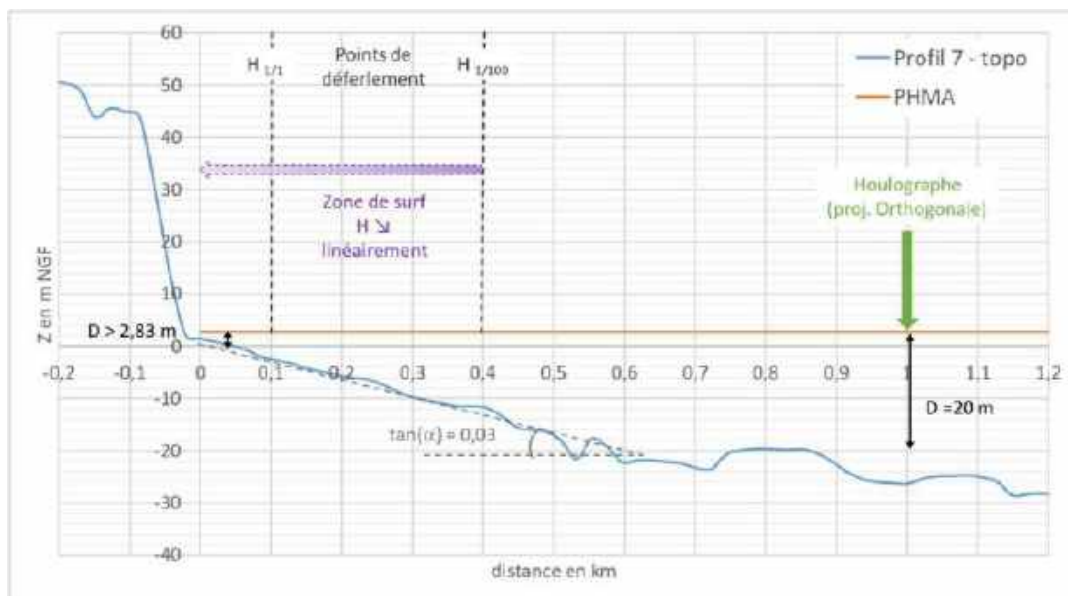


Figure 53 : Profil type au secteur n°7

On rappelle à ce titre, qu'à Saint-Jean-de-Luz, le zéro hydrographique ou zéro Cote Marine (0 CM), correspond à -2,173 m NGF dans le système altimétrique légal (IGN69). Dans la suite du rapport, l'ensemble des cotes seront exprimées en m NGF.

→ Surcote marine

La surcote marine due aux phénomènes météorologiques dans la zone d'étude a été étudiée dans le rapport conjoint du CETMEF et du SHOM « Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France » (édition 2012). On y trouve particulièrement, au niveau de SAINT-JEAN-DE-LUZ les résultats présentés dans la figure qui suit. Pour chaque période de retour de houle de calcul, la surcote associée sera additionnée au niveau de base (par ailleurs lui-même pris au niveau des Plus Hautes Mers Astronomiques). Cette approche est considérée comme sécuritaire.

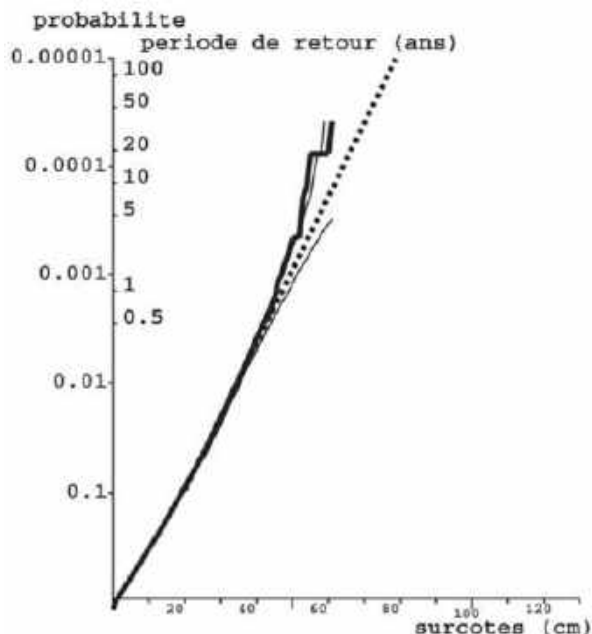


Figure 54 : Surcote marine et période de retour à Saint-Jean-de-Luz

Etude du shoaling et de l'interaction houle-courant

La présente analyse est menée en supposant un niveau moyen du plan d'eau à la cote des Plus Hautes Mers Astronomiques (PHMA). Nous prendrons pour hypothèse les vitesses des courants de la marée récapitulées dans le rapport BRGM RP-53705-FR, la vitesse maximale y est de $U = 0,075$ m/s. Généralement elle est maximale au jusant lors de coefficients de marée élevés. On retiendra donc une vitesse $U = 0$ m/s au large et $U = -0,075$ m/s à proximité des falaises (le signe négatif est lié au jusant).

L'interférence entre houle et marée peut conduire à une amplification significative de l'amplitude de l'onde résultante, cela se produit lorsque la houle et la marée sont en phase. Dans la zone d'étude, particulièrement à proximité des falaises, l'eau est peu profonde et la houle se réfracte. Les données issues du houlomètre montrent que la houle, par réfraction, s'est déjà « redressée » normalement au trait de côte. On retiendra donc, dans la suite des calculs un coefficient de réfraction $K_R = 1$ (ce coefficient s'applique sur hauteur de la houle « au large » pour donner la hauteur de la houle proche des côtes).

La remontée des fonds conduit au phénomène de shoaling de la houle qui se traduit par une modification des caractéristiques de la houle (notamment la période et la longueur d'onde). Le shoaling se traduit par un coefficient K_S qui s'applique de la même manière que K_R . Selon la théorie de la houle linéaire, la pulsation de la houle $\omega_1 (= kc)$, vaut donc :

$$\omega_1 = \sqrt{gk \tanh(kD)}$$

La pulsation de la marée vaut $U.k$ et soit ω celle de la houle, il apparait donc que la condition d'interférence porte sur le nombre d'onde (k) et s'exprime :

$$\omega - \sqrt{gk \tanh(kD)} = Uk$$

La résolution s'opère avec une méthode de Newton.

Un exemple de calcul pour la houle significative mesurée au houlographe, est reporté dans le tableau ci-dessous :

Données au large				Données près de la paroi			
H1/3 = 3,6	m	hauteur significative		H _{max} = 2,35	m	hauteur maximale houle non-déferlante	
T = 8	s	période significative		T = 8	s	période significative	
D ₀ = 20	m	profondeur des fonds		D = 2,83	m	profondeur fonds (PHMA)	
U = 0	m/s	vitesse marée		U = -0,075	m/s	vitesse marée	
Calcul au large				Calcul près de la paroi			
w ₀ = 0,785	s ⁻¹	pulsation houle au large		w = 0,785	s ⁻¹	pulsation houle près de la paroi	
k ₀ = 0,071	m ⁻¹	nbre d'onde - inconnue		k = 0,15606	m ⁻¹	nbre d'onde - inconnue	
L ₀ = 88,793	m	longueur d'onde houle		L = 40,261	m	longueur d'onde houle	
Calcul de la hauteur et profondeur au déferlement				w _r = 0,797	s ⁻¹	pulsation relative de la houle/courant	
tan(β) = 0,03		pente des fonds		K _s = 1,128		coefficient de shoaling	
H' ₀ = 3,60	m	hauteur houle yc réfraction/shoaling		K _r = 1,000		coefficient de réfraction	
H _b = 3,83	m	hauteur de la houle (break point)		G = 0,0589		cambrure houle pour H _{max}	
d _b = 4,32	m	profondeur des fonds (break point)		G _{lim} = 0,0589		cambrure limite (déferlement) - Airy	
Condition d'interférence (valeur nulle recherchée) :				Condition d'interférence (valeur nulle recherchée) :			
Si :	-1,08E-10	"=0"		Si :	-1,74E-10	"=0"	
Cr = 11,10	m/s	Célérité relative de la houle		Cr = 5,03	m/s	Célérité relative de la houle/courant	
Ccr = 11,10	m/s	Célérité relative au courant		Cr = 5,11	m/s	Célérité relative de la houle	
				C _{max} = 6,19	m/s	Célérité relative maximale - onde solitaire	
				L = 49,54	m	Longueur d'onde houle onde solitaire	
				H _{max} = 2,14	m	hauteur maximale houle - Fenton & McKee	

Tableau 4 : Exemple de calcul de la houle au niveau de la falaise – Secteur 7

Les mêmes calculs ont été menés pour les houles de périodes de retour 1 an, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 100 ans (voir tableau de synthèse ci-dessous). On observe que le coefficient de shoaling K_s (vu comme le rapport de la hauteur de houle au niveau de la paroi à celle de la houle au large) est supérieur à 1 pour les houles de périodes de retour 1 à 100 étudiées. Ce qui traduirait une amplification de la houle. Néanmoins on observe également (sous les conditions simplificatrices inhérentes aux modèles choisis) que la hauteur de la houle est limitée par le déferlement et que cette hauteur dépend peu des conditions au large ($H = 2,45$ m pour la houle 1 an et $H = 2,74$ m pour la houle 100 ans). Ainsi, la hauteur de la houle qui déferle sur la falaise, est limitée aux abords de celle-ci par la profondeur des fonds.

Pour comparaison, pour le profil n°7, les résultats exposés dans le rapport BRGM n°RP-57173-FR, où le modèle déployé (SWAN – calcul 2D) abouti, dans le même secteur, a des profondeurs de déferlement d'environ de 9 à 10 m (= 4,97 + 5 m) pour les 3 périodes de retour explorées (1, 5 et 10 ans). Les calculs que nous avons menés conduisent à des profondeurs de déferlement comprises entre 7,72 m et 9,69 m pour ces mêmes périodes de retour (voir H_b – tableau 5 ci-dessous).

Les hypothèses simplificatrices que nous avons formulées quant à la propagation de la houle (houle linéaire 1D) conduisent à des résultats comparables aux modèles plus complexes utilisés par ailleurs (houle linéaire 2D avec prise en compte du fletch – effets du vent).

Plus Hautes Mers Astronomiques (PHMA – 2,83 m NGF + surcote)													
Houlographe			Résolution		Sur la paroi					CEM 2008 (au point de déferlement)			
Période de retour (années)	H _{1/3} au large (m)	T _{avd} (s)	λ ₀ (m)	C ₀ (m/s)	H _{max,ND} (m)	Z _{max}	T _{avd} (s)	λ (m)	C (m/s)	H _B (m)	(η + h) _B (m)	h _B (m)	Dist. à la paroi du pt déferlem ^t (m)
-	3,6	8	88,79	11,10	2,34	4,07	8	40,26	5,11	3,83	6,23	4,32	50
1 an	6,74	10	121,24	12,12	2,49	4,07	10	51,9	5,27	6,73	11,08	7,72	148
5 ans	7,99	13	167,57	12,89	2,66	4,16	13	69,8	5,44	8,22	13,17	9,06	188
10 ans	8,54	15	197,53	13,17	2,75	4,21	15	81,4	5,51	8,96	14,18	9,69	207
20 ans	9,09	16	212,33	13,27	2,77	4,22	16	87,7	5,55	9,56	15,07	10,29	225
30 ans	9,37	17	227,03	13,35	2,82	4,24	17	94	5,6	9,87	15,48	10,55	232
100 ans	12	20	270,72	13,54	2,87	4,27	20	111,7	5,66	12,53	19,58	13,32	323

Tableau 5 : Périodes de retour et caractéristiques de la houle en pied de paroi – Secteur 7

On note d'ores et déjà que les efforts maximaux de la houle devront plus aux conditions de marée qu'aux conditions de houle. Enfin on ajoute que le glissement survenu le 29 octobre 2020 au passage de la vague Belharra était concomitant d'un épisode de marée modérée (coefficients 73 et 77). Au moment du glissement, les conditions étaient proches de la marée haute (étaie vers 15h36 et glissement vers 16h00). Cet évènement est mentionné plus loin dans le rapport.

Plus Hautes Mers Astronomiques (PHMA – 2,83 m NGF + surcote)																								
Houlographe			Résolution		Sur la paroi					CEM 2008 (au point de déferlement)				Andersen & Fredsøe		Miche			Ostendorf & Madsen			Irribaren		
Période de retour (années)	$H_{1/3}$ au large (m)	T_{avd} (s)	λ_0 (m)	C_0 (m/s)	$H_{max,ND}$ (m)	Z_{max}	T_{avd} (s)	λ (m)	C (m/s)	H_B (m)	$(\eta + h)_B$ (m)	h_B (m)	Dist. à la paroi du pt déferlem ^t (m)	H_{paroi} après déferlement (m)	set-up (m)	$\tan\alpha$	H_B (m)	h_B (m)	λ_B (m)	H_B (m)	h_B (m)	λ_B (m)	ξ_0	ξ_B
-	3,6	8	88,79	11,10	2,35	4,07	8	40,26	5,11	3,83	6,23	4,32	50	2,49	1,15	0,03	3,83	4,32	40,38	3,83	4,32	47,43	0,15	0,10
1 an	6,74	10	121,24	12,12	2,49	4,07	10	51,9	5,27	6,73	11,08	7,72	148	3,01	2,02	0,03	6,73	7,72	66,37	6,73	7,72	75,78	0,13	0,09
5 ans	7,99	13	167,57	12,89	2,66	4,16	13	69,8	5,44	8,22	13,17	9,06	188	3,32	2,47	0,03	8,22	9,06	83,84	8,22	9,06	96,99	0,14	0,10
10 ans	8,54	15	197,53	13,17	2,75	4,21	15	81,4	5,51	8,96	14,18	9,69	207	3,46	2,69	0,03	8,96	9,69	93,35	8,96	9,69	109,00	0,14	0,10
20 ans	9,09	16	212,33	13,27	2,77	4,22	16	87,7	5,55	9,56	15,07	10,29	225	3,57	2,87	0,03	9,56	10,29	99,60	9,56	10,29	116,31	0,14	0,10
30 ans	9,37	17	227,03	13,35	2,82	4,24	17	94	5,6	9,87	15,48	10,55	232	3,65	2,96	0,03	9,87	10,55	104,32	9,87	10,55	122,32	0,15	0,10
100 ans	12	20	270,72	13,54	2,87	4,27	20	111,7	5,66	12,53	19,58	13,32	323	4,06	3,76	0,03	12,53	13,32	129,64	12,53	13,32	150,92	0,14	0,10

Tableau 6 : Périodes de retour et caractéristiques des rouleaux déferlants – Secteur 7

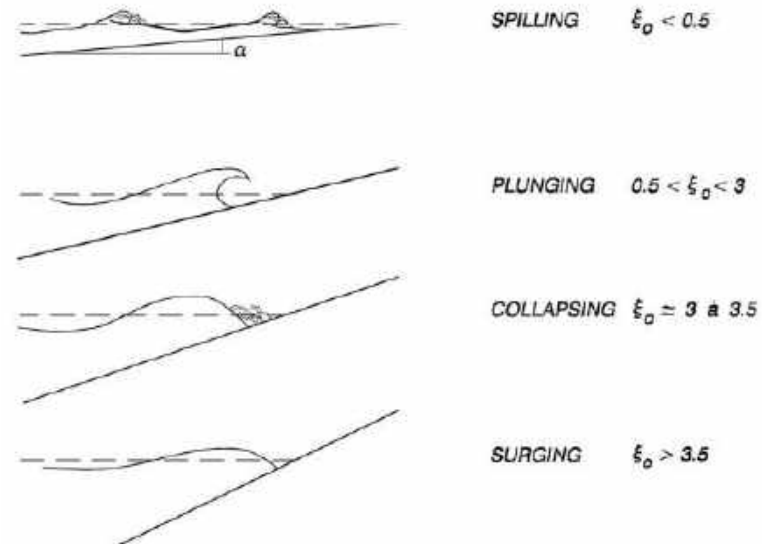
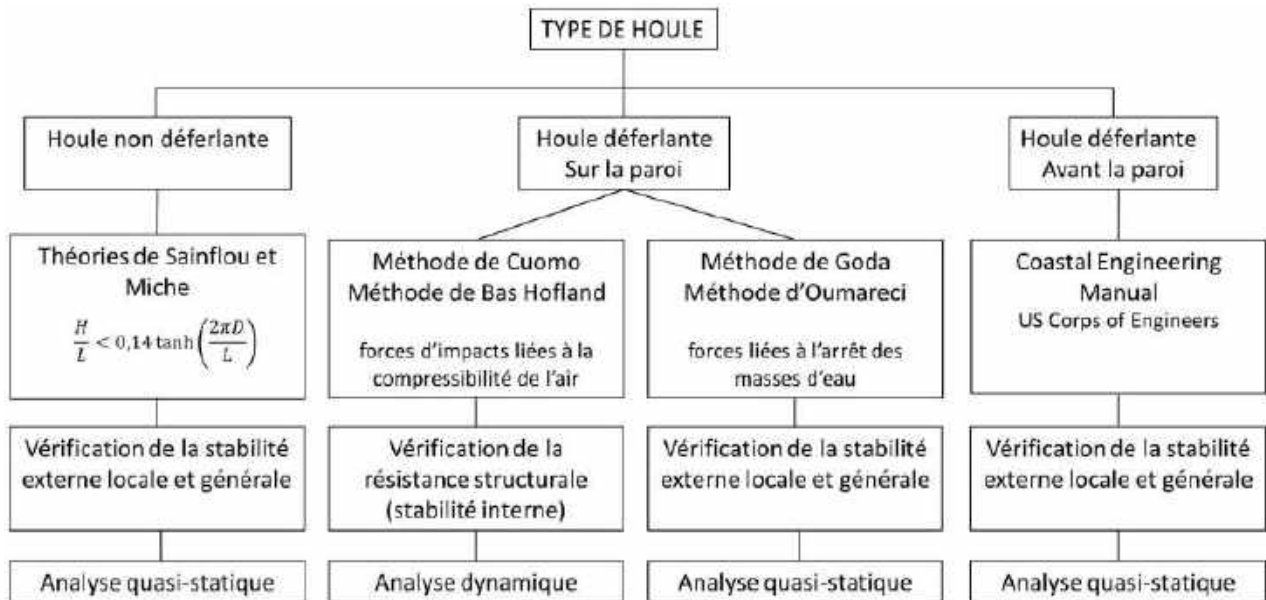


Figure 55 : Type de houle déferlante (source : CEM 2003)

Détermination des efforts liés à la houle

Principes généraux

L'effet de la houle sur une structure dépend des conditions de site (profondeur, fetch, etc.) et des caractéristiques intrinsèques de la houle (période, amplitude au large), généralement les méthodes de calcul des efforts hydrodynamiques se déroulent comme tel :



Dans le cas présent, et en reprenant l'analyse de la propagation de la houle, on observe que, pour les périodes de retour visées (houles 1 an à 100 ans), les lames d'eau déferlent loin de la falaise (Cf. tableau ci-contre) dès lors que $H \geq H_{\max,ND}$ (hauteur maximale d'une houle non déferlante). Les conditions de déferlement sont données par les paramètres adimensionnels d'Iribaren-Battjes :

$$\xi_0 = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_0/\lambda_0}}$$

$$\xi_B = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_B/\lambda_B}}$$

Où :

- H_0 hauteur de la houle au large
- H_B hauteur de la houle au point de déferlement
- λ_0 longueur d'onde au large
- λ_B longueur d'onde au point de déferlement.

Tous calculs fait (Cf. paragraphe suivant et tableau ci-contre), on trouve que la houle est de type « déferlement glissant » (Cf. figure ci-contre).

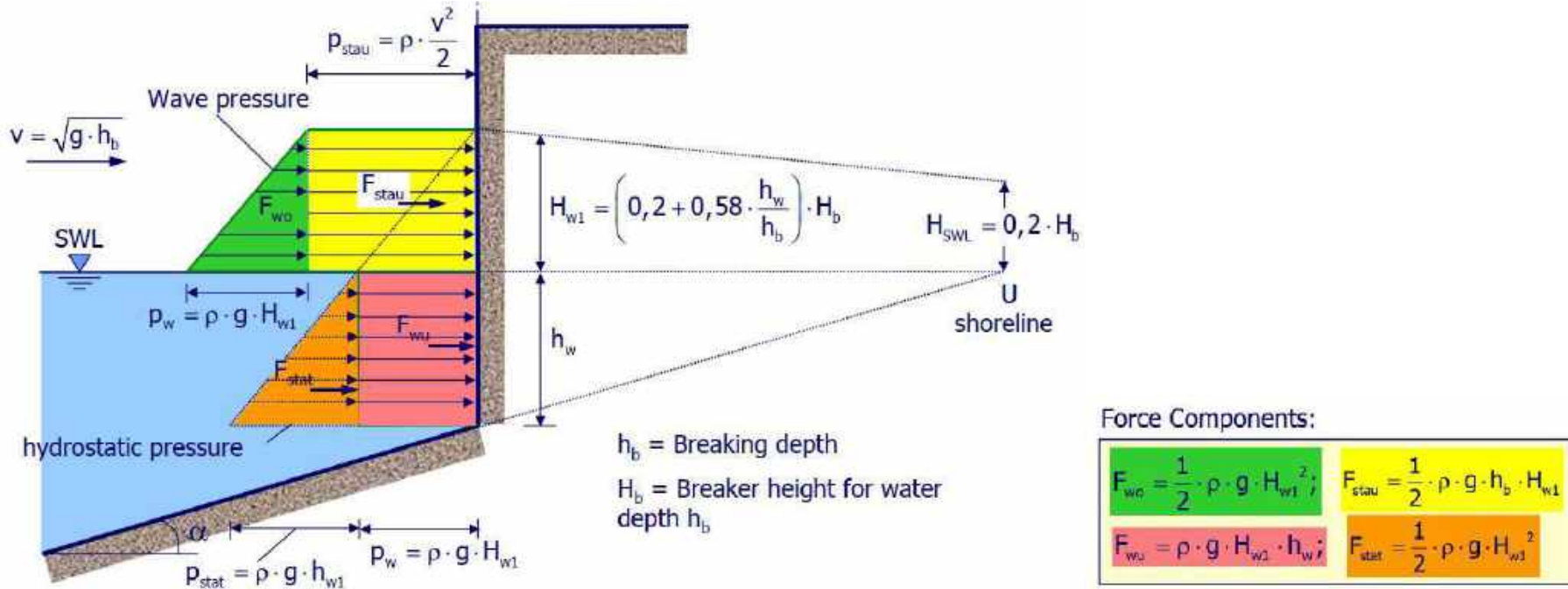


Figure 56 : Méthode illustrée (source : Oumareci)

Plus Hautes Mers Astronomiques (PHMA – 2,83 m NGF + surcote)																	Paroi verticale	
Houlographe			Résolution		CEM 2008 (au point de déferlement)				Coast Engineering Manual - US Army							Torseur au centre (semelle fictive largeur B)		
Période de retour (années)	H _{1/3} au large (m)	T _{avd} (s)	λ ₀ (m)	C ₀ (m/s)	H _B (m)	(η + h) _B (m)	h _b (m)	Dist. à la paroi du pt déferlem ^t (m)	h _w (m)	H _{w1} (m)	B (m)	F _{wo} (kN)	F _{stau} (kN)	F _{wu} (kN)	F _{stat} (kN)	F _{TOT} (kN)	M _{TOT;0} (kN.m)	
-	3,6	8	88,79	11,10	3,83	6,23	4,32	50	2,83	2,22	5,05	24,2	47,0	61,6	24,2	157,0	198,4	
1 an	6,74	10	121,24	12,12	6,73	11,08	7,72	148	3,28	3,00	6,28	44,2	113,7	96,6	44,2	298,8	472,6	
5 ans	7,99	13	167,57	12,89	8,22	13,17	9,06	188	3,43	3,45	6,88	58,4	153,4	116,1	58,4	386,2	663,9	
10 ans	8,54	15	197,53	13,17	8,96	14,18	9,69	207	3,48	3,66	7,14	65,7	174,0	124,9	65,7	430,2	763,7	
20 ans	9,09	16	212,33	13,27	9,56	15,07	10,29	225	3,53	3,81	7,34	71,4	192,5	132,1	71,4	467,3	850,4	
30 ans	9,37	17	227,03	13,35	9,87	15,48	10,55	232	3,58	3,92	7,50	75,2	202,6	137,5	75,2	490,6	909,6	
100 ans	12	20	270,72	13,54	12,53	19,58	13,32	323	3,63	4,49	8,12	98,8	293,1	159,8	98,8	650,5	1277,5	

Tableau 7 : Calcul du torseur des efforts sur la paroi – considérée comme verticale– Secteurs 6 et 9

En conséquence, on ne discernera que deux types d'efforts appliqués à la falaise (la profondeur limitée des fonds ne permet pas l'établissement du clapotis : $h/\lambda \ll 0,14$, d'ailleurs la condition est remplie pour une onde de période 3 s qui représente moins de 1 % des vagues d'après la distribution reportée plus haut) :

- ceux associés à un rouleau (bore/broken wave), déterminés conformément au CEM (2003)
- ceux associés à une houle déferlante sur la falaise, pour $H \leq H_{\max,ND}$ déterminés conformément à la méthode de Cuomo.

Efforts liés à la houle non déferlante

Les efforts liés à la houle non déferlante (i.e. celle qui a déjà déferlée) sont déterminés selon le Coast Engineering Manual de l'US Army. Les données d'entrées et les étapes de calculs sont reportés sur la figure ci-contre. La longueur d'onde au point de mesure est déterminée par la résolution (méthode de Newton) de l'équation (houle linéaire) :

$$\frac{2\pi}{k} - g \frac{T^2}{2\pi} \tanh(kD) = 0$$

où D profondeur (D = 20 m dans le cas de l'houlographe)
 g accélération de la pesanteur
 k nombre d'onde

La hauteur de la vague au moment du déferlement (H_B) en fonction de la houle au large (par exemple au houlographe) est calculée par la relation de Sunamara (1983) :

$$H_B = H_0 (\tan \alpha)^{0,2} \left(\frac{H_0}{\lambda_0} \right)^{-0,25}$$

avec $\tan \alpha$ pente du platier.

La profondeur moyenne au point de déferlement est donnée par :

$$(\bar{\eta} + h)_B = 0,91 H_0 \left(\frac{H_0}{\lambda_0} \right)^{-0,15}$$

En notant qu'au point de déferlement :

$$\dot{\eta}_B = -0,05 H_B$$

On en déduit :

$$h_B = 0,05 H_B + 0,91 H_0 \left(\frac{H_0}{\lambda_0} \right)^{-0,15}$$

La longueur d'onde au point de déferlement, vaut, dans le cadre de la théorie de Miche :

$$\left[\frac{H_B}{\lambda_B} \right]_{max} = 0,142 \tanh \left(2\pi \frac{h_B}{\lambda_B} \right)$$

Et dans le cadre de celle d'Ostendrof et de Madsen :

$$\left[\frac{H_B}{\lambda_B} \right]_{max} = 0,14 \tanh \left((0,8 + 5 \tan \beta) 2\pi \frac{h_B}{\lambda_B} \right)$$

Une fois qu'elle a déferlée, on assimile la hauteur H de la houle à la hauteur du ressaut hydraulique, qui est donné par Andersen et Fredsøe :

$$H = (\bar{\eta} + h) \left[0,5 + 0,3e^{-0,11 \frac{x-x_B}{(\bar{\eta}+h)_B}} \right]$$

D'où en particulier au pied de la falaise, la hauteur de la houle H_{paroi} :

$$H_{paroi} = (0,3H_B + h_w) \left[0,5 + 0,3e^{-0,11 \frac{x_B}{(\bar{\eta}+h)_B}} \right]$$

où h_w hauteur d'eau en pied de falaise (niveau de la marée + surcote)
 x_B distance séparant la falaise du point de déferlement

Efforts liés à la houle déferlante

Les forces d'impact liées à la houle déferlante sont liées aux chocs très brefs (de l'ordre de la milliseconde voire plus petit) des lames d'eau qui déferlent sur la paroi. De nombreuses méthodes sont explorées dans la bibliographie, nous retiendrons celle de Cuomo (Breaking wave loads at vertical seawalls and breakwaters, Cuomo G., et al. Coastal Engineering. 57(4) – 2010) qui est basée sur des essais sur modèles réduits associés aux corrections par facteurs d'échelle correspondantes. Les principales caractéristiques des vagues idéalisées sont représentées ci-dessous :

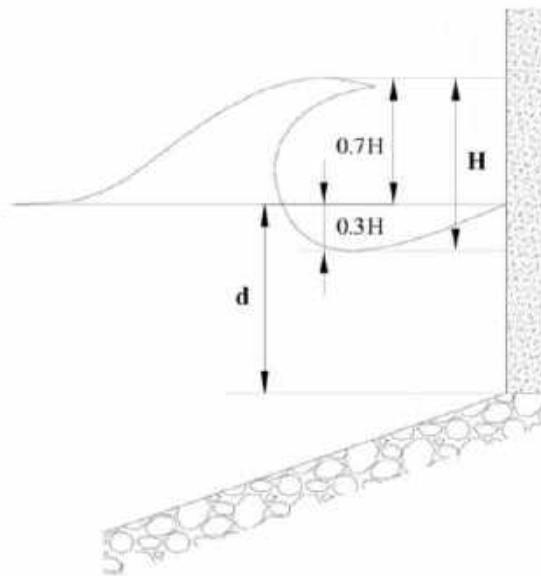


Figure 57 : Définition des caractéristiques géométriques (Cuomo, 2010)

La force d'impact établie par le modèle réduit est :

$$F_{h,imp(1/25)} = \rho g H_{m0} L(h_s) \left(1 - \frac{|h_b - d|}{d} \right)$$

où, pour les différentes situations de calcul retenues :

l'indice 1/250 signifie que la quantité exprimée est la moyenne des 4 plus hautes valeurs mesurées (sur une série de 1000 vagues)

$L(h_s)$ longueur d'onde au pied de la paroi pour une période moyenne $T = T_m$;

H_{m0} hauteur significative (analyse spectrale), on la supposera égale à $H_{max,ND}$ au pied de la paroi (houle n'ayant pas encore déferlée cf. tableau du 6.1.2.3)
 h_b profondeur de déferlement de Miche
 d profondeur d'eau en pied de paroi

Le moment de renversement associé est quant à lui :

$$M_{z,imp(1/250)} = F_{h,imp(1/250)} d \left(0,78 \frac{H_{m0}}{d} + 0,34 \right)$$

Les facteurs d'échelle sont basés sur le nombre de Bagnold Bg :

$$Bg = \frac{\rho k_B u_0^2}{P_0 D_B}$$

Où :

u_0 célérité de l'onde incidente
 P_0 pression atmosphérique
 D_B épaisseur de la couche d'air comprimée au moment de l'impact prise égale à $(\pi/12) \cdot H_{m0}$
 k_B masse effective de l'eau prise égale à $0,2 \cdot (1 - \pi/12) \cdot H_{m0}$

Et sur la relation de Takahashi (voir Cuomo G., Allsop W., Takahashi S., Scaling wave impact pressure on vertical walls, Coastal Engineering 57 – 2010) :

$$Bg = 5 \left(\frac{P_{max}}{P_0} \right)^{\frac{2}{7}} + 2 \left(\frac{P_{max}}{P_0} \right)^{\frac{-5}{7}} - 7$$

Le facteur correcteur est alors donné par :

$$\lambda_S = \frac{\frac{P_{max,P}}{P_0} - 1}{\frac{P_{max,M}}{P_0} - 1}$$

Où

$P_{max,P}$ pression de pic "**P**rototype" (i.e. sur la falaise en conditions réelles)
 $P_{max,M}$ pression de pic "**M**odèle" (i.e. la pression correspondant à $F_{h,imp(1/250)}$ obtenue sur modèle réduit)

Son principe de détermination est le suivant :

- 1 - connaissant le nombre de Bagnold du modèle réduit ($Bg = 0,06$ dans les travaux de Cuomo), on calcule $\frac{P_{max,M}}{P_0}$
- 2 - on calcule le nombre de Bagnold dans la configuration réelle (l'ensemble des données nécessaires sont connues)
- 3 - on en déduit $\frac{P_{max,P}}{P_0}$

PHMA – 2,83 m NGF + surcote

Houlographe		Cuomo																				PROVERBS					
Période de retour (années)	H _{1/3} au large (m)	T _{avd} (s)	d (m)	θ (rad)	B _{GM}	P _{max,M/P₀}	D _B (m)	k _B (m)	B _{GP}	P _{max,P/P₀}	λ _s	h _b (m)	F _{h,imp(1/250)} (kN)	M _{z,imp(1/250)} (kN.m)	F [*] _{h,imp} (kN)	F [*] _{h,q5} (kN)	M [*] _{z,imp} (kN.m)	M [*] _{z,q5} (kN.m)	λ _F	t _{r,M} (s)	λ _T	t _{r,P} (s)	T _N (s)	t _{r,P} / T _N (s)	t _r (s)	t _d (s)	v _D
-	3,6	8	2,83	0,70	0,06	1,344	0,56	0,316	0,271	1,926	2,69	2,56	765	2013	2059	456	5418	1181	4,524	0,00040	3,574	0,00143	0,046	0,031	0,00143	0,014	0,79
1 an	6,74	10	3,28	0,70	0,06	1,344	0,65	0,368	0,315	2,002	2,91	2,95	1140	3486	3321	616	10154	1851	5,252	0,00021	4,132	0,00085	0,046	0,018	0,00085	0,008	0,59
5 ans	7,99	13	3,43	0,70	0,06	1,344	0,70	0,393	0,333	2,043	3,03	3,10	1647	5339	4995	694	16187	2199	5,543	0,00011	4,304	0,00048	0,046	0,010	0,00048	0,005	0,42
10 ans	8,54	15	3,48	0,70	0,06	1,344	0,72	0,406	0,340	2,059	3,08	3,19	2012	6698	6195	734	20619	2376	5,671	0,00008	4,386	0,00035	0,046	0,008	0,00035	0,004	0,35
20 ans	9,09	16	3,53	0,70	0,06	1,344	0,73	0,409	0,344	2,068	3,10	3,20	2163	7270	6716	748	22570	2449	5,734	0,00007	4,423	0,00031	0,046	0,007	0,00031	0,003	0,33
30 ans	9,37	17	3,58	0,70	0,06	1,344	0,74	0,416	0,350	2,082	3,15	3,26	2365	8082	7440	774	25420	2572	5,825	0,00006	4,470	0,00027	0,046	0,006	0,00027	0,003	0,31
100 ans	12	20	3,63	0,70	0,06	1,344	0,75	0,424	0,355	2,093	3,18	3,30	2859	9929	9084	800	31547	2699	5,916	0,00004	4,529	0,00020	0,046	0,004	0,00020	0,002	0,26

Tableau 8 : Calcul des forces d'impact – Cuomo et al.

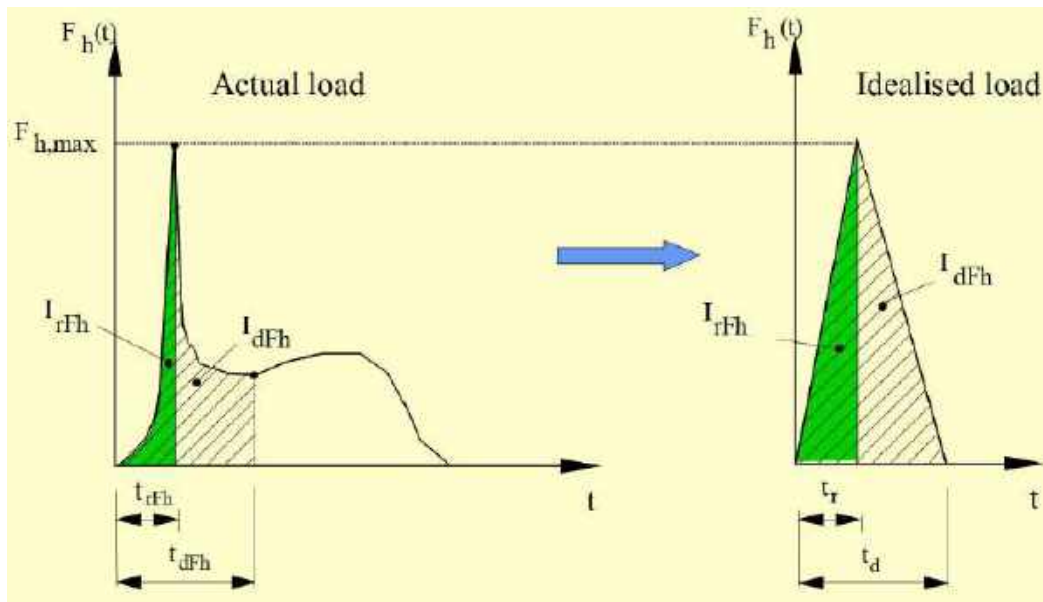


Figure 58 : Modèle idéalisé de la force d'impact des vagues, et du temps d'action

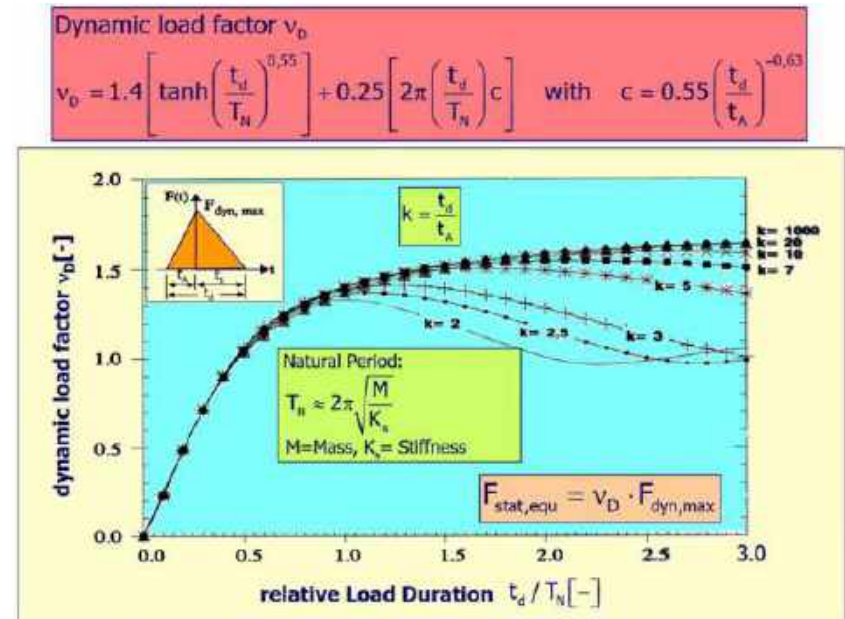


Figure 59 : Facteur de chargement dynamique (source : Oumareci)

4 - par suite on obtient λ_s

5 - et enfin la force d'impact (idem pour le moment associé) :

$$F_{h,imp(1/250)} = \lambda_s \rho g H_{m0} L(h_s) \left(1 - \frac{|h_b - d|}{d} \right)$$

Les efforts ainsi déterminés valent pour une paroi verticale. La prise en compte de l'inclinaison de la falaise conduirait à modifier sensiblement les efforts obtenus. Le cas des parois inclinées est très peu traité dans la bibliographie, on considérera que la grandeur algébrique des efforts ainsi obtenus s'applique sur la falaise inclinée et on supposera que la résultante est normale à la paroi. Un exemple de calcul est reporté dans le tableau ci-contre.

Il est usuel d'associer aux efforts dynamiques ainsi déterminés, des efforts quasi-statiques, par l'introduction d'un facteur de chargement dynamique v_D , dont l'expression sera ici déterminée conformément au projet PROVERBS (Oumareci et al.) illustré ci-contre. De cette sorte, l'effort quasi-statique équivalent prendra la forme :

$$(F_{h,imp(1/250)})_{stat} = v_D F_{h,imp(1/250)}$$

Le time rise (t_r), déterminé sur modèle réduit, est également mis à l'échelle par le facteur λ_T :

$$\lambda_T = \frac{\lambda_F^{\frac{3}{2}}}{\lambda_S}$$

Où λ_F est le rapport de similitude de Froude (rapport des dimensions du modèle au prototype, égal au rapport des nombres de Bagnold).

La période propre de la falaise (T_N) est estimée par analogie avec le dimensionnement sismique des pentes : $T_N = 4H/V_S$ où H est la hauteur de la falaise ($H = 40\text{m}$) et V_S la vitesse sismique dans les flyschs (estimée à 3500 m/s – expérience du Cerema pour des flyschs altérés/fracturés), soit une période propre de l'ordre de 46 ms .

On remarque donc que la période de sollicitation (time rise, t_r) $t_r \ll T_N$, il apparaît donc un amortissement qui conduit à retenir un effort statique équivalent atténué.

7.2 - EVALUATION DE LA STABILITE VIS-A-VIS DE LA HOULE

→ Stabilité des parois – Mécanisme de portance

La stabilité de la falaise vis-à-vis des effets de la houle est, dans un premier temps estimée, en assimilant les mécanismes la rupture du pied de falaise à des mécanismes de portance de fondation superficielle filante (voir figure suivante). Ces mécanismes correspondent à des volumes glissés et reculs instantanés importants (métrique à pluri-métriques).

Les torseurs des efforts établis plus haut sont comparés à la résistance calculée selon les formules de portance de Terzaghi qui sont représentatives de mécanismes de rupture de type Prandtl (mécanisme multiblocs de poinçonnement du sol de fondation d'une semelle superficielle).

Plus Hautes Mers Astronomiques (PHMA – 2,83 m NGF + surcote)										Paroi verticale		Paroi inclinée													
Houlographe			Coast Engineering Manual - US Army							Torseur au centre (semelle fictive largeur B)		Torseur au centre (semelle fictive largeur B')			Portance (Eurocode 7 - formules de Terzaghi)										
Période de retour (années)	H _{1/3} au large (m)	T _{avd} (s)	h _w (m)	H _{w1} (m)	B (m)	F _{wo} (kN)	F _{stau} (kN)	F _{wu} (kN)	F _{stat} (kN)	F _{TOT} (kN)	M _{TOT,0} (kN.m)	θ angle/horiz (rad)	B' (m)	F' _{TOT} (kN)	M' _{TOT,0'} (kN.m)	B _{eff} (m)	σ _{v,d} (kPa)	c' (kPa)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	N _q	N _c	N _y	q _{net} (kPa)	F
-	3,6	8	2,83	2,22	5,05	24,2	47,0	61,6	24,2	157,0	198,4	0,698	7,86	244,2	480,2	3,92	62,3	0	35	20	33,30	46,12	45,228	1774,4	28,50
1 an	6,74	10	3,28	3,00	6,28	44,2	113,7	96,6	44,2	298,8	472,6	0,698	9,77	464,9	1143,9	4,85	95,8	0	35	20	33,30	46,12	45,228	2195,3	22,92
5 ans	7,99	13	3,43	3,45	6,88	58,4	153,4	116,1	58,4	386,2	663,9	0,698	10,70	600,8	1606,8	5,35	112,2	0	35	20	33,30	46,12	45,228	2421,9	21,58
10 ans	8,54	15	3,48	3,66	7,14	65,7	174,0	124,9	65,7	430,2	763,7	0,698	11,11	669,3	1848,3	5,58	119,9	0	35	20	33,30	46,12	45,228	2525,1	21,06
20 ans	9,09	16	3,53	3,81	7,34	71,4	192,5	132,1	71,4	467,3	850,4	0,698	11,43	727,0	2058,3	5,76	126,1	0	35	20	33,30	46,12	45,228	2607,1	20,67
30 ans	9,37	17	3,58	3,92	7,50	75,2	202,6	137,5	75,2	490,6	909,6	0,698	11,66	763,2	2201,6	5,89	129,5	0	35	20	33,30	46,12	45,228	2665,0	20,58
100 ans	12	20	3,63	4,49	8,12	98,8	293,1	159,8	98,8	650,5	1277,5	0,698	12,63	1012,1	3092,0	6,52	155,3	0	35	20	33,30	46,12	45,228	2948,4	18,99

Tableau 9 : Calcul de la stabilité du pied de falaise vis-à-vis des rouleaux de la houle (mécanisme de portance) – Secteur 9 – Flyschs bréchiques

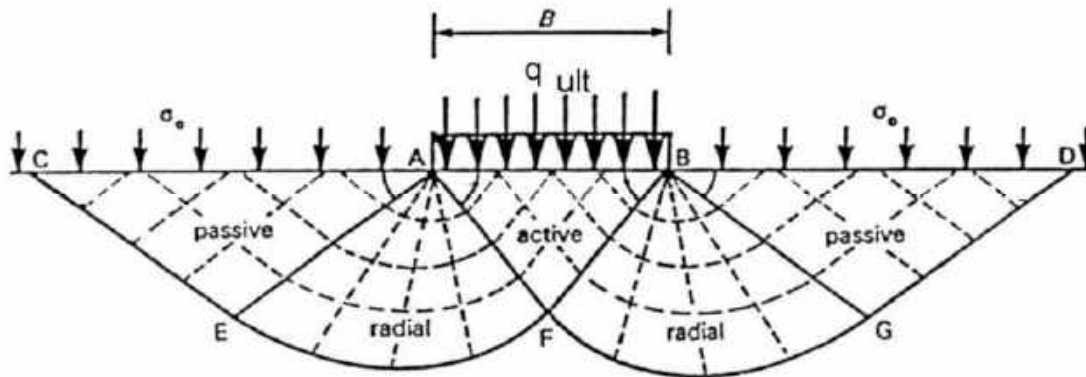


Figure 60 : mécanisme de rupture de type Prandtl

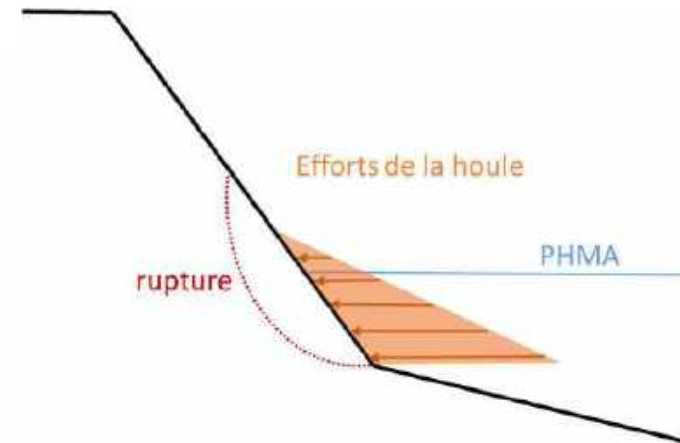


Figure 61: Mécanisme de portance (représentation schématisique de la houle)

Il y a lieu de tenir compte de l'inclinaison de la falaise pour la détermination des efforts de la houle (voir figure ci-dessous). Ce qui conduit à un facteur multiplicateur de $1/\sin \theta$ (> 1) pour les forces et $1/\sin^2 \theta$ (> 1) pour les moments.

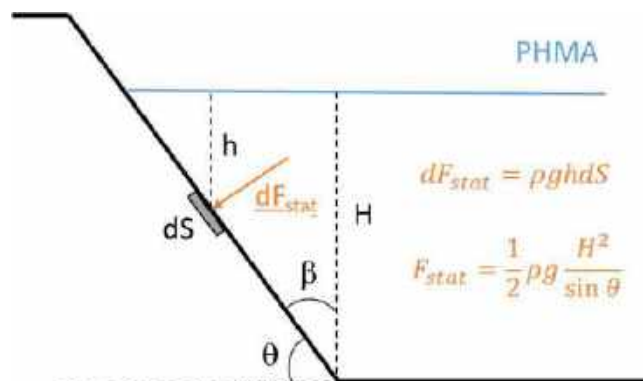


Figure 62 : Prise en compte de l'inclinaison de la paroi

Concernant les efforts liés à houle déferlant avant la falaise, un exemple de calcul est porté dans le tableau ci-contre en considérant un pied de falaise bréchique.

On montre que la stabilité est assurée avec des coefficients de sécurité globaux $F > 32$ pour l'ensemble des situations explorées (houles de hauteur H_s et houles de périodes de retour 1 an, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 100 ans associées à la PHMA). Pour information, les règlements usuellement retenus pour le calcul des fondations superficielles (Eurocode 7, mais aussi précédemment le Fascicule 62 Titre V), fixent des objectifs de sécurité de l'ordre de 2,5 à 3 pour les Etats Limites Ultimes (ELU).

De même, pour les flyschs remaniés ($c = 0$ kPa, $\varphi = 35^\circ$), les calculs mettent en évidence des coefficients de sécurité très élevés, supérieurs à 18.

On observe que le coefficient de sécurité F vis-à-vis des mécanismes de portance évolue dans le sens opposé de θ : plus la pente de la falaise est faible, meilleur est le coefficient de sécurité.

Compte-tenu des coefficients de sécurité particulièrement élevés obtenus, il semblerait raisonnable de supposer :

La houle par son action cyclique conduit à une fatigue sur le massif qui se traduit par différents stades mécaniques : fracturation, bréchéification, altération qui sont décrits plus haut dans le rapport. L'action répétée peut conduire alors à la création de configurations géométriques manifestement instables (pilier de voûte instable au secteur 14, simple pilier ou plaque en flexion si ablation latérale au secteur 6) dont la rupture peut conduire à des reculs importants (eut égard aux volumes potentiellement concernés).

Dans des configurations géométriques stables, par exemple un pan de falaise linéaire, les coefficients de sécurité élevés obtenus laissent supposer que l'action de la houle ne peut conduire, en seul évènement, à une rupture générale de la falaise et à un recul plurimétrique (évènement qui nous intéresse dans le cadre de l'étude).

PHMA – 2,83 m NGF + surcote			Paroi verticale					Paroi inclinée													
Houlographe			Torseur à la base		Torseur au centre			Torseur au centre				Portance (Eurocode 7 - formules de Terzaghi)									
Période de retour (années)	H _{1/3} au large (m)	T _{avd} (s)	F* _{h,qs,eq} (kN)	M* _{z,qs,eq} (kN.m)	B (m)	F* _{h,qs,eq} (kN)	M* _{z,qs,eq} (kN.m)	β (rad)	B' (m)	F* _{h,qs,eq} (kN)	M* _{z,qs,eq} (kN.m)	B _{eff} (m)	σ _{v,d} (kPa)	c' (kPa)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	N _q	N _c	N _γ	q _{net} (kPa)	F
-	3,6	8	1618	4258	3,90	1618	1103	0,698	5,09	2112	1879	3,31	637,8	0	40	20,5	64,2	75,3	106,1	3600,4	5,65
1 an	6,74	10	1949	5960	4,53	1949	1549	0,698	5,91	2545	2640	3,83	664,1	0	40	20,5	64,2	75,3	106,1	4165,2	6,27
5 ans	7,99	13	2118	6864	4,76	2118	1824	0,698	6,21	2765	3108	3,97	697,2	0	40	20,5	64,2	75,3	106,1	4311,1	6,18
10 ans	8,54	15	2197	7313	4,86	2197	1979	0,698	6,34	2868	3372	3,99	719,5	0	40	20,5	64,2	75,3	106,1	4333,2	6,02
20 ans	9,09	16	2235	7512	4,92	2235	2019	0,698	6,42	2918	3441	4,06	719,1	0	40	20,5	64,2	75,3	106,1	4411,0	6,13
30 ans	9,37	17	2289	7823	4,99	2289	2110	0,698	6,51	2989	3596	4,11	727,6	0	40	20,5	64,2	75,3	106,1	4464,9	6,14
100 ans	12	20	2356	8181	5,07	2356	2215	0,698	6,61	3075	3775	4,16	739,7	0	40	20,5	64,2	75,3	106,1	4518,8	6,11

Tableau 10 : Calcul de la stabilité du pied de falaise vis-à-vis de la houle déferlante sur la paroi (mécanisme de portance) – Secteur 9 – Flyschs bréchiqes

Concernant les efforts liés à houle qui déferle sur la falaise, un exemple de calcul mené selon la méthode de Cuomo est reporté dans le tableau ci-contre.

Il est important de noter que l'ensemble des justifications ont été menées avec des hypothèses très simplifiées, notamment en ce qui concerne la propagation de la houle, les irrégularités géométriques tant au niveau de la paroi (inclinaison, régularité et rugosité) que des fonds (pente et rugosité), ainsi que des phénomènes non pris en compte (notamment les galets charriés par les vagues qui accentuent l'impact sur la paroi). Nous nous attacherons donc seulement à l'analyse des ordres de grandeur.

Les coefficients de sécurité obtenus, de l'ordre de 5 à 6, sont supérieurs à ceux retenus pour la portance des semelles superficielles ($F > 2,5$ à 3) et la stabilité des pentes ($F > 1,5$).

Il apparaît donc, à l'instar des résultats obtenus pour la houle non déferlante, une marge de sécurité importante vis-à-vis des glissements d'ensemble de la falaise. En revanche, on peut s'attendre à des effets plus locaux qui résideraient en de la fatigue du massif, conduisant à sa bréchification puis des désolidarisations de blocs, dont les effets cumulés peuvent conduire aux reculs importants déjà observés.

→ Stabilité des parois – Mécanisme d'érosion

Sur certains secteurs, le pied de falaise est constitué de flyschs remaniés issus d'anciens effondrements (voir par exemple les secteurs 6 et 7), dans ces conditions la stabilité s'analyse par analogie avec la stabilité à la houle des enrochements.

Parmi les formules empiriques usuelles retenues pour l'évaluation de la stabilité à la houle des carapaces en enrochements, celle de Hudson, qui permet de dimensionner la masse M des blocs d'enrochement, semble fournir les meilleurs retours d'expérience. Elle s'énonce comme suit :

$$M = \frac{\rho_s H^3}{K_d \left(\frac{\rho_s}{\rho_e} - 1\right)^3 \cot(\theta)}$$

où	M	masse minimale des enrochements de la carapace
	H	hauteur crête à creux de la houle incidente
	ρ_s	masse volumique des matériaux de l'enrochement ($\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$)
	ρ_e	masse volumique de l'eau ($\rho_e = 1028 \text{ kg/m}^3$)
	θ	angle du talus sur l'horizontale $\theta = \pi/2 - \beta$
	K_d	coefficient adimensionnel issu de l'expérience

Les calculs menés pour les secteurs 6 et 7 sont reportés dans le tableau plus bas (tableau "calcul de la stabilité du pied de falaise – secteur n° 6 et 7).

Le coefficient K_d a été défini historiquement sur la base d'essais en laboratoire (modèles réduits), les valeurs diffèrent dans la bibliographie selon le type d'enrochement ou de bloc, le caractère anguleux ou encore l'agencement entre-eux des enrochements. Ce coefficient peut aussi être réduit en fonction du niveau de dommage accepté.

Pour une houle régulière, le Rock Manual recommande de réaliser le dimensionnement en retenant la houle de projet $H_{1/10}$ ($= 1,27 H_s$ avec H_s la houle significative approximativement égale à $H_{1/3}$) et de retenir, pour les houles qui déferlent au large, $K_d = 2$. On trouve, sous ces hypothèses, que les enrochements stables sont ceux présentant une masse supérieure à 4,5 tonnes (volume équivalent : $0,8 \times 1,5 \times 1,5 \text{ m}^3$). Cette valeur tient compte implicitement de la sécurité souhaitée pour ce type d'ouvrage, il apparaît donc, qu'à long terme, les blocs inférieurs

à ces dimensions sont instables. Ces résultats sont cohérents avec l'effacement rapide des blocs effondrés du secteur 6 (a priori blocométrie estimée inférieure à 1m^3).

Plus Hautes Mers Astronomiques (PHMA – 2,83 m NGF + surcote)														
Houlographe			Résolution		CEM 2008 (au point de déferlement)				Andersen & Fredsøe	Hudson				
Période de retour (années)	$H_{1/3}$ au large (m)	T_{avd} (s)	λ_0 (m)	C_0 (m/s)	H_B (m)	$(\eta + h)_B$ (m)	h_B (m)	Dist. à la paroi du pt déferlem ^t (m)	H_{paroi} après déferlement (m)	h_w (m)	θ (rad)	K_d	M (kg)	V (m^3)
-	4,57	9	105,21	11,69	4,79	7,80	5,40	86	2,52	2,83	0,70	2,00	4507	1,70
1 an	6,74	10	121,24	12,12	6,73	11,08	7,72	148	3,01	3,28	0,70	2,00	7757	2,93
5 ans	7,99	13	167,57	12,89	8,22	13,17	9,06	188	3,32	3,43	0,70	2,00	10334	3,90
10 ans	8,54	15	197,53	13,17	8,96	14,18	9,69	207	3,46	3,48	0,70	2,00	11678	4,41
20 ans	9,09	16	212,33	13,27	9,56	15,07	10,29	225	3,57	3,53	0,70	2,00	12875	4,86
30 ans	9,37	17	227,03	13,35	9,87	15,48	10,55	232	3,65	3,58	0,70	2,00	13728	5,18
100 ans	12	20	270,72	13,54	12,53	19,58	13,32	323	4,06	3,63	0,70	2,00	18891	7,13

Tableau 11 : Calcul de la stabilité du pied de falaise (mécanisme d'érosion) – Secteurs 6 et 7

Sur le secteur 7, le suivi de la butée de pied est rendu difficile par l'évolution globale du secteur, avec sans doute une alimentation « par le haut » de la falaise et le poinçonnement en pied (zone active et glissement en cours). On note toutefois que la concavité du trait de côte à cet endroit peut jouer un rôle favorable quant à la protection vis-à-vis des effets de la houle.

Sur le secteur 14, siège de l'effondrement du 29 octobre 2020, il serait intéressant de procéder à un suivi de la zone effondrée afin d'identifier la blocométrie qui délimite les domaines « stables » et « instables ».

7.3 - PRISE EN COMPTE DES CUMULS MAREES ET HOULES

On observe que les efforts liés à la houle non déferlante dépendent linéairement de la hauteur d'eau au niveau de la paroi, elle-même dépendante de la conjonction des niveaux de marée et de houle au large. Concernant la houle déferlante la dépendance est polynomiale (trinôme du second degré de la hauteur). Il y a donc intérêt à explorer plus en avant les effets des cumuls de la houle sur la marée, on introduit à cet effet, un indice de l'activité marine définit, pour chaque mois de l'année, comme la moyenne pondérée de somme de la hauteur de déferlement (H_b) et de la hauteur d'eau au pied de la paroi (D) définie par le niveau de pleine de marée.

La hauteur de déferlement est calculée selon le CEM 2008 en considérant, pour chaque mois de l'année, le fractile à 5% de la hauteur de houle caractéristique ($H_{1/3; 95\%}$) et la période moyenne (T_{avd}) mesurées au houlomètre.

Fréquence des coefficients et principaux marnages (année 2020)							Houle caractéristique	
coeff	40	60	90	110	114	Total /mois	H _{1/3-95%} (m)	T _{avd} (s)
PM (CM)	3,45	3,84	4,47	4,80	4,90			
Moyen (CM)	2,52	2,51	2,56	2,59	2,49			
BM (CM)	1,60	1,17	0,66	0,38	0,08			
a (m)	1,85	2,67	3,81	4,42	4,82			
janv.-20	8	24	30	0	0	62	4,5	9
févr.-20	10	17	24	7	0	58	5	10
mars-20	12	19	22	3	6	62	4	9
avr.-20	13	17	21	3	6	60	2,5	7
mai-20	10	24	21	7	0	62	2,5	6
juin-20	7	25	28	0	0	60	2	5,5
juil.-20	8	24	30	0	0	62	1,5	5,5
août-20	9	23	25	5	0	62	2	6
sept.-20	12	17	23	4	4	60	2,5	7
oct.-20	14	15	24	4	5	62	3	8
nov.-20	11	19	22	8	0	60	4	8
déc.-20	7	26	29	0	0	62	4	10
Fréq. Totale	121	250	299	41	21	732		
% occurrence	16,5	34,2	40,8	5,6	2,9			
D (m NGF)	1,27	1,67	2,30	2,63	2,73			

Tableau 12 : Caractéristiques mensuelles moyennes de la houle et de la marée

Les hauteurs moyennes calculées ($H_b + D$) sont reportées sur le graphique ci-dessous :

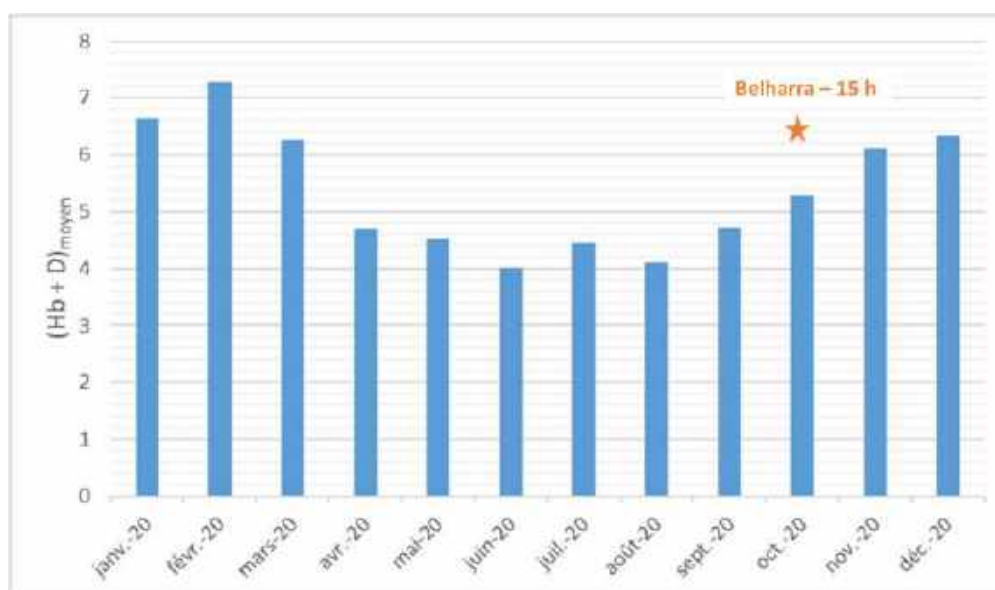


Figure 63 : Hauteurs de calcul moyennes de la houle

L'analyse confirme que l'hydrodynamisme marin est le plus actif en hiver, notamment en janvier et février. Il est également possible de positionner l'épisode « Belharra » qui est concomitant de l'effondrement marquant du 29 octobre 2020 à 16h00. L'étalement de la marée, aux alentours de 15 h 00 conduit à une hauteur de l'ordre de 6,35 m, supérieure à la moyenne du mois et très proche des hauteurs maximales théoriques annuelles des mois de janvier et février (où l'hydrodynamisme est le plus actif). On note par ailleurs, que la hauteur maximale mesurée de Belharra au large (de creux à creux) est de 6,55 m, valeur très supérieure au fractile à 5% de la hauteur significative maximale (5 m en février).

8- CONCLUSION

Sur une base bibliographique abondante (rapports du BRGM, suivis annuels de l'OCA, études précédentes etc.), une nouvelle campagne de reconnaissances géotechniques spécifique et un suivi d'instrumentations inclinométriques et piézométriques, le présent rapport vise à déterminer la sensibilité aux instabilités des falaises de la route de la Corniche (RD 912) sur la commune de Urrugne, entre Socoa et Hendaye.

Compte-tenu de l'ampleur de la tâche qui aurait consisté à analyser exhaustivement l'ensemble de l'itinéraire, et sans perdre en pertinence vis-à-vis de la question posée, la présente étude s'est focalisée sur 5 tronçons reconnus comme prioritaires et qui correspondent aux 5 tronçons de niveau d'exposition aux aléas naturels « très forts » définis en 2009 dans le rapport BRGM RP57301-FR.

Ont donc été spécifiquement étudiés dans le présent rapport les tronçons 7, 9, 12, 15 et 19 (tronçon 5 exclu de cette opération car étudié et surveillé spécifiquement par le Département 64).

Sur chacun d'eux, l'évaluation de la sécurité a été réalisée sur des profils dimensionnants représentatifs des zones les plus vulnérables de chaque tronçon (chacun des profils montre une configuration géotechnique spécifique).

Les modèles géotechniques et les calculs mis en œuvre ont très localement mis en évidence des coefficients de sécurité faibles ($F = 1$ à $1,05$) significatifs d'une stabilité précaire pouvant impacter la RD 912, c'est-à-dire sans marge de sécurité (PTDim 7C, 9B et 19B).

L'analyse des événements historiques significatifs (notamment tronçons 6 et 14) qui ont conduit à des reculs instantanés de l'ordre de 4 à 5 m, ainsi que l'évaluation de la stabilité générale des falaises vis-à-vis de l'hydrodynamisme marin, tendent à montrer que :

- L'action marine (conjonction de la houle et de la marée) a un impact jugé significatif sur le délitement des falaises (fatigue du massif) ;
- Les cumuls de ces délitements peuvent conduire à des ouvertures de sous-cavages et/ou formations/altération de piliers ou plaques de résistances insuffisantes et par suite à une rupture d'ensemble de la falaise (cf. événements des tronçons 6 et 14) ;

Associés au suivi des conditions pluviométriques (facteur dégradant/déclenchant difficile à quantifier sans développement d'un suivi piézométrique et pluviométrique spécifique), la surveillance et le suivi des pieds de falaise apparaissent comme nécessaires pour prévenir des dégradations des butées de pied des falaises, et anticiper les potentiels mouvements d'ampleur. On veillera alors à mettre en évidence les cumuls de dégradations, c'est-à-dire chaque année depuis une année de référence pertinente.

CLAUSES PARTICULIERES RELATIVES AUX ETUDES "GEOTECHNIQUES"

1 - Le présent rapport et ses annexes constituent un ensemble indissociable des résultats de la prestation dont le client est propriétaire. L'utilisation qui pourrait en être faite par le client, suite à une communication ou une reproduction partielle sans l'accord écrit du **Cerema**, ne saurait engager la responsabilité de ce dernier.

2 – Le Département Infrastructures se reconnaît tenu au secret professionnel et a l'obligation de discrétion pour tout ce qui concerne les faits, informations et décisions dont il a eu connaissance à l'occasion de l'exécution de la présente étude, s'interdit, notamment, toute communication écrite ou verbale à des tiers sans l'accord préalable du client. Le Département Infrastructures conserve toutefois la possibilité d'utiliser :

- pour d'autres missions, les techniques ou méthodologies nouvelles mises au point ou testées à l'occasion de la présente étude
- de façon anonyme, les résultats de l'étude, mesures ou contrôles effectués pour des tâches de caractères statistiques ou documentaire.

3 - Les prestations du Département Infrastructures engagent la responsabilité de l'Etat dans les conditions dégagées par la jurisprudence administrative. Cette responsabilité ne s'applique évidemment que dans la mesure où les prescriptions résultant de l'étude ont été intégralement retenues pour la réalisation de l'ouvrage.

3.1 - Des changements dans l'implantation, la conception ou l'importance du projet par rapport aux données de la présente étude peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du rapport et doivent par conséquent être portées à la connaissance du Département Infrastructures.

De même, des éléments nouveaux mis en évidence lors des travaux et n'ayant pu être détectés au cours des opérations de reconnaissance (par exemple : karst, gravière comblée, remblais divers, hétérogénéité localisée, venue d'eau, etc..) peuvent rendre caduques toutes ou partie des conclusions du rapport.

Ces éléments nouveaux, ainsi que tout incident important survenu au cours des travaux (glissement de talus, éboulements des fouilles, dégâts occasionnés aux constructions, existantes, etc..) doivent donc être immédiatement signalés au Département Infrastructures afin de lui permettre de reconsidérer et d'adapter éventuellement la solution initialement préconisée.

3.2 - Le Département Infrastructures ne saurait être rendu responsable des modifications apportées, par rapport aux prescriptions contenues dans le rapport d'étude, que dans la mesure où il aurait donné par écrit son accord sur lesdites modifications.

3.3 - Il est évidemment recommandé au client de faire procéder, au début du chantier, à une visite par le responsable de l'étude ou son représentant comme au moment de l'ouverture de fouilles ou de la réalisation des premiers pieux. Cette visite, qui donne lieu à un compte-rendu, a pour objet de vérifier que la nature des sols et la profondeur du niveau de fondation sont conformes aux données de l'étude.

4 - Les échantillons de sols prélevés lors des interventions in-situ, sont conservés par le Département Infrastructures pendant un mois après remise du dossier au client.

A l'issue de cette période et, si le client ne se manifeste pas, les échantillons seront mis à la décharge.

ANNEXES

ANNEXE 1

Plans d'implantation et coupes de sondage

ROUTE DE LA CORNICHE – URRUGNE (64)

SONDAGES INSTRUMENTATION ET IMAGERIE DE PAROI DE FORAGE

A la demande et pour le compte de



Auteur : Thomas De Sloover
Hydrogéologue
Ingénieur d'étude
Date : 07/04/2021

Vérificateur : Vincent CAPPOEN
Hydrogéologue
Directeur
Date : 07/04/2021

SYNTHESE

La DDTM64 a missionné le bureau d'étude GEOLITHE afin d'exécuter un programme de sondages ainsi que des imageries de parois de forage sur six d'entre eux de 15 à 30 mètres de profondeur.

Cette campagne de reconnaissance s'est déroulée le long de la route départementale RD 912 sur la commune d'Urrugne et s'inscrit dans le cadre de la réalisation par le Cerema / Département Laboratoire de Bordeaux d'un diagnostic géotechnique de niveau G5 selon la norme NF P 94-500 révisée en 2006.

Les sondages réalisés ont été faits par l'entreprise Temsol sous-traitant et partenaire régulier de GEOLITHE. L'exécution de ces sondages a suivi le plan fourni par la DDTM64 maître d'œuvre et maître d'ouvrage de cette opération (annexe B).

Les diagraphies par imagerie de parois orientée, réalisées au droit de ces sondages, ont été faites par l'équipe d'Hydrophy compétence de GEOLITHE en hydrogéologie et Hydrogéophysique ayant pour objectifs :

- D'obtenir une image continue orientée des parois du forage ;
- D'obtenir des renseignements sur la lithologie ;
- De connaître la direction et le pendage des strates, des failles et autres discontinuités présentes.

Les mesures permettent les commentaires suivants :

- La lithologie présente au droit des six sondages est similaire et ne varie pas en profondeur. Il s'agit d'une alternance de banc calcaire et de banc marno-calcaire de couleur noirâtre à grisâtre ;
- Les strates ont un pendage entre 30 et 50 degrés vers le Nord Est (N300-N320) ;
- Sur le sondage SD19B, les strates s'inclinent légèrement différemment que sur les 5 autres sondages avec un pendage moyen de 24° vers le N (N5) ;
- Les failles identifiées dans ces forages ont des pendages moyens variant de 35° à 66° vers le SE.

Dossier n°21-078				Document N° R01		
N° indice	Date	Rédacteur	Visa	Vérifié et approuvé	Visa	Nb de pages
1 ^{er} édition	07/04/2021	T. DE SLOOVER		V.CAPPOEN		9p + Annexes

SOMMAIRE

ROUTE DE LA CORNICHE – URRUGNE (64)	1
SONDAGES INSTRUMENTATION ET IMAGERIE DE PAROI DE FORAGE.....	1
SOMMAIRE	3
1.1 - Contexte – Objet de la mission	4
1.2 - Localisation de la zone d'étude	5
1.3 - Localisations des sondages	6
1.4 - Contexte géologique	7
1.5 - Principes de l'imagerie numérique de paroi (OPTV).....	8
1.6 - Méthodologie	8
1.6.1 - Etalonnage	8
1.6.2 - Acquisition de données.....	8
1.6.3 - Traitement des données	8
1.7 - Interprétations des imageries.....	8
1.8 - Synthèse	11

1.1 - CONTEXTE – OBJET DE LA MISSION

Dans le cadre d'une mission de diagnostic géotechnique de la route de la corniche (RD912) sur la commune d'Urrugne dans le département des Pyrénées Atlantiques, plusieurs sondages ont été réalisés afin de déterminer les caractéristiques du sous-sol au droit du site et d'y installer des appareils de mesure de caractéristiques du sous-sol.

Afin de mieux comprendre la structure du massif rocheux, La DDTM a missionné la société Géolithe via son équipe HydroPhy, spécialisée en hydrogéologie et hydrogéophysique - afin de réaliser des imageries de parois de forage sur six sondages de 15 à 30 mètres de profondeur.

Ces diagraphies par imagerie de parois orientées, réalisées au droit de ces sondages permettent :

- D'obtenir une image continue orientée des parois du forage ;
- D'obtenir des renseignements sur la lithologie ;
- De connaître la direction et le pendage des strates, de la schistosité et autres discontinuités présentes.

La mission a été réalisée entre le **19 février 2021 et le 1^{er} mars 2021** par une équipe d'HydroPhy composée d'un technicien et d'un ingénieur d'étude.

Ces mesures ont été menées à la demande et pour le compte de la DDTM 64

Les reconnaissances géotechniques sont conformes au plan d'implantation délivré par le maître d'œuvre (annexe B) et les PV de forages sont disponibles en annexe C.

Les paragraphes suivants s'attachent à la mission de diagraphie commandée par la DDTM64.

1.2 - LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Cette étude a été réalisée le long de la route de la corniche (RD912) située entre Saint-Jean-de-Luz et Hendaye, sur la commune d'Urrugne dans le département des Pyrénées Atlantiques (64).

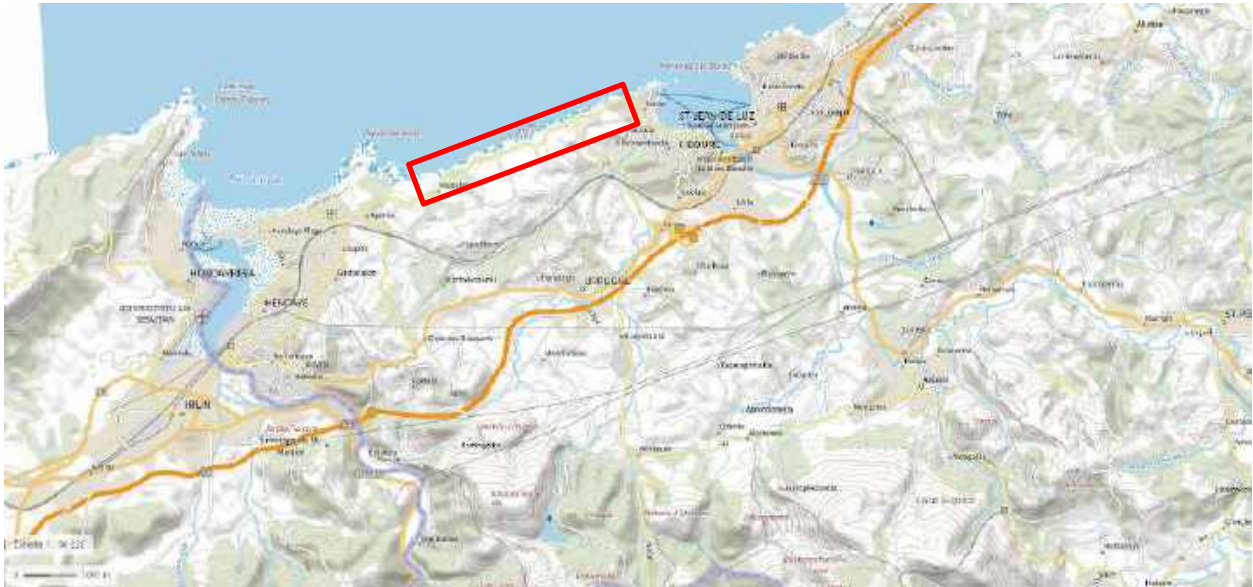


Figure 1 : Localisation du site d'étude (source : Géoportail)

1.3 - LOCALISATIONS DES SONDAGES

Les six sondages sont implantés le long de la route de la corniche (D912) comme indiqué sur la figure 2 ci-dessous.



Figure 2 : Localisation des sondages

1.4 - CONTEXTE GÉOLOGIQUE

D'après la carte géologique au 1/50 000 de Bayonne n°1001, les formations géologiques principales présentes au droit de la zone d'étude sont les Flysch à silex du Sénonien inférieur. D'après la notice de la carte géologique, cette formation comprend de gros bancs calcaires durs gréseux à lits de silex parallèles à la stratification.

En dessous de cette formation il y aurait la présence des flysch supérieur indifférencié composés de terrains moins résistants : schistes marneux, marnes conchoïdes, calcaires en plaquettes ou en bancs minces.

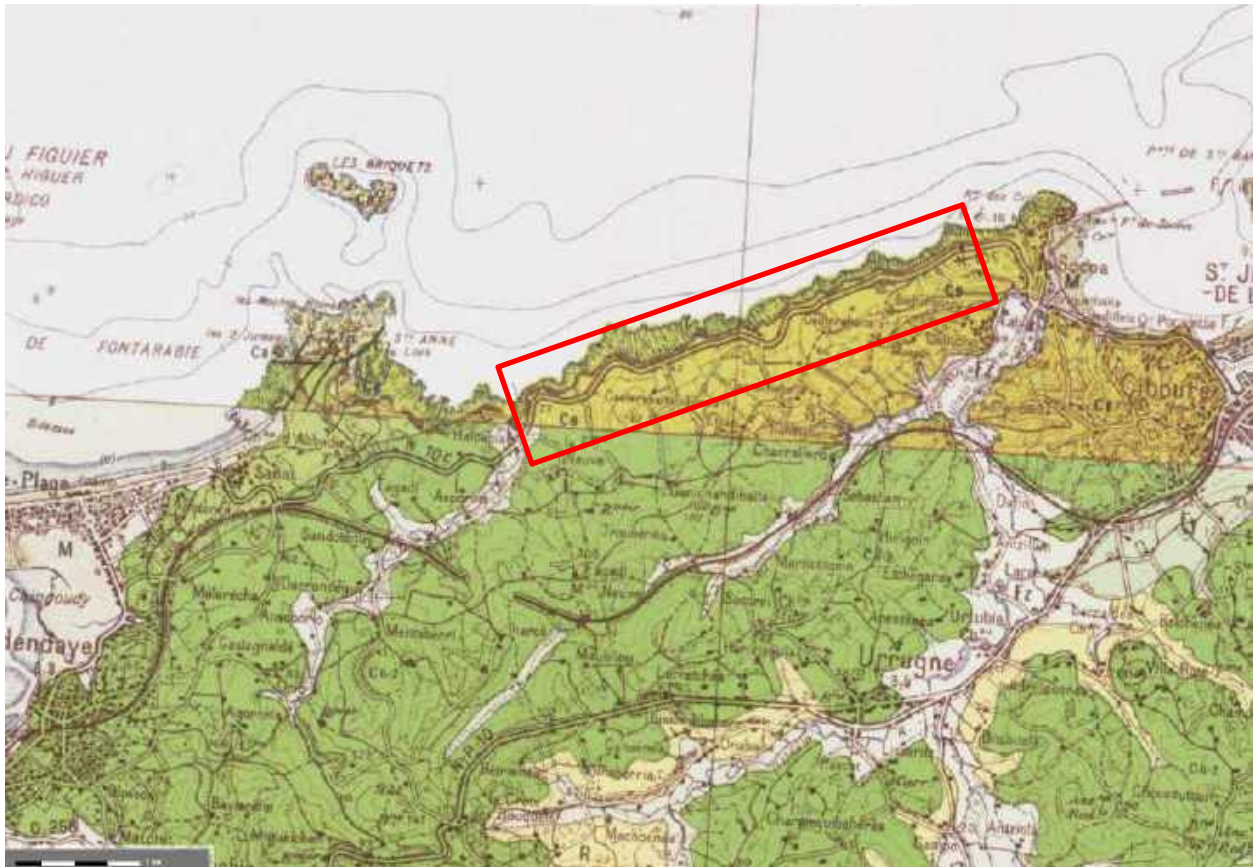


Figure 3 - Contexte géologique - extrait de la carte géologique 1/50000 de Bayonne n°1001 (source : Infoterre)

1.5 - PRINCIPES DE L'IMAGERIE NUMÉRIQUE DE PAROI (OPTV)

L'imagerie de paroi des forages a été réalisée avec une sonde OBI52 Electromind (Imageur/trajectométrie). Cette sonde constitue la technologie la plus avancée dans le domaine de la diagraphie d'imagerie en forage.

La sonde OBI52 Electromind produit une image orientée continue 360° haute résolution de la paroi des forages. L'imagerie de paroi OPTV peut remplacer avantageusement une campagne de sondages carottés quand des essais mécaniques ne sont pas systématiquement nécessaires. Elle permet en outre, grâce à ses capteurs d'orientation d'image, d'établir simultanément la trajectoire précise du forage ausculté.

L'équipement complet est constitué par :

- Une sonde OPTV OBI52 Electromind ;
- Un treuil ROBERSTON GEOLOGGING avec câble électroporteur de 175 mètres ;
- Un codeur optique de distance ;
- Une unité d'acquisition Electromind ;
- Un ordinateur portable Panasonic Toughbook CF31 avec logiciel d'acquisition Electromind.

1.6 - MÉTHODOLOGIE

1.6.1 - Etalonnage

La sonde OBI52 Electromind est équipée de capteurs étalonnés sur banc par le constructeur. Aucun étalonnage sur site n'est nécessaire permettant une durée minimum d'installation.

La résolution, le contraste et l'éclairage sont réglés et adaptés pour chaque forage en fonction de la nature des formations rencontrées durant l'acquisition.

1.6.2 - Acquisition de données

Les données OPTV sont acquises en continu le long du forage avec un pas d'enregistrement de 0.25 mm à 0.40 mm en fonction de la vitesse d'avancement qui est de l'ordre de 1 à 2 m/min.

L'acquisition est réalisée deux fois : une première fois de la surface vers le fond de l'ouvrage puis une deuxième fois du fond vers la surface. L'image retenue pour l'analyse est celle qui est de meilleure qualité.

L'image développée du forage ainsi que les données d'inclinaison et d'azimut sont affichées en temps réel sur l'écran du PC de contrôle.

1.6.3 - Traitement des données

Le traitement des données a consisté à :

- Améliorer la qualité de l'image (orientation, luminosité et contraste, netteté...);
- Importer sous WellCad les images obtenues et les fichiers LAS annexes (données d'orientation, champs magnétiques et RAN) ;
- Créer une image en 3D à partir de la vue développée ;
- Pointer et analyser les discontinuités identifiées ;
- Effectuer une analyse géostatistique des discontinuités (représentation de Wulff – hémisphère inférieure).

1.7 - INTERPRÉTATIONS DES IMAGERIES

L'auscultation des forages a été réalisée au fur et à mesure en suivant l'avancement des travaux de forage et s'est donc étalé sur une période d'une semaine et demie.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques principales des six sondages auscultés :

	Date investigation	Profondeur théorique	Profondeur investiguée	Inclinaison moyenne mesurée	Azimut moyen mesurée
SD7A	19/02/2021	30m	21,5m	2,55°	N79
SD9A	23/02/2021	30m	27,9m	5,43°	N147
SD9B	23/02/2021	15m	23,8m	2,14°	N140
SD12	24/02/2021	30m	31,75m	3,51°	N98
SD15B	25/02/2021	20m	21,35m	2,5°	N108
SD19B	01/03/2021	20m	21,2m	1,94°	N100

Globalement, la qualité des imageries de parois relevées lors de cette campagne est bonne. Il est à noter que trois des six forages (SD7A, SD9A et SD9B) n'ont pas pu être auscultés jusqu'à leur fond à cause du manque de visibilité lié à la turbidité de l'eau présente dans ces ouvrages. De plus, dû à la présence d'argile dans certaines couches (marnes), celle-ci s'est ponctuellement collée aux parois du forage rendant l'interprétation de certaines zones approximatives.

Les terrains observés sont sensiblement similaires dans les six ouvrages :

Sous une éventuelle couche de remblais argileux de moins de cinq mètres d'épaisseur on observe une succession de bancs calcaires massifs en alternance avec des bancs de calcaires marneux de couleurs noirâtre à grisâtre. Les strates sont généralement épaisses de quelques dizaines de centimètres mais peuvent atteindre plus d'1,5 mètres d'épaisseur.

Plusieurs types de discontinuités ont pu être relevés sur chaque sondage et leur direction et pendage ont été identifiés via le logiciel Wellcad. Pour chaque forage, il a donc été établi un stéréogramme de Wulff afin de réaliser une interprétation géostatistique de ces discontinuités. Le tableau ci-dessous résume les résultats de l'étude géostatistique des discontinuités relevées dans chaque forage :

	Stratification		Failles ouvertes identifiées		
	Azimut moyen	Pendage moyen	Nombre	Azimut moyen	Pendage moyen
SD7A	N320	49°	8	N98-N156	35°-50°
SD9A	N320	53°	6	N152	38°
SD9B	N318	47°	14	N138	44°
SD12	N303	33°	32	N157-N325	54°-66°
SD15B	N330	29°	14	N155-N163	47°-65°
SD19B	N5	24°	23	N33-N354	34°-60°

La stratification est globalement similaire entre les ouvrages avec un pendage entre 30 et 50 degré vers le Nord Est (N300-N320). Néanmoins, il existe une légère différence sur le sondage SD19B dans lequel les strates ont un pendage moyen moins pentu et plus orienté vers le Nord.

Les failles identifiées dans ces forages ont des pendages moyens variant de 35° à 66° vers le NE-N.

Le diagramme de Wulff ci-dessous illustre la répartition en termes de directions et pendages de toutes les discontinuités relevées dans les 6 sondages. Ce diagramme permet de montrer deux pôles bien distincts :
le premier, très dense, englobant majoritairement la stratification ; le deuxième, un peu moins marqué, englobant majoritairement des failles. Ces deux pôles sont de direction opposée.

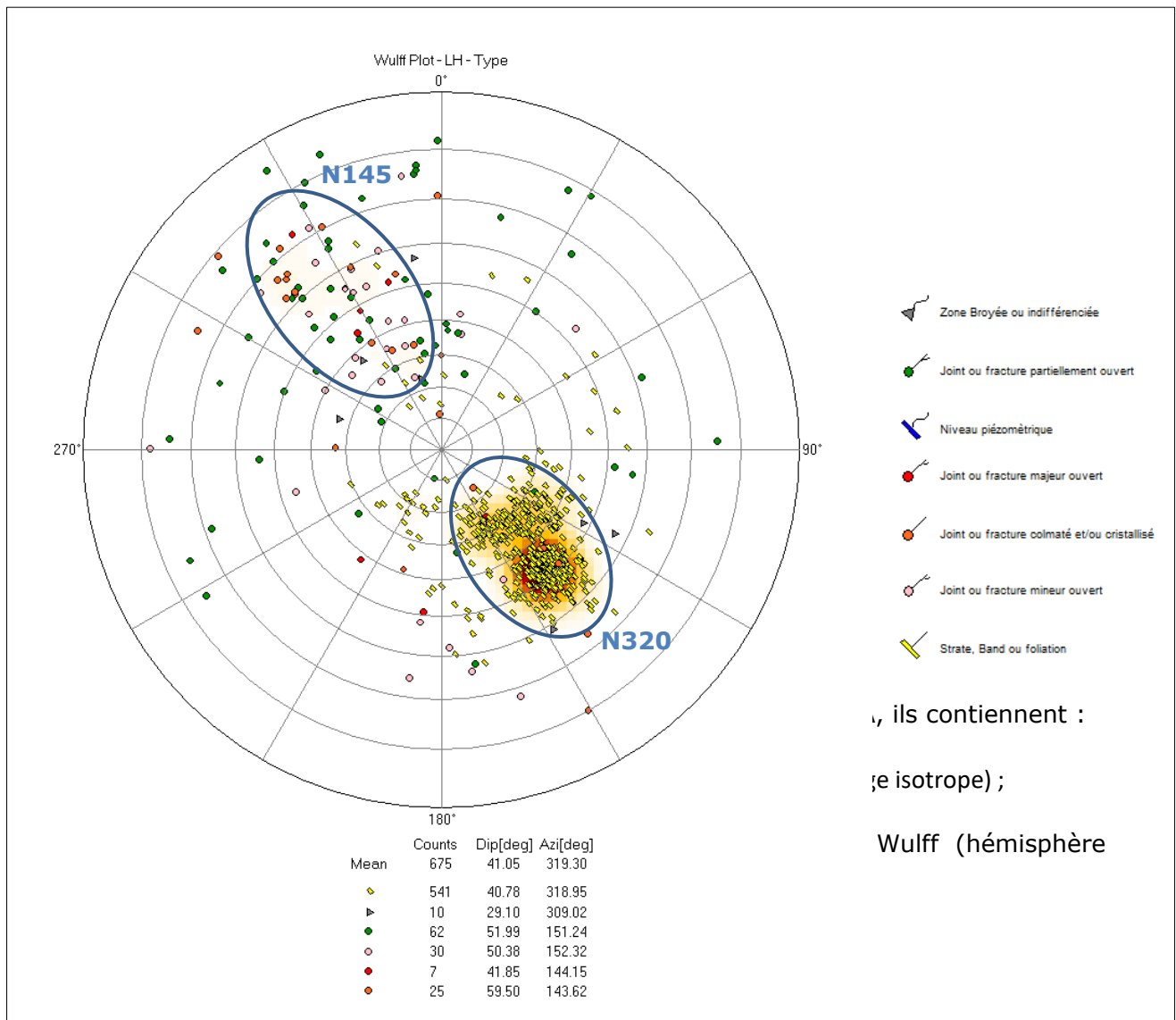


Figure 4 : Stéréogramme de Wulff illustrant le pendage et la direction de toutes les discontinuités relevées sur les six sondages et montrant les 2 pôles de densité principaux

1.8 - SYNTHÈSE

Dans le cadre des travaux de consolidation et de surveillance de stabilisation des terrains à proximité de la route de la corniche (D912) sur la commune d'Urrugne dans le département des Pyrénées Atlantiques, la DDTM a missionné HydroPhy afin de réaliser des imageries de parois de forage sur six sondages de 15 à 30 mètres de profondeur. Les diagraphies par imagerie de parois orientée, réalisées au droit de ces sondages, ont pour objectifs :

- D'obtenir une image continue orientée des parois du forage ;
- D'obtenir des renseignements sur la lithologie ;
- De connaître la direction et le pendage des strates, des failles et autres discontinuités présentes.

Les mesures permettent les commentaires suivants :

- La lithologie présente au droit des six sondages est similaire et ne varie pas en profondeur. Il s'agit d'une alternance de banc calcaire et de banc marno-calcaire de couleur noirâtre à grisâtre ;
- Les strates ont un pendage entre 30 et 50 degré vers le Nord Est (N300-N320) ;
- Sur le sondage SD19B, les strates s'inclinent légèrement différemment que sur les 5 autres sondages avec un pendage moyen de 24° vers le N (N5) ;
- Les failles identifiées dans ces forages ont des pendages moyens variant de 35° à 66° vers le SE.

Annexe A :

Logs d'imagerie de paroi



SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)
PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque
AFFAIRE N° : 21-076
INTERLOCUTEUR : Jean Noel MAGIS
ADRESSE : 7 avenue Maréchal
64100 BAYONNE

OPERATEUR(S) : R.MAGNAT
DATE : 19/02/2021
METEO :

SD7A

PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE
FORMATION : Carste
DIAMETRE : 115mm
LONGUEUR : 30m
AZIMUT :
INCLINAISON (verticale) : 0-1° verticale
EQUIPEMENT : Tubage acier de 1 à 3m
PIEZOMETRE : 19.26m

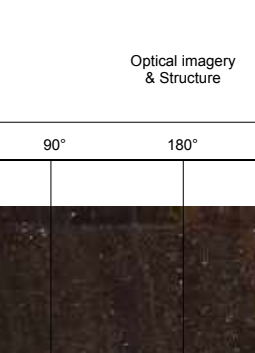
PARAMETRES DIAGRAPHIE
CAPTEUR : Electromd OBI S2
PROFONDEUR ATTEINTE : 21.6m
SENS DE LA MESURE : Descente
PAS DE LA MESURE : 0.01m
AZIMUT MOYEN : 78.7°
INCLINAISON MOYENNE : 2.55° verticale
DECLINAISON MAGNETIQUE :

COMMENTAIRES Inspection stoppé à 27.9m en accord avec le client à cause de l'eau trouble et du risque d'effondrement du forage

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND) (Révisé)

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :		POSITION DU SONDAGE CALCULÉ AU FOND :	
Relative	Géographique	Relative	Géographique
X - Est :		X - Est (en fond) :	
Y - Nord :		Y - Nord (en fond) :	
Z - Altitude :		Z - Altitude (en fond) :	

Maître d'ouvrage :



Mandataire opération :

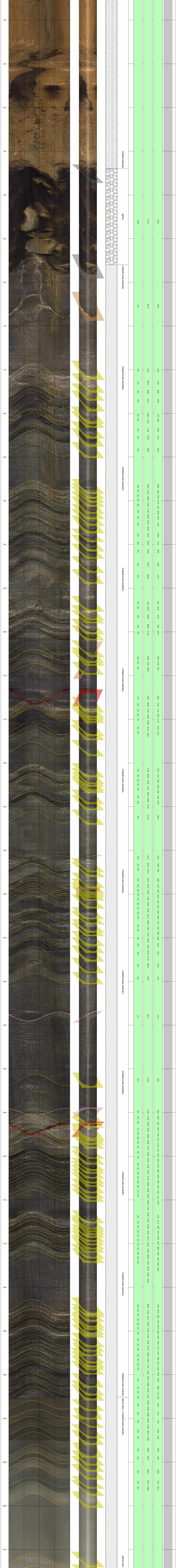


**REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Pontage des structures & ouverture**

LEGENDE : STRUCTURALE

- Zone Broyée ou indifférenciée
- Joint ou fracture majeur ouverte
- Joint ou fracture mineur ouverte
- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Joint ou fracture comaté étou cristallin
- Strats. Band ou foliation
- Niveau piézométrique

LEGENDE : RMR 89



Profondeur (m)	AZIMUT	Piezage	TMOG
0.00			
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			
0.25			
0.30			
0.35			
0.40			
0.45			
0.50			
0.55			
0.60			
0.65			
0.70			
0.75			
0.80			
0.85			
0.90			
0.95			
1.00			
1.05			
1.10			
1.15			
1.20			
1.25			
1.30			
1.35			
1.40			
1.45			
1.50			
1.55			
1.60			
1.65			
1.70			
1.75			
1.80			
1.85			
1.90			
1.95			
2.00			
2.05			
2.10			

SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque
AFFAIRE N° : 21-078
INTERLOCUTEUR : Jean Noel MAGIS
ADRESSE : 7 chemin marouette
64100 BAYONNE

SONDAGE N° :
OPERATEUR(S) : R.MAGNAT
DATE : 19/02/2021
METEO :

SD7A

PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

FORATION : Carroté
DIAMETRE : 115mm
LONGUEUR : 30m
AZIMUT :
INCLINAISON / verticale : 0-1° / verticale
EQUIPEMENT : Tubage acier de 1 à 3m
PIEZOMETRIE : 19.26m

PARAMETRES DIAGRAPHIE

CAPTEUR : Electromind OBI 52
PROFONDEUR ATTEINTE : 21.50m
SENS DE LA MESURE : Descente
PAS DE LA MESURE : 0.01m
AZIMUT MOYEN : 78.75°
INCLINAISON MOYENNE : 2.55° / verticale
DECLINAISON MAGNETIQUE :

COMMENTAIRES Inspection stoppé à 27.9m en accord avec le client à cause de l'eau trouble et du risque d'effondrement du forage

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND) [Référentiel :

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :		POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :	
	Relative	Géographique	
X - Est :			X - Est (en fond) :
Y - Nord :			Y - Nord (en fond) :
Z - Altitude :			Z - Altitude (en fond) :

Maitre d'ouvrage :



Mandataire opération :

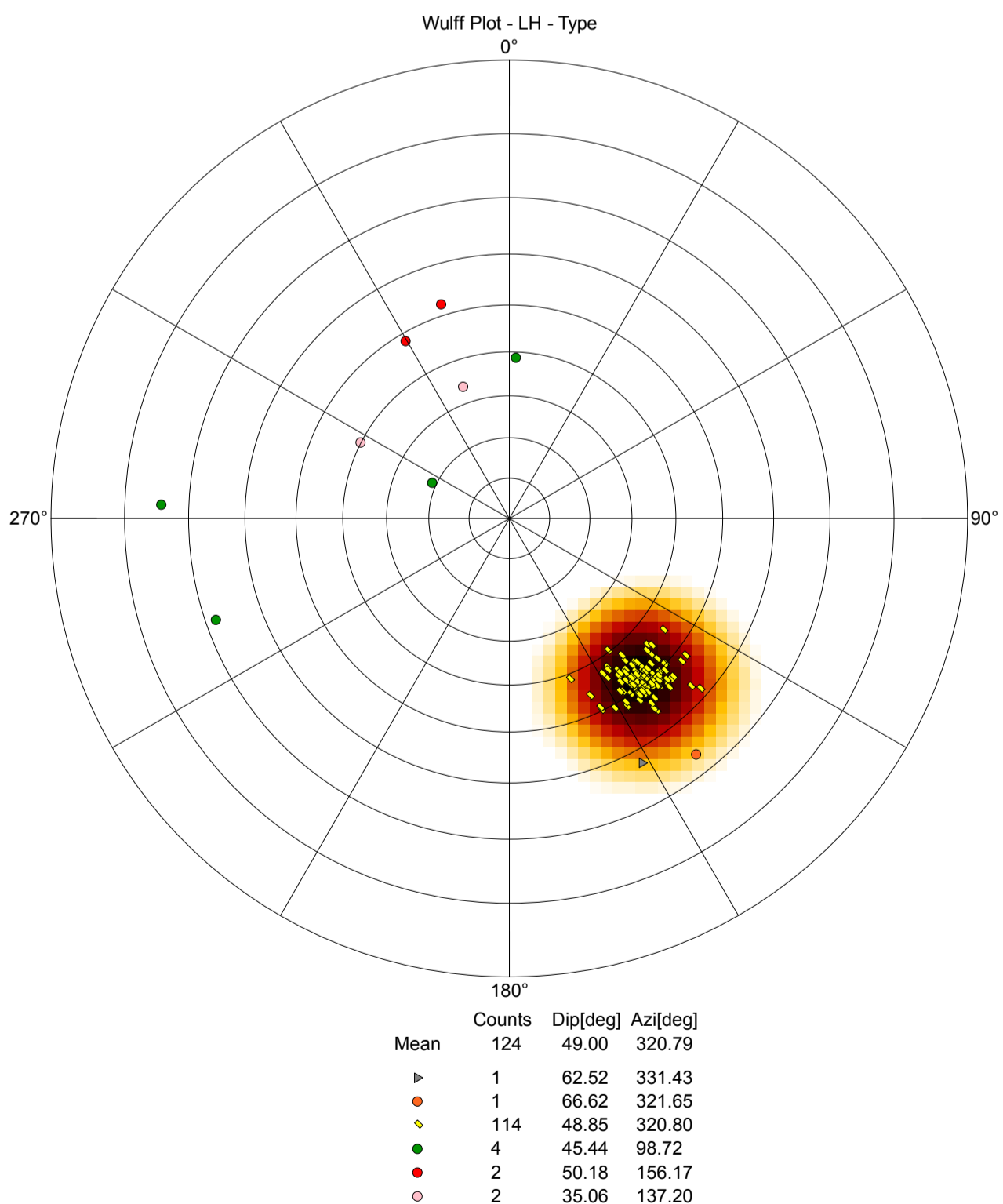


REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Stéréogramme de WULFF - Hémisphère inférieure

LEGENDE : STRUCTURALE

- Zone Broyée ou indifférenciée
- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Joint ou fracture majeur ouvert
- Joint ou fracture colmaté et/ou cristallisé
- Joint ou fracture mineur ouvert
- Strate, Band ou foliation

Wulff Plot - LH - Type



SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque
AFFAIRE N° : 21-078
INTERLOCUTEUR : Jean Noël MAGIS
ADRESSE : 7 avenue République
 64100 BAYONNE

SONDAGE N° :
OPÉRATEUR(S) : T MAMMET, R MAGNAT
DATE : 23/02/2021
MÉTRO :

SD9A

PARAMÈTRES THÉORIQUES DU SONDAGE
FORATION : Directif
DIAMÈTRE : 115mm
L'OPÉRATEUR : 20m
AZIMUT :
INCLINAISON (moyenne) : 0,17° verticale
EQUIPEMENT : Tubage PVC Øx 0,4m
PEZOMÈTRE : 25.5m

PARAMÈTRES DIAGNOSTIC
CAPTEUR : Electromet CRI 52
PROFONDEUR ATTENTE : 27.5m
SENS DE LA MESURE : Vers le bas
PAS DE LA MESURE : 0,01 m
AZIMUT MOYEN : 0,42°
INCLINAISON MOYENNE : 0,42° verticale
DECLINAISON MAGNÉTIQUE :

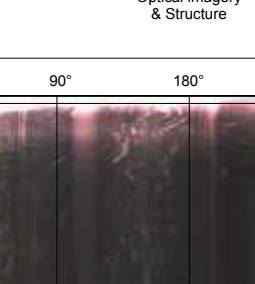
COMMENTAIRES : Inspection stoppé à 27.5m -> Eau trouble.

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND)

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :
 X - Est :
 Y - Nord :
 Z - Altitude :

POSITION DU SONDAGE CALCULÉ AU FOND :
 X - Est (en fond) :
 Y - Nord (en fond) :
 Z - Altitude (en fond) :

Maitre d'ouvrage :



Mandataire opération :

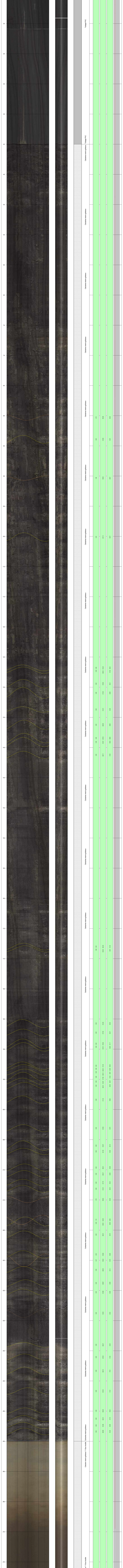


REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Pontage des structures & ouverture

LEGENDE : STRUCTURALE

- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Solite, band ou foliation
- Niveau géométrique

LEGENDE : RMR 89



SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque
AFFAIRE N° : 21-078
INTERLOCUTEUR : Jean Noel MAGIS
ADRESSE : 7 chemin marouette
64100 BAYONNE

SONDAGE N° :
OPERATEUR(S) : T.MAMMET - R.MAGNAT
DATE : 23/02/2021
METEO :

SD9A

PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

FORATION : Destructif
DIAMETRE : 115mm
LONGUEUR : 30m
AZIMUT :
INCLINAISON / verticale : 0-1° / verticale
EQUIPEMENT : Tubage PVC de 0 à 4m
PIEZOMETRIE : 25.5m

PARAMETRES DIAGRAPHIE

CAPTEUR : Electromind OBI 52
PROFONDEUR ATTEINTE : 21.50m
SENS DE LA MESURE : Descente
PAS DE LA MESURE : 0.01m
AZIMUT MOYEN : 147.25°
INCLINAISON MOYENNE : 5.43° / verticale
DECLINAISON MAGNETIQUE :

COMMENTAIRES Inspection stoppé à 27.9m -> Eau trouble.

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND) [Référentiel :

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :		POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :	
	Relative	Géographique	
X - Est :			X - Est (en fond) :
Y - Nord :			Y - Nord (en fond) :
Z - Altitude :			Z - Altitude (en fond) :

Maitre d'ouvrage :



Mandataire opération :

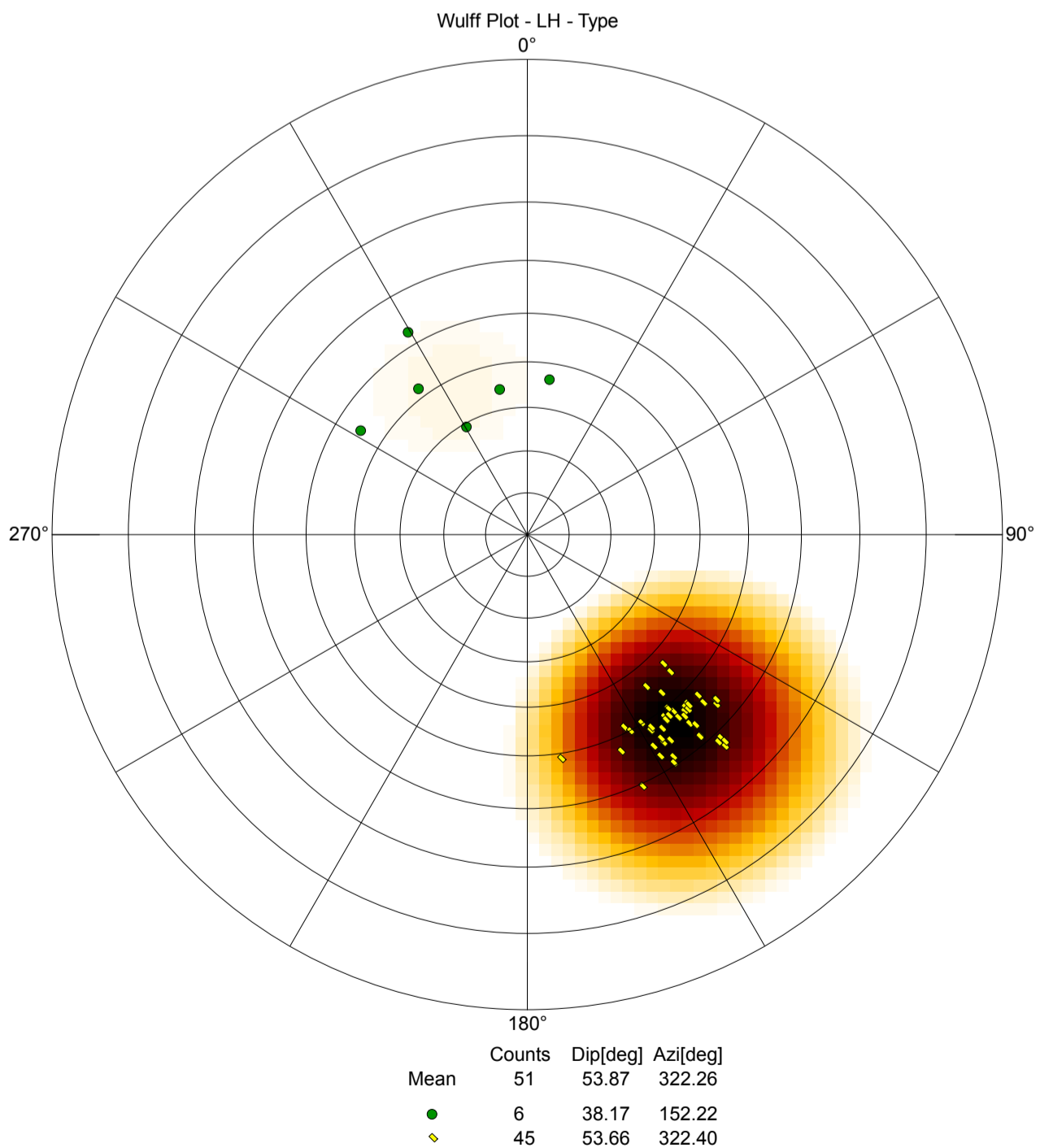


REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Stéréogramme de WULFF - Hémisphère inférieure

LEGENDE : STRUCTURALE

● Joint ou fracture partiellement ouvert ◆ Strate, Band ou foliation

Wulff Plot - LH - Type



SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque
AFFAIRE N° : 21-078
INTERACTEUR : Jean Noël MAGIS
ADRESSE : 7 chemin manuelle
64100 BAYONNE

SONDAGE N° :
OPÉRATEUR(S) : T.MAMMET - R.MAGNAT
DATE : 23/02/2021
MÉTÉO :

SD9B

PARAMÈTRES THÉORIQUES DU SONDAGE
FORATION : Directif
DIAMÈTRE : 115mm
LONGUEUR : 15m
AZIMUT :
INCLINAISON / verticale : 0.1° / verticale
EQUIPEMENT : Tissage PVC de Ø 8.2.5m
PIEZOMÈTRE : 23.03m

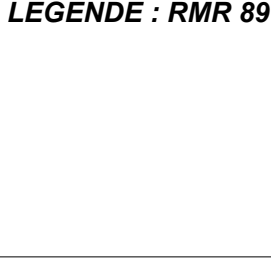
PARAMÈTRES DIAGRAPHIE
CARTEUR : Electromini ORI 52
PROFONDEUR ATTENTE : 23.8m
SENS DE LA MESURE : Croisement
PAS DE LA MESURE : 0.01 m
AZIMUT MOYEN : 140.28° / verticale
INCLINAISON MOYENNE : 2.14°
DECLINAISON MAGNÉTIQUE :

COMMENTAIRES : Inspection stoppé à 23.8m - Eau trouble.

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND)

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :		POSITION DU SONDAGE CALCULÉ AU FOND :	
Relative		Relative	
Géographique		Géographique	
X - Est :		X - Est (en fond) :	
Y - Nord :		Y - Nord (en fond) :	
Z - Altitude :		Z - Altitude (en fond) :	

Maitre d'ouvrage :



Mendataire opération :

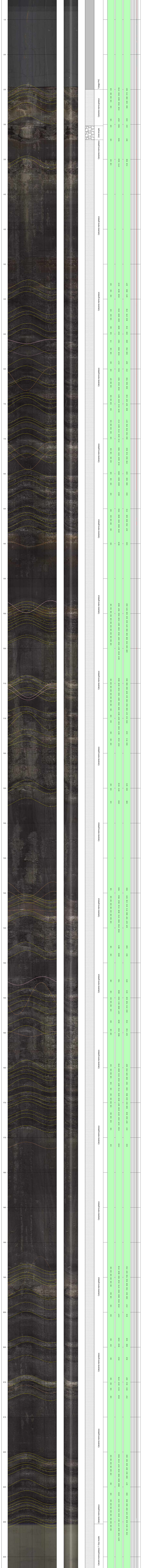


**REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Pontage des structures & ouverture**

LEGENDE : STRUCTURALE

- Zone Broyée ou indifférenciée
- Joint ou fracture minore ouverte
- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Joint ou fracture coiffée et/ou cristallisé
- Strate, Band ou foliation
- Niveau piézométrique

LEGENDE : RMR 89



SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque

AFFAIRE N° : 21-078

INTERLOCUTEUR : Jean Noel MAGIS

ADRESSE : 7 chemin marouette
64100 BAYONNE

SONDAGE N° :

SD9B

OPERATEUR(S) : T.MAMMET - R.MAGNAT

DATE : 23/02/2021

METEO :

PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

FORATION : Destructif
DIAMETRE : 115mm
LONGUEUR : 15m
AZIMUT :
INCLINAISON / verticale : 0-1° / verticale
EQUIPEMENT : Tubage PVC de 0 à 2.5m
PIEZOMETRIE : 23.03m

PARAMETRES DIAGRAPHIE

CAPTEUR : Electromind OBI 52
PROFONDEUR ATTEINTE : 23.8m
SENS DE LA MESURE : Descente
PAS DE LA MESURE : 0.01m
AZIMUT MOYEN :
INCLINAISON MOYENNE :
DECLINAISON MAGNETIQUE :

COMMENTAIRES Inspection stoppé à 23.8m -> Eau trouble.

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND) [Référentiel :

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :

	Relative	Géographique
X - Est :		
Y - Nord :		
Z - Altitude :		

POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :

	Relative	Géographique
X - Est (en fond) :		
Y - Nord (en fond) :		
Z - Altitude (en fond) :		

Maitre d'ouvrage :



Mandataire opération :

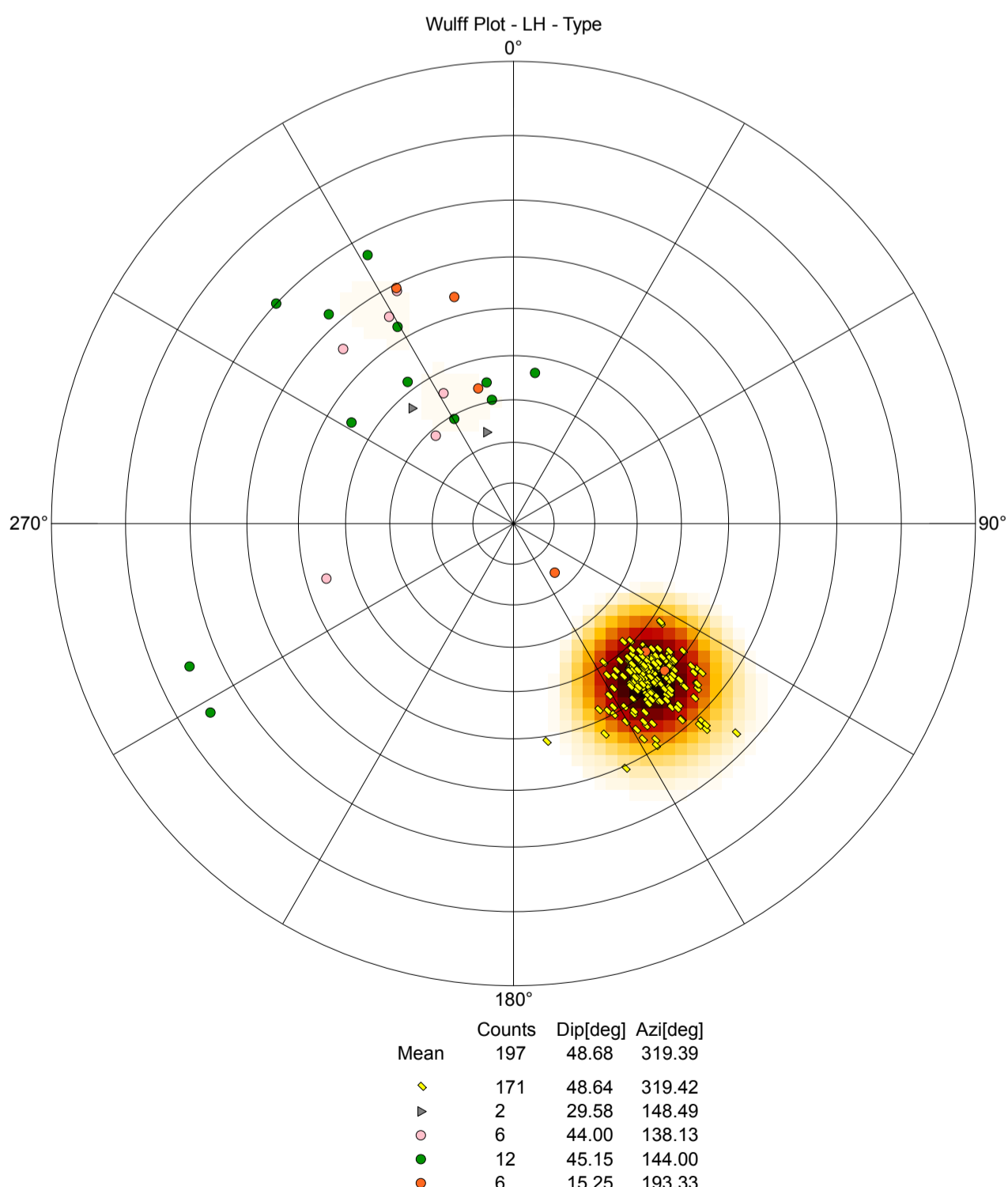


REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Stéréogramme de WULFF - Hémisphère inférieure

LEGENDE : STRUCTURALE

- Zone Broyée ou indifférenciée
- Joint ou fracture mineur ouvert
- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Joint ou fracture colmaté et/ou cristallisé
- Strate, Band ou foliation

Wulff Plot - LH - Type



SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque

AFFAIRE N° : 21-078
INTERLOCUTEUR : Jean Noel MAGIS
ADRESSE : 7 chemin marouette
64100 BAYONNE

SONDAGE N° :

SD12

OPERATEUR(S) : T.MAMMET - R.MAGNAT
DATE : 24/02/2021
METEO :

PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

FORATION : Destructif
DIAMETRE : 115mm
LONGUEUR : 30m
AZIMUT :
INCLINAISON / verticale : 0-1° / verticale
EQUIPEMENT : Tubage PVC de 0 à 2.5m
PIEZOMETRIE : Sec au moment de l'inspection

PARAMETRES DIAGRAPHIE

CAPTEUR : Electromind OBI 52
PROFONDEUR ATTEINTE : 31.84m
SENS DE LA MESURE : Descente
PAS DE LA MESURE : 0.01m
AZIMUT MOYEN : 98.68°
INCLINAISON MOYENNE : 3.51° / verticale
DECLINAISON MAGNETIQUE :

COMMENTAIRES L'inspection a atteint le fond du trou (31.84m)
On observe des arrivés d'eau à plusieurs profondeur du forage (6.4m ; 7.5m ; 11.4m)

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND) [Référentiel :

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :		POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :	
	Relative	Géographique	
X - Est :			X - Est (en fond) :
Y - Nord :			Y - Nord (en fond) :
Z - Altitude :			Z - Altitude (en fond) :

Maitre d'ouvrage :



Mendataire opération :

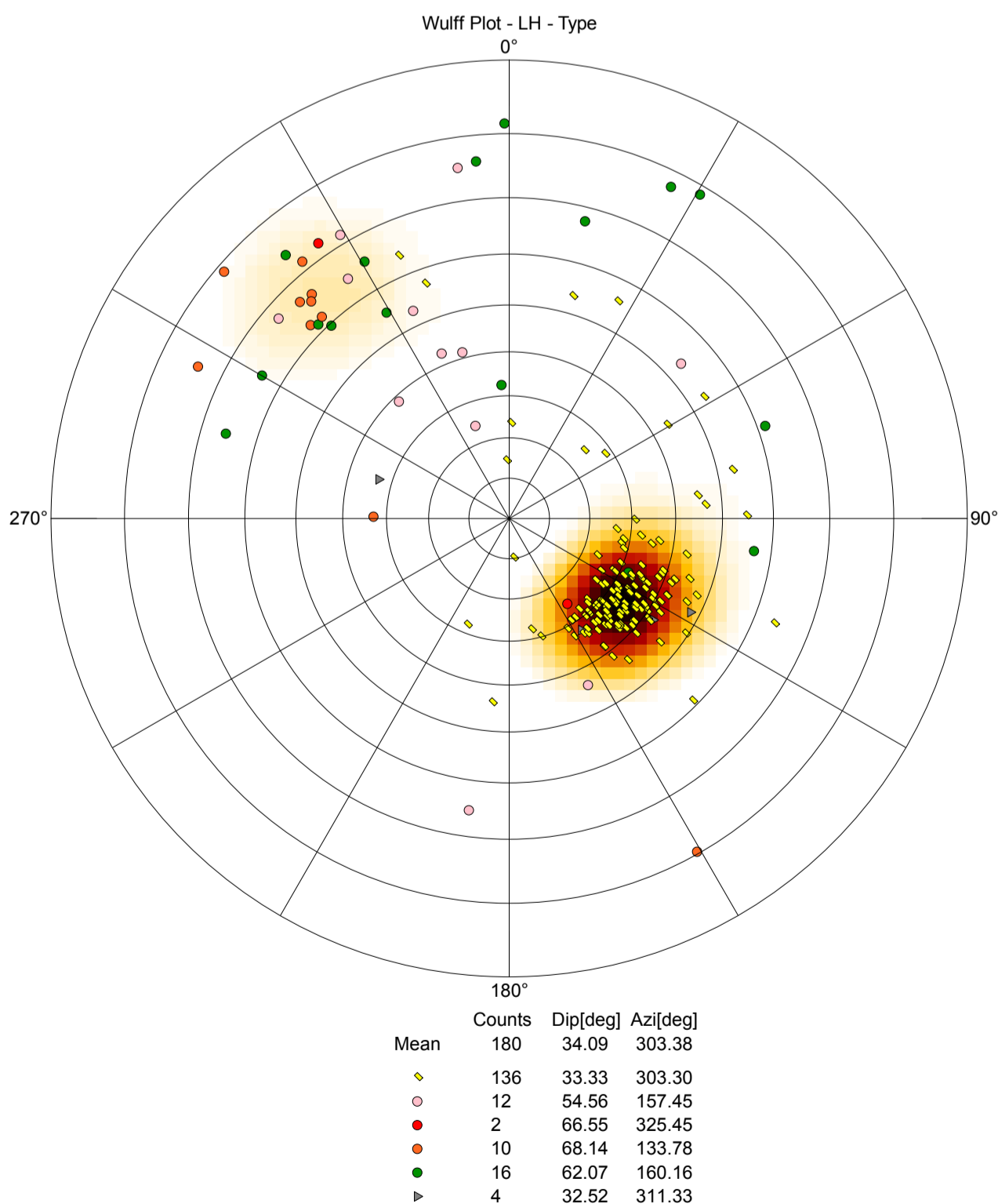


REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Stéréogramme de WULFF - Hémisphère inférieure

LEGENDE : STRUCTURALE

- Zone Broyée ou indifférenciée
- Joint ou fracture majeur ouvert
- Joint ou fracture mineur ouvert
- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Joint ou fracture colmaté et/ou cristallisé
- Strate, Band ou foliation

Wulff Plot - LH - Type



SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque

AFFAIRE N° : 21-078

INTERLOCUTEUR : Jean Noel MAGIS

ADRESSE : 7 chemin marouette
64100 BAYONNE

SONDAGE N° :

SD15B

OPERATEUR(S) : T.MAMMET - R.MAGNAT

DATE : 25/02/2021

METEO :

PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

FORATION : Destructif
DIAMETRE : 115mm
LONGUEUR : 20m
AZIMUT :
INCLINAISON / verticale : 0-1° / verticale
EQUIPEMENT : Tubage PVC de 0 à 2.5m
PIEZOMETRIE : 19.5m

PARAMETRES DIAGRAPHIE

CAPTEUR : Electromind OBI 52
PROFONDEUR ATTEINTE : 21.35m
SENS DE LA MESURE : Descente
PAS DE LA MESURE : 0.01m
AZIMUT MOYEN : 108.16°
INCLINAISON MOYENNE : 2.5° / verticale
DECLINAISON MAGNETIQUE :

COMMENTAIRES L'inspection a atteint le fond du trou (21.35m)

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND) [Référentiel :

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :

	Relative	Géographique
X - Est :		
Y - Nord :		
Z - Altitude :		

POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :

	Relative	Géographique
X - Est (en fond) :		
Y - Nord (en fond) :		
Z - Altitude (en fond) :		

Maitre d'ouvrage :



Mendataire opération :

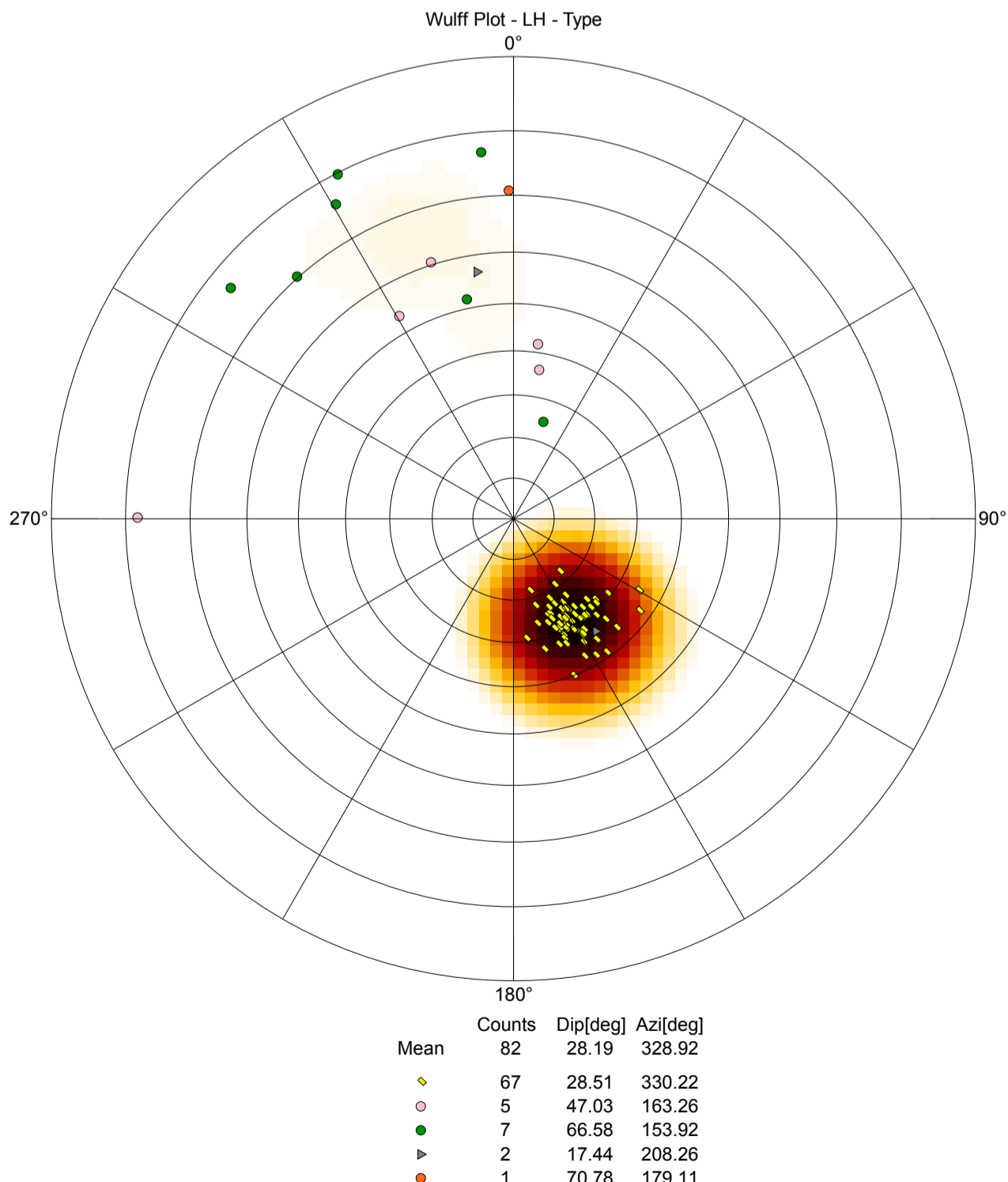


REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Stéréogramme de WULFF - Hémisphère inférieure

LEGENDE : STRUCTURALE

- Zone Broyée ou indifférenciée
- Joint ou fracture mineur ouvert
- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Joint ou fracture colmaté et/ou cristallisé
- Strate, Band ou foliation

Wulff Plot - LH - Type



SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque
AFFAIRE N° : 21-078
INTERLOCUTEUR : Jean Noel MAGIS
ADRESSE : 7 chemin marquette
64100 SAVYONE

OPERATEUR N° : ET MAMMET
DATE : 01/03/2021
METEO :

SD19B

PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE
FORMATION : Destructif
DIAMETRE : 110mm
LONGUEUR : 20m
AZIMUT :
INCLINAISON / verticale : 0.1° / verticale
EQUIPEMENT : Tubage PVC de 0 à 2.1m
PIEZOMETRIE : 19m

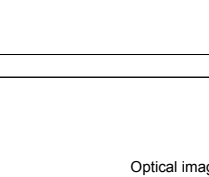
PARAMETRES DIAGRAPHE
CAPTEUR : Electromid ORI S2
PROFONDEUR ATTEINTE : 21.26m
SENS DE LA MESURE : Descende
PAS DE LA MESURE : 0.91m
AZIMUT MOYEN : 100.74°
INCLINAISON MOYENNE : 1.94° / verticale
DECLINAISON MAGNETIQUE :

COMMENTAIRES Fond ou forage atteint (21.26m)
De 9 à 5.6m les parois sont sèches / De 19 à 21.26m l'eau est trouble : interprétation impossible

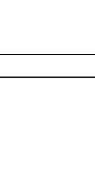
POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND) (Référer à :

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :		POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :	
Relative	Géographique	Relative	Géographique
X - Est :		X - Est (en fond) :	
Y - Nord :		Y - Nord (en fond) :	
Z - Altitude :		Z - Altitude (en fond) :	

Maitre d'ouvrage :



Mendataire opération :

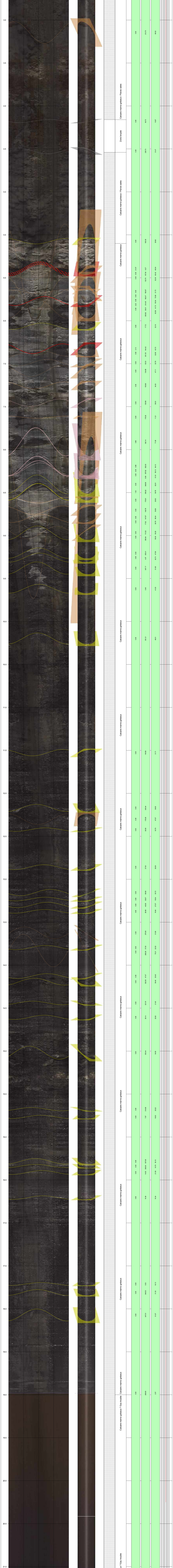


**REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Pontage des structures & ouverture**

LEGENDE : STRUCTURALE

- Zone broyée ou indifférenciée
- Joint ou fracture majeure ouverte
- Joint ou fracture mineure ouverte
- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Joint ou fracture comblée et/ou cristallisée
- Strat. band ou falaise
- Niveau piézométrique

LEGENDE : RMR 89



Depth (m)	Optical imagery & Structure	3D View & RMR 89	Lithologie	Formations	Openure (mm)	Azimat	Pavage	TMOG
0.0				Calcilite macro-gfiteux / Pénis salets / Tubage PVC				
0.5				Zone broyée	0.00			
1.0				Calcilite macro-gfiteux / Pénis salets	0.00			
1.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
2.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
2.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
3.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
3.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
4.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
4.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
5.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
5.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
6.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
6.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
7.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
7.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
8.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
8.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
9.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
9.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
10.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
10.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
11.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
11.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
12.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
12.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
13.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
13.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
14.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
14.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
15.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
15.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
16.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
16.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
17.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
17.5				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
18.0				Calcilite macro-gfiteux	0.00			
18.5				Calcilite macro-gfiteux ? Eau trouble	0.00			
19.0				Calcilite macro-gfiteux ? Eau trouble	0.00			
19.5				Calcilite macro-gfiteux ? Eau trouble	0.00			
20.0				Calcilite macro-gfiteux ? Eau trouble	0.00			
20.5				Calcilite macro-gfiteux ? Eau trouble	0.00			
21.0				Calcilite macro-gfiteux ? Eau trouble	0.00			

SITE : Route de la corniche - Urrugne (64)

PROJET : Imagerie de paroi de forages verticaux

CLIENT : DDTM pays basque

AFFAIRE N° : 21-078
INTERLOCUTEUR : Jean Noel MAGIS
ADRESSE : 7 chemin marouette
64100 BAYONNE

SONDAGE N° :

SD19B

OPERATEUR(S) : T.MAMMET
DATE : 01/03/2021
METEO :

PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

FORATION : Destructif
DIAMETRE : 115mm
LONGUEUR : 20m
AZIMUT :
INCLINAISON / verticale : 0-1° / verticale
EQUIPEMENT : Tubage PVC de 0 à 2.1m
PIEZOMETRIE : 19m

PARAMETRES DIAGRAPHIE

CAPTEUR : Electromind OBI 52
PROFONDEUR ATTEINTE : 21.26m
SENS DE LA MESURE : Descente
PAS DE LA MESURE : 0.01m
AZIMUT MOYEN : 100.74°
INCLINAISON MOYENNE : 1.94° / verticale
DECLINAISON MAGNETIQUE :

COMMENTAIRES Fond du forage atteint (21.26m)
De 0 à 5.6m les parois sont sales / De 19 à 21.26m l'eau est trouble : interprétation impossible

POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND) [Référentiel :

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :

	Relative	Géographique
X - Est :		
Y - Nord :		
Z - Altitude :		

POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :

	Relative	Géographique
X - Est (en fond) :		
Y - Nord (en fond) :		
Z - Altitude (en fond) :		

Maitre d'ouvrage :



Mendataire opération :

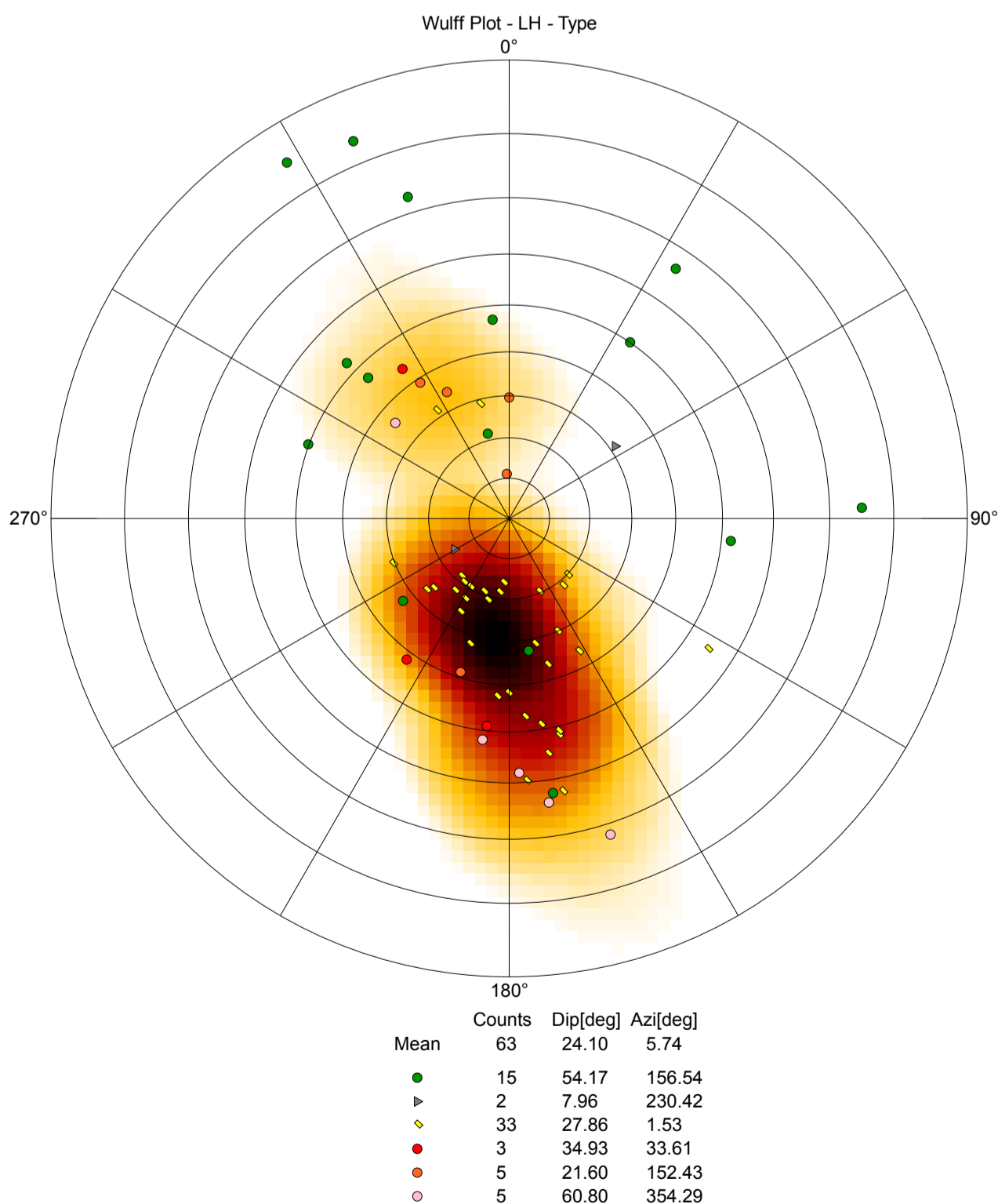


REPRESENTATION : Imagerie orientée de paroi de forage
Stéréogramme de WULFF - Hémisphère inférieure

LEGENDE : STRUCTURALE

- Zone Broyée ou indifférenciée
- Joint ou fracture majeur ouvert
- Joint ou fracture mineur ouvert
- Joint ou fracture partiellement ouvert
- Joint ou fracture colmaté et/ou cristallisé
- Strate, Band ou foliation

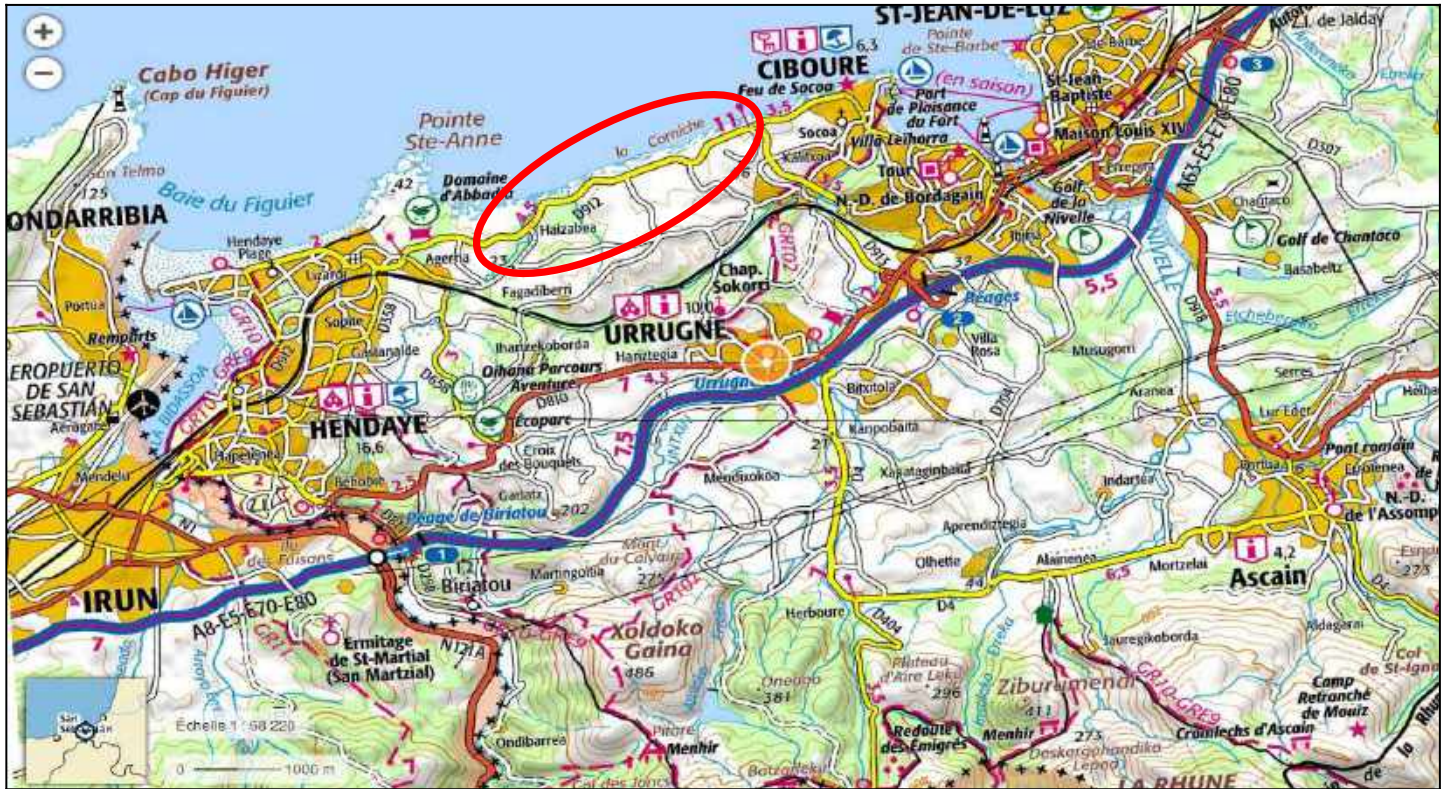
Wulff Plot - LH - Type





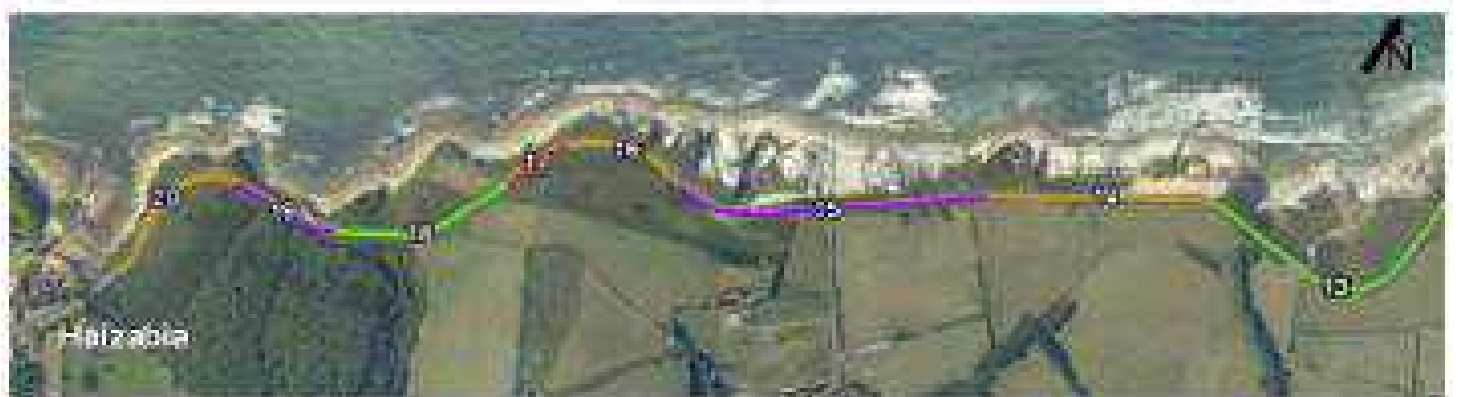
Annexe B :

Plan d'implantation

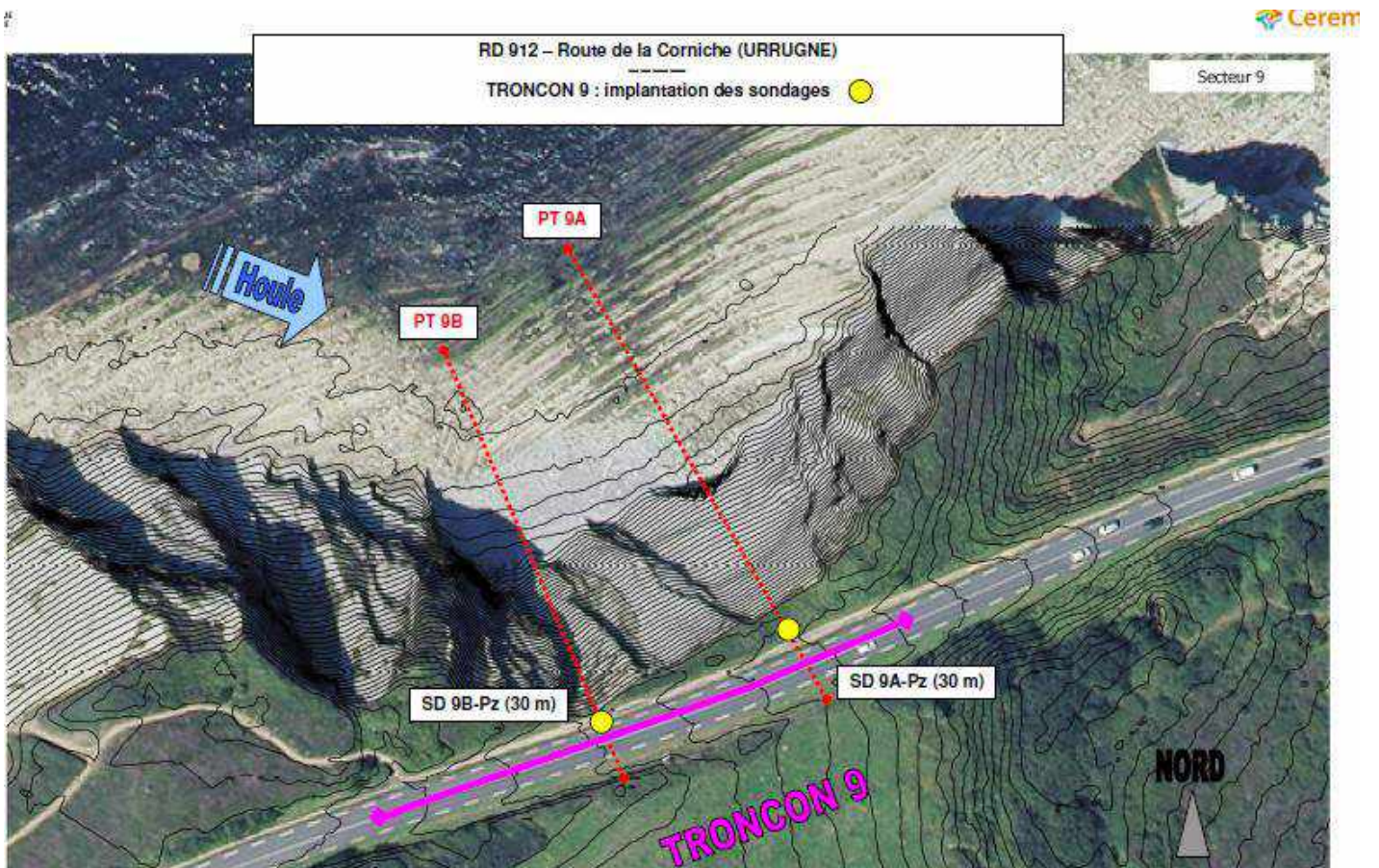
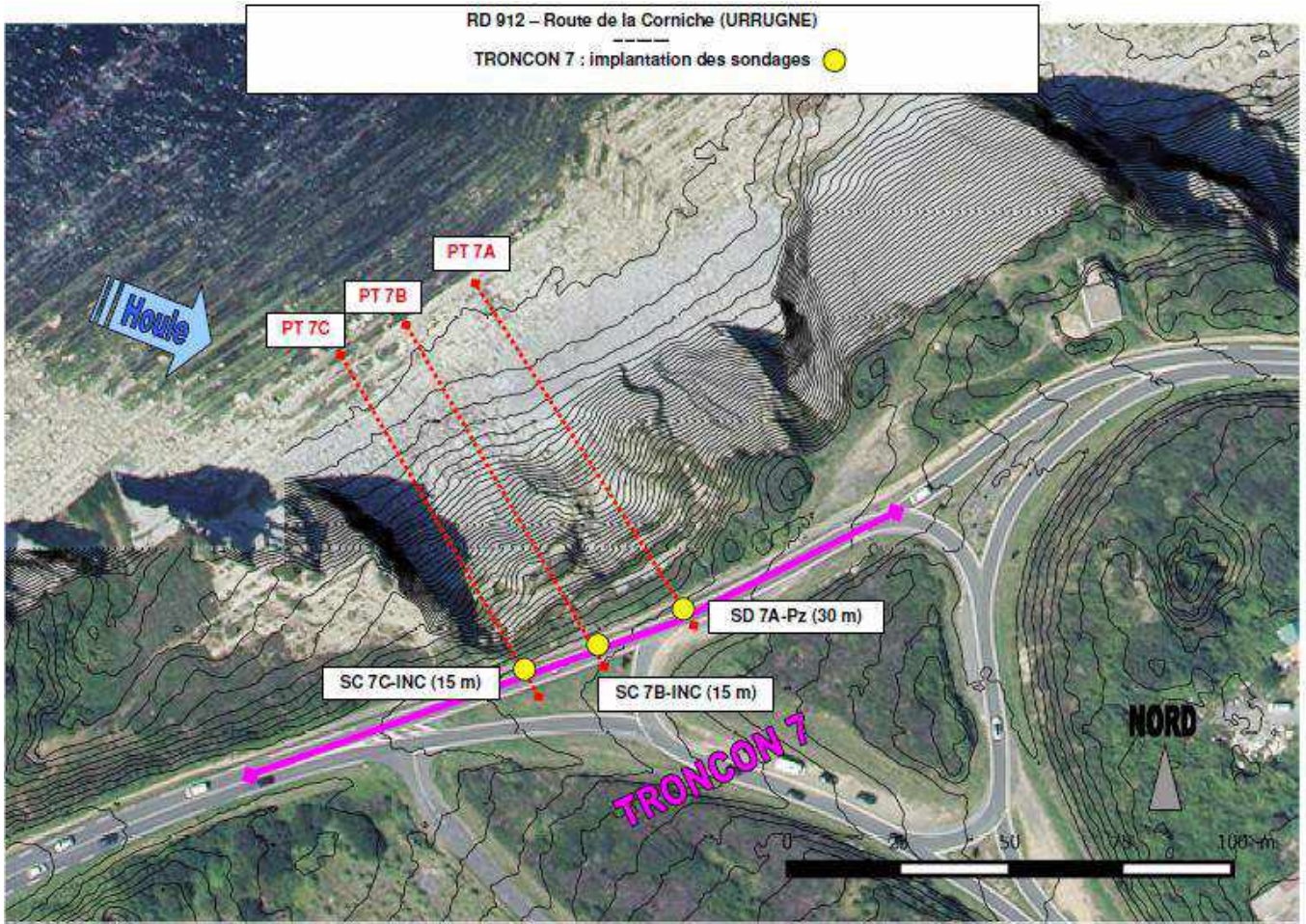


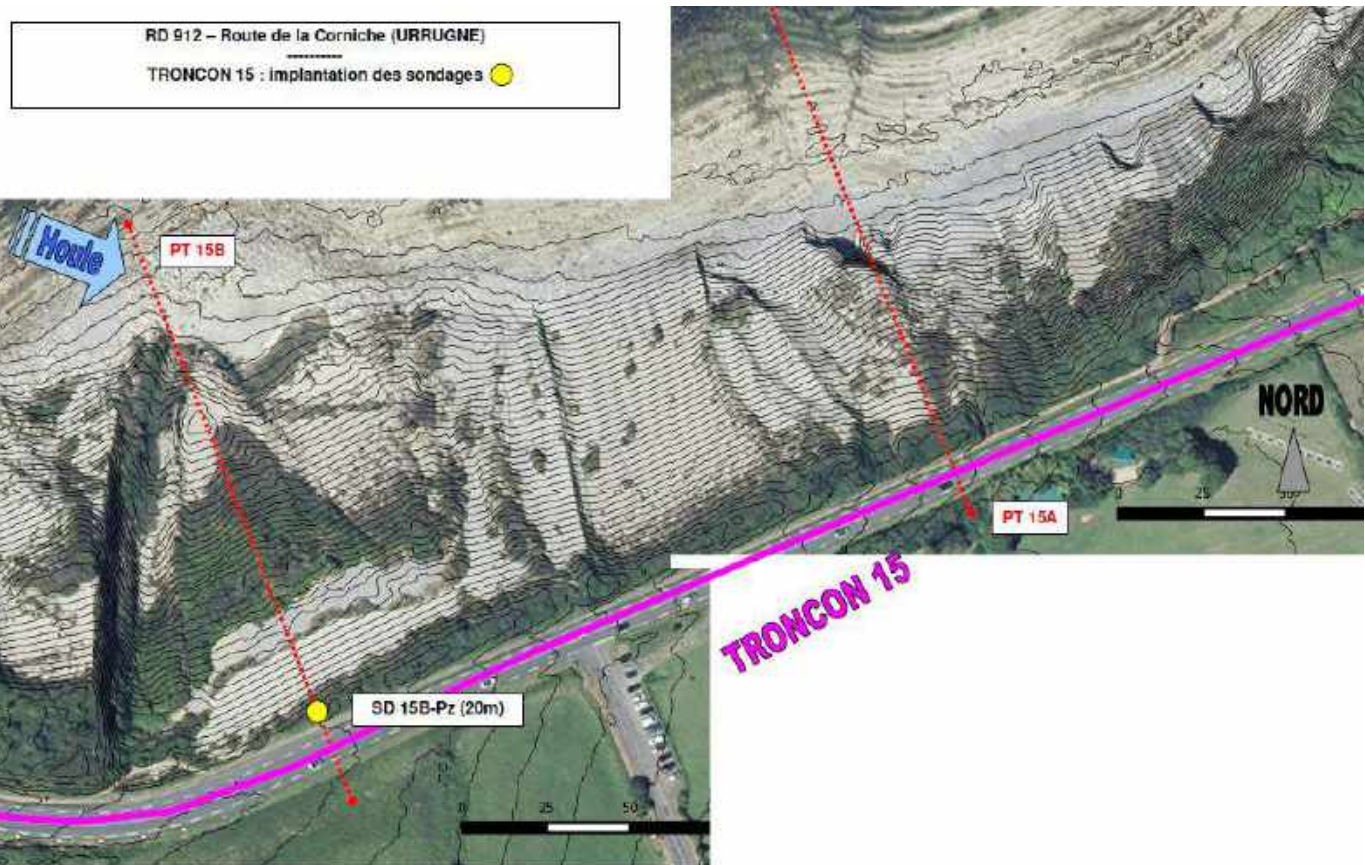
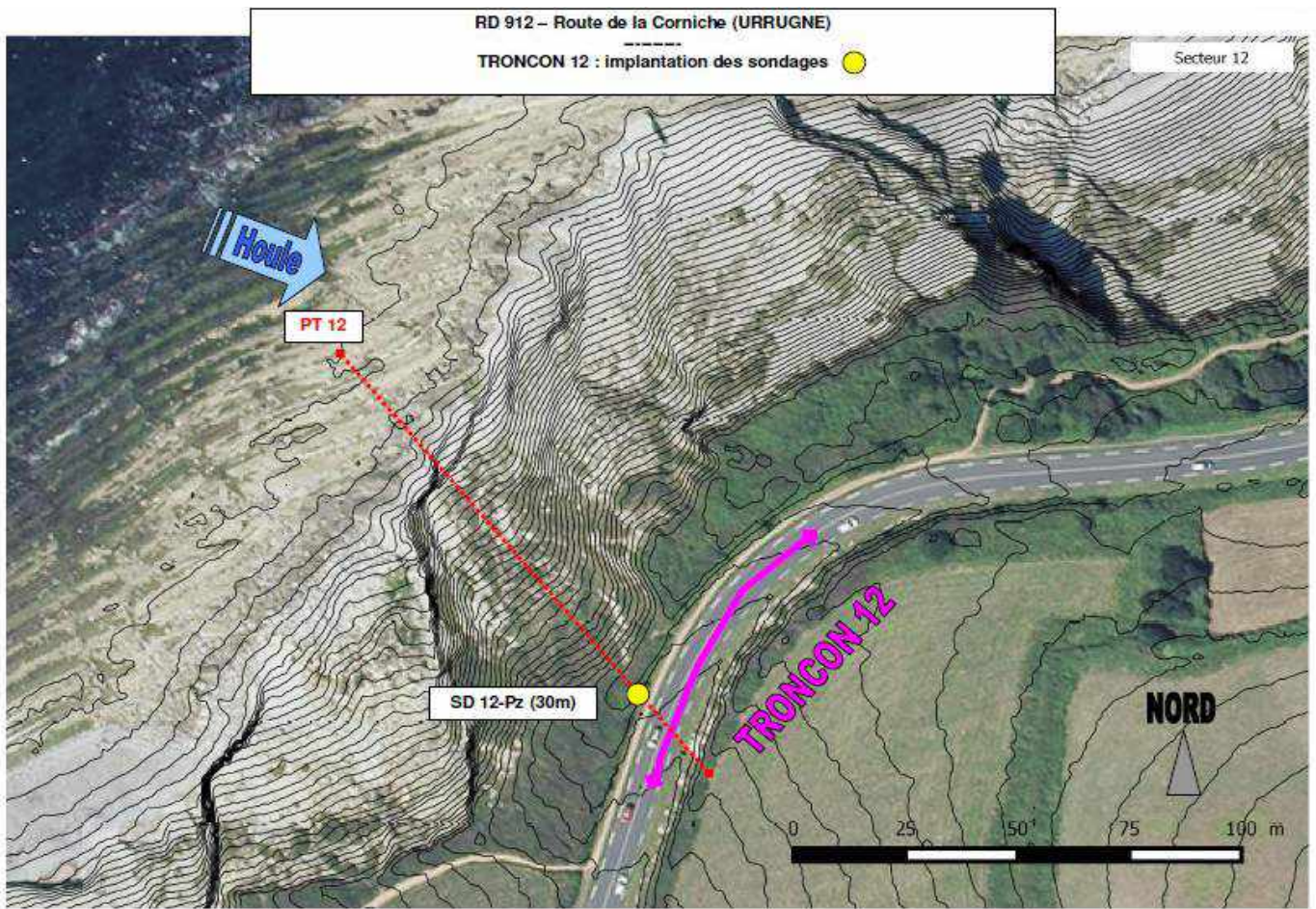
Plan de localisation de la reconnaissance (rond rouge)

Plan de situation des différents tronçons



Localisation des sondages (CEREMA)







Annexe C :

PV DE SONDAGE





Piézomètre

Sondage **SD7A**

Dossier n° **20.013821**

Profondeur **32,2 m**

x

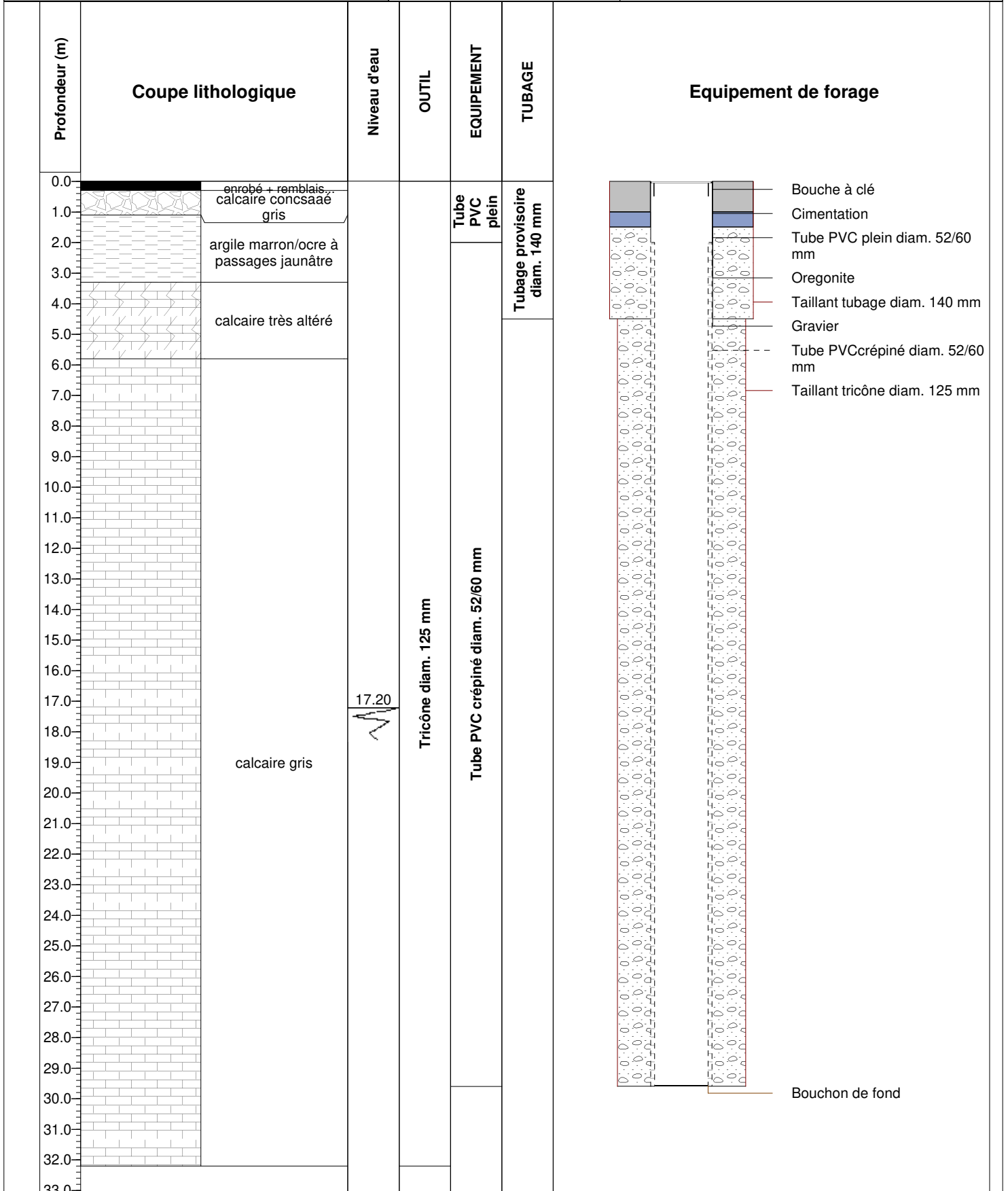
Date **17/02/2021**

y

Niveau d'eau

z

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**



Observation :



route de la Corniche
64 - URRUGNE

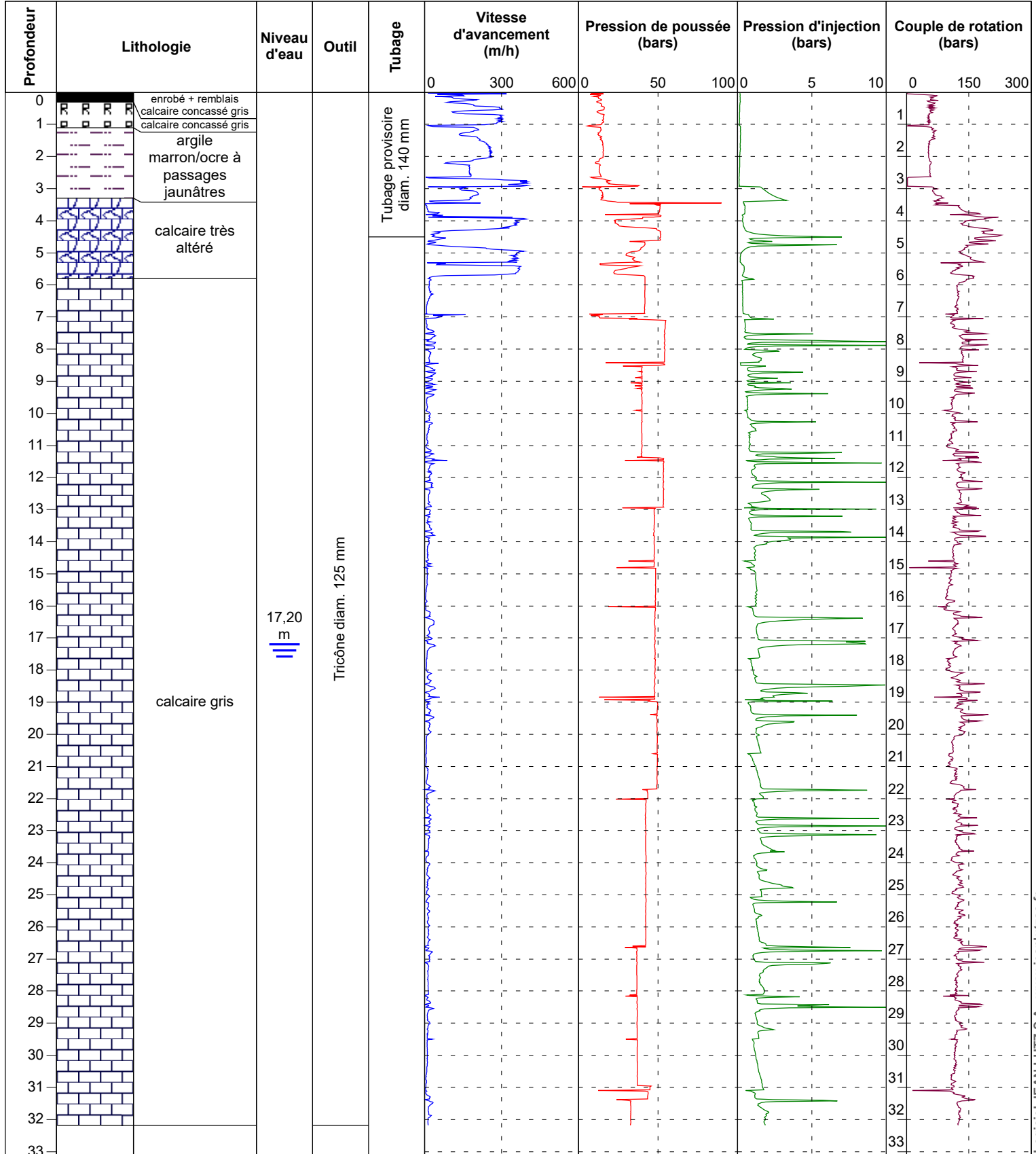
Dossier 20.013821

Date : 17/02/2021

Profondeur : 0,00 - 32,18 m

Forage : SD7A

EXGTE 3.22/LB2EPF579FR





SONDAGE CAROTTE

Dossier **20.013821**

Sondage **SC7B**

x

Profondeur **15 m**

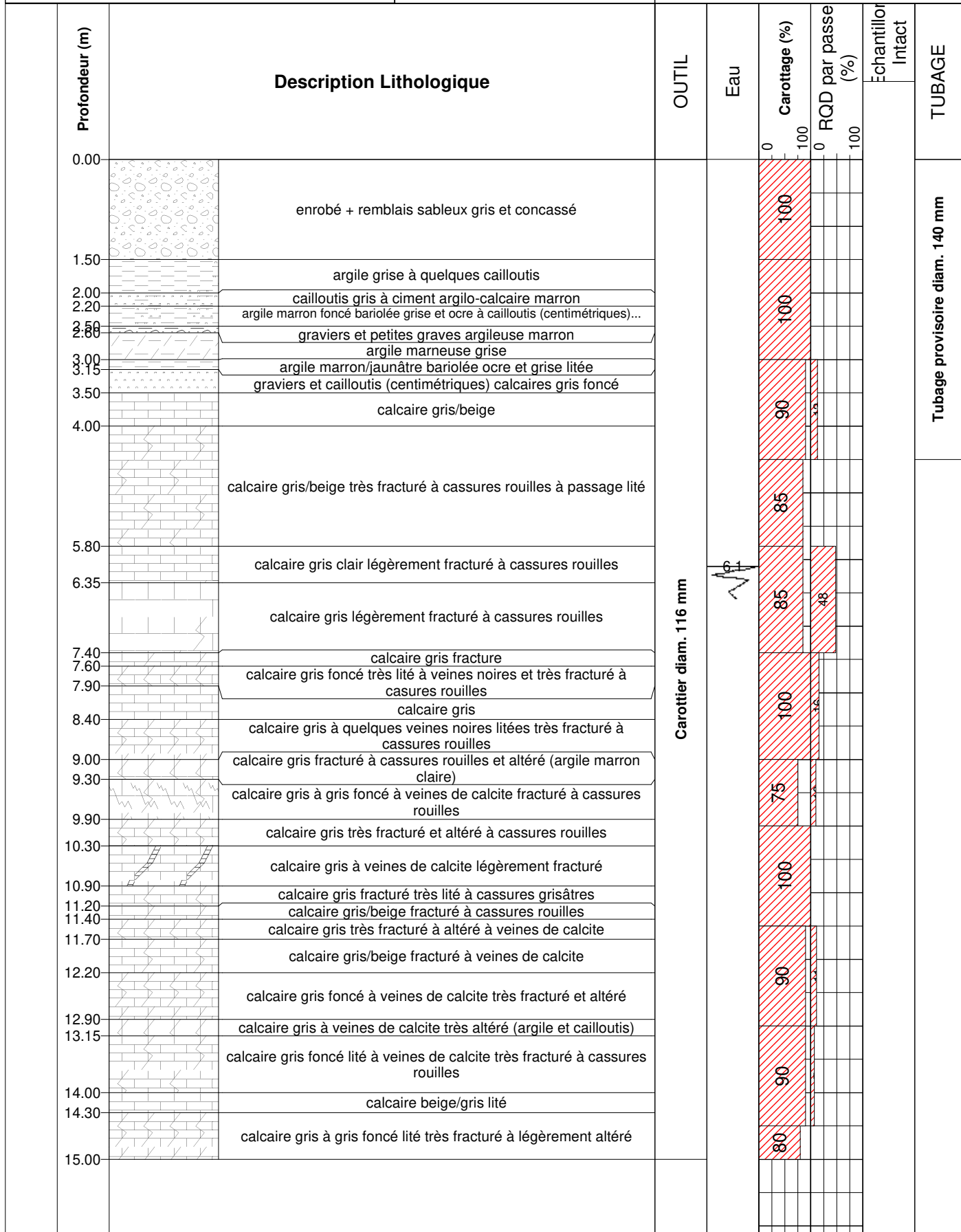
y

Date **15/02/2021**

z

Niveau d'eau **6,10 m**

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**



Observation :

*Perte d'injection à partir de 6 m



route de la Corniche
64 - URRUGNE

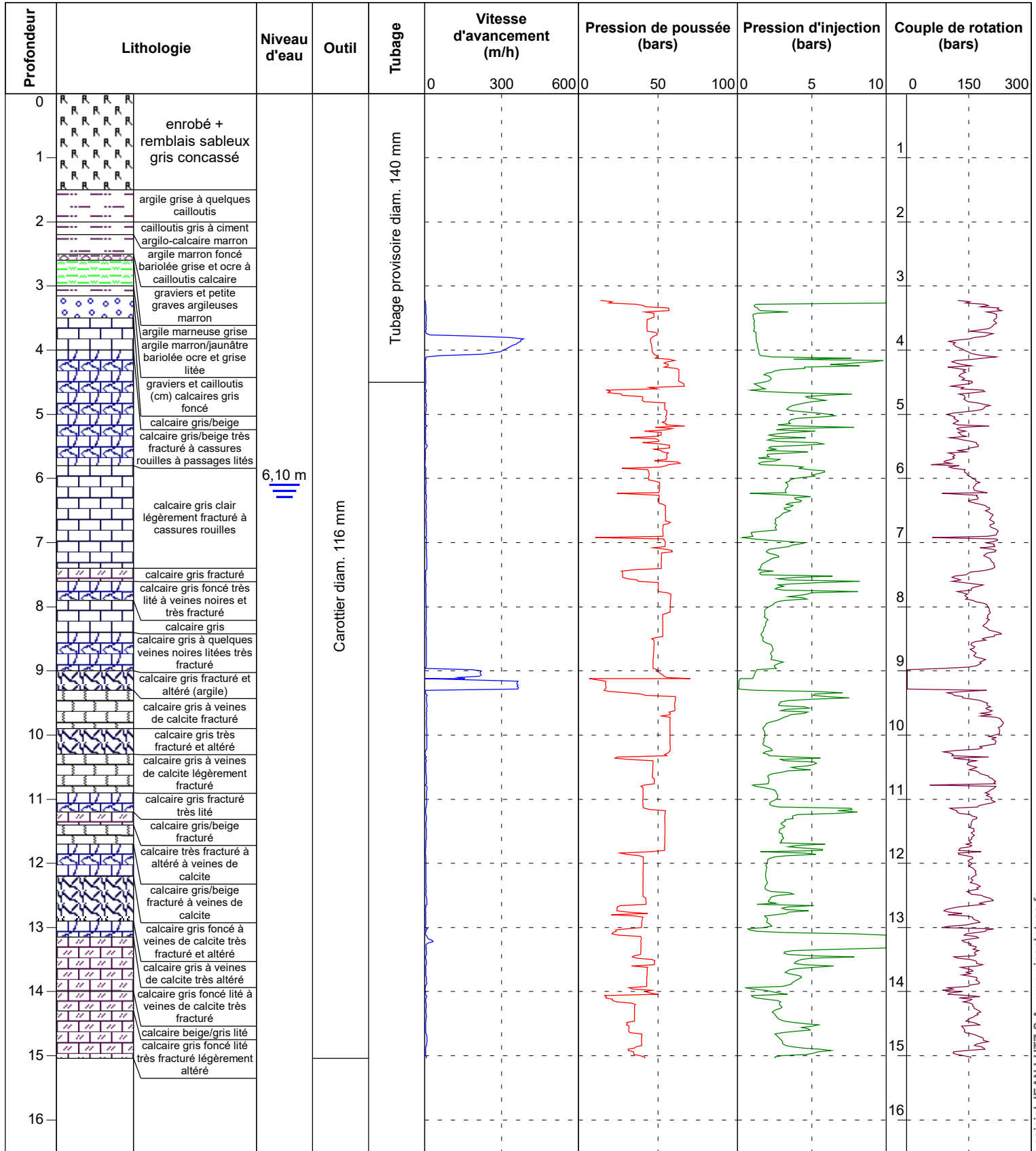
Dossier 20.013821

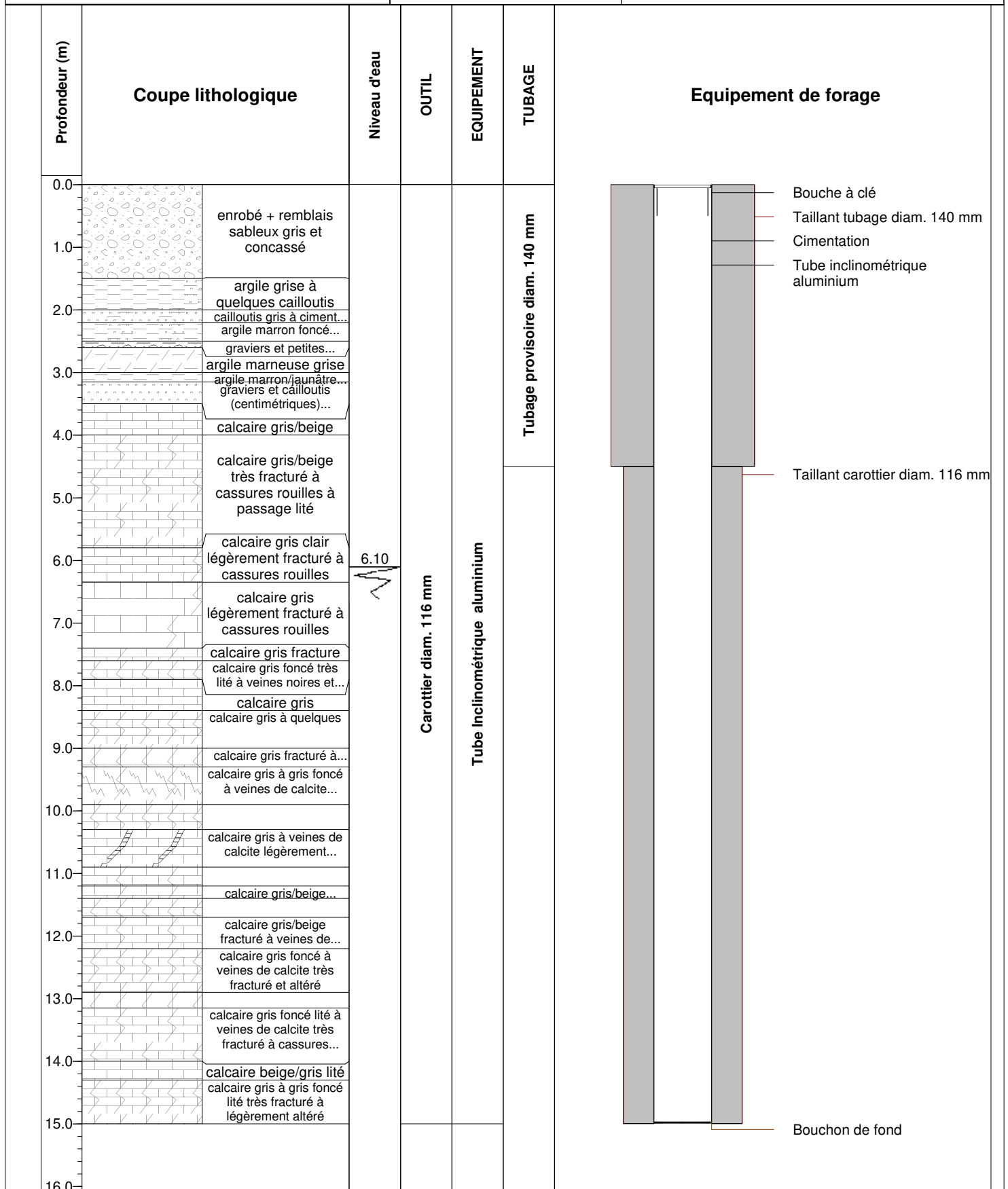
Date : 15/02/2021

Profondeur : 0,00 - 15,04 m

Forage : SC7B

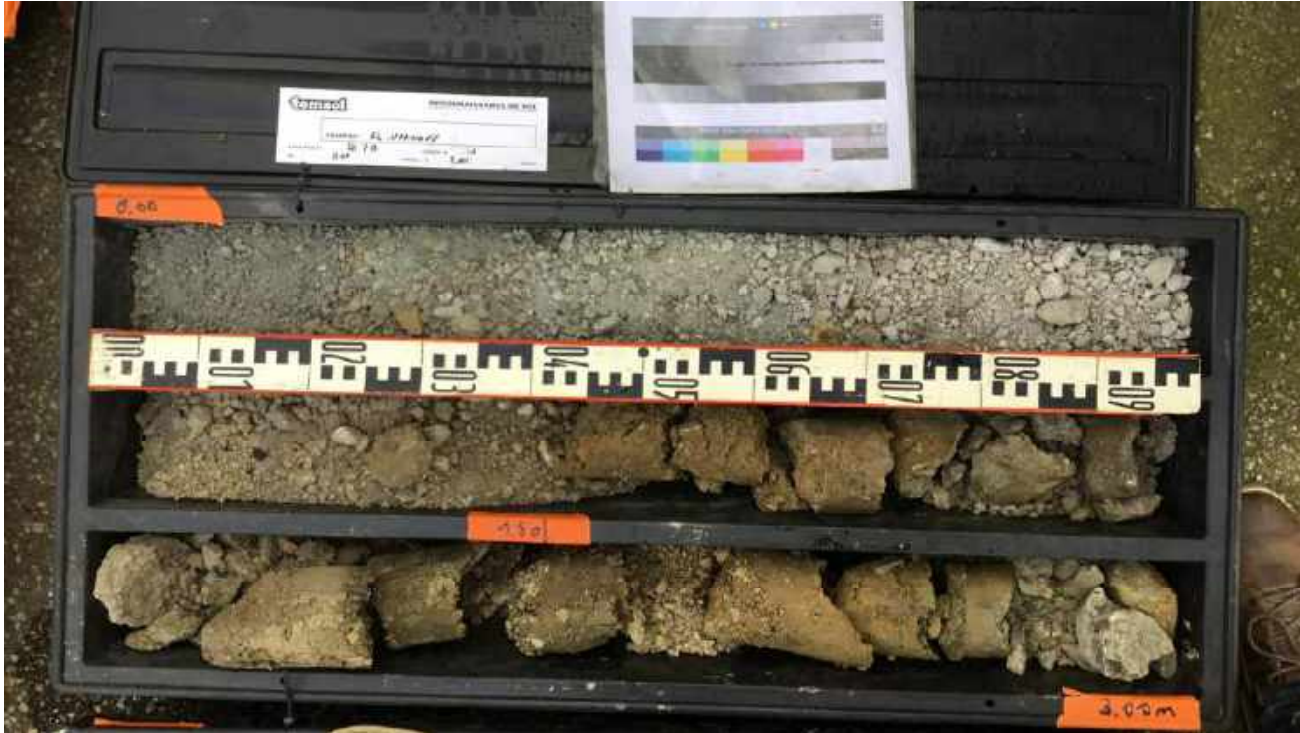
EXGTE 3.22/LB2EPF579FR




Observation :

*Perte d'injection à partir de 6 m

SONDAGE CAROTTE
SC7B



caisse n°1 : de 0,00 à 3,00 m



caisse n°2 : de 3,00 à 6,20 m

SONDAGE CAROTTE
SC7B



caisse n°3 : de 6,30 à 9,30 m

SONDAGE CAROTTE
SC7B



caisse n°4 : de 9,30 à 11,50 m

SONDAGE CAROTTE
SC7B



caisse n°5 : de 11,50 à 14,60 m



caisse n°5 : de 14,60 à 15,00 m



SONDAGE CAROTTE

Dossier **20.013821**

Sondage **SC7C**

x
y
z

Profondeur **15,4 m**

Date **16/02/2021**

Niveau d'eau **8,70 m**

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**

Profondeur (m)	Description Lithologique	OUTIL	Eau	Carottage (%)	RQD par passe (%)	Echantillon Intact	TUBAGE
0.00	enrobé + remblais graveleux gris foncé	Carottier diam. 116 mm	8,7	100			Tubage provisoire diam. 140 mm
0.30	remblais graveleux gris/vert						
0.50	remblais graveleux et sablo-argileux gris clair						
1.00	remblais argilo-sableux marron/gris à graviers						
1.50	argile sableuse marron à cailloutis						
2.50	argile beige bariolée grise et ocre à cailloutis						
2.75	argile beige à cailloutis						
3.00	argile marron à graviers						
3.20	argile beige à cailloutis						
3.70	cailloutis calcaires beiges						
4.10	marne grise à passages de débris végétaux						
4.25	cailloutis calcaires à matrice argileuse beige						
4.60	calcaire beige légèrement fracturé à cassures blanches/rouille						
4.85	calcaire beige lité et fracturé à passages de marne beige/grise à ocre...						
5.00	calcaire beige à gris fracturé à cassures rouilles						
5.30	calcaire très fracturé et altéré gris à beige						
5.50	calcaire beige légèrement fracturé à cassures rouilles						
5.80	calcaire gris fracturé (cassures rouilles) altéré (argileux) et fracturé						
6.10	calcaire gris lité très fracturé à altéré à cassures rouilles						
6.50	calcaire gris lité très altéré (argileux) et fracturé à cassures rouilles						
7.10	calcaire beige						
7.30	calcaire gris clair lité gris foncé...						
7.60	calcaire gris très lité altéré (argileux) et très fracturé (cassures rouilles)...						
7.80	calcaire gris très fracturé à cassures argileuses ocres						
8.50	calcaire gris à passages beiges lités gris foncé						
8.90	calcaire gris lité très fracturé à cassures argileuses vertes						
9.65	calcaire gris très fracturé (cassures rouilles) plus ou moins altéré						
10.00	calcaire gris légèrement fracturé						
10.40	calcaire gris très fracturé à cassures rouilles légèrement altéré (argileux)						
10.70	calcaire gris						
11.00	calcaire gris très fracturé à cassures rouilles						
12.30	calcaire gris légèrement fracturé à cassures rouilles						
12.60	calcaire gris lité et fracturé						
12.90	calcaire gris						
13.60	calcaire gris très fracturé à cassures rouilles puis vertes						
14.00	calcaire gris						
14.00	calcaire gris lité très fracturé						
14.35	calcaire gris/beige						
14.80	calcaire gris/beige très fracturé						
15.40	calcaire gris très légèrement fracturé à cassures argileuses ocre						

Observation :



route de la Corniche
64 - URRUGNE

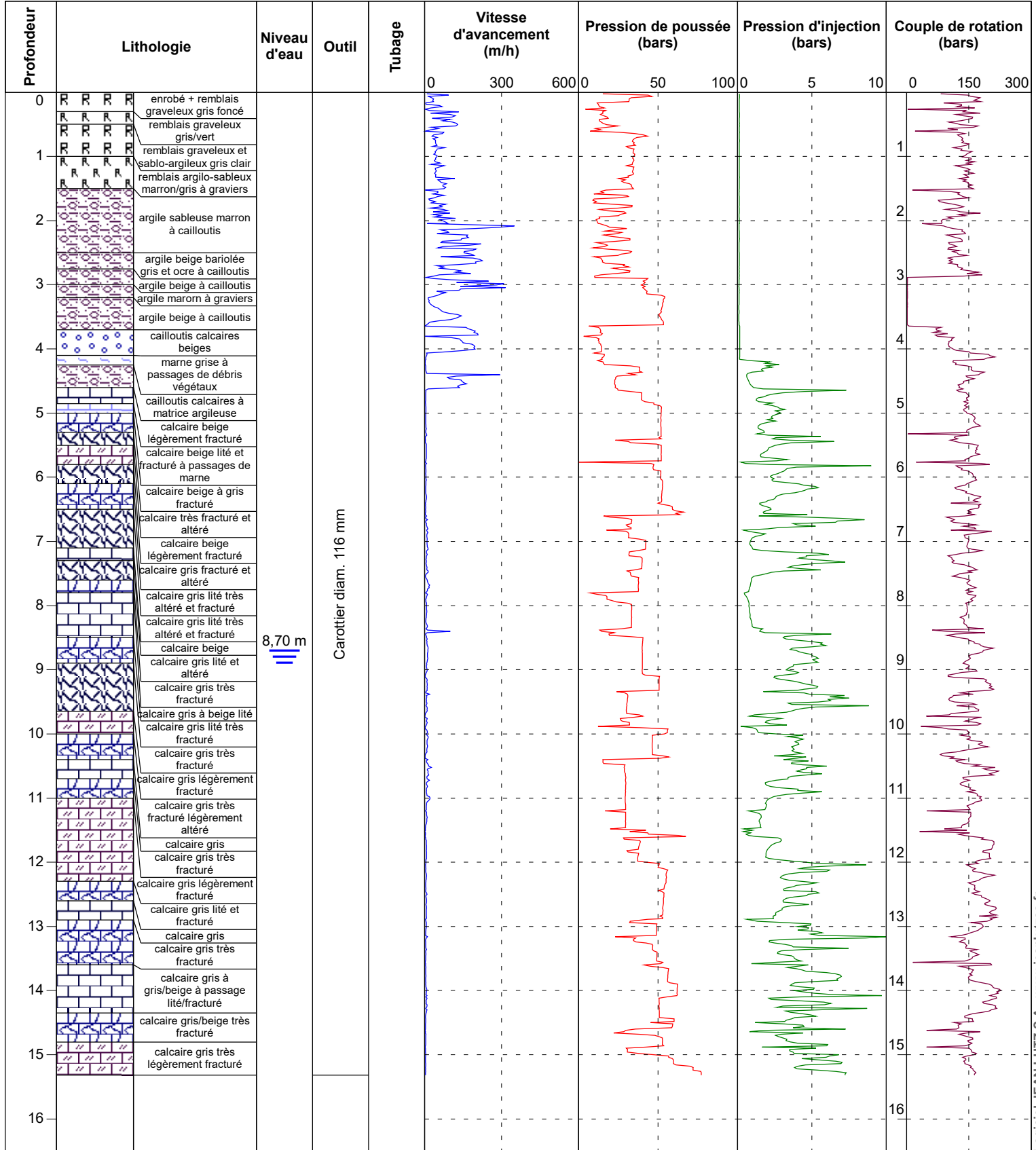
Dossier 20.013821

Date : 16/02/2021

Profondeur : 0,00 - 15,32 m

Forage : SC7C

EXGTE 3.22/LB2EPF579FR





Inclinomètre

Sondage **SC7C**

Dossier n° **20.013821**

Profondeur **15,4 m**

x

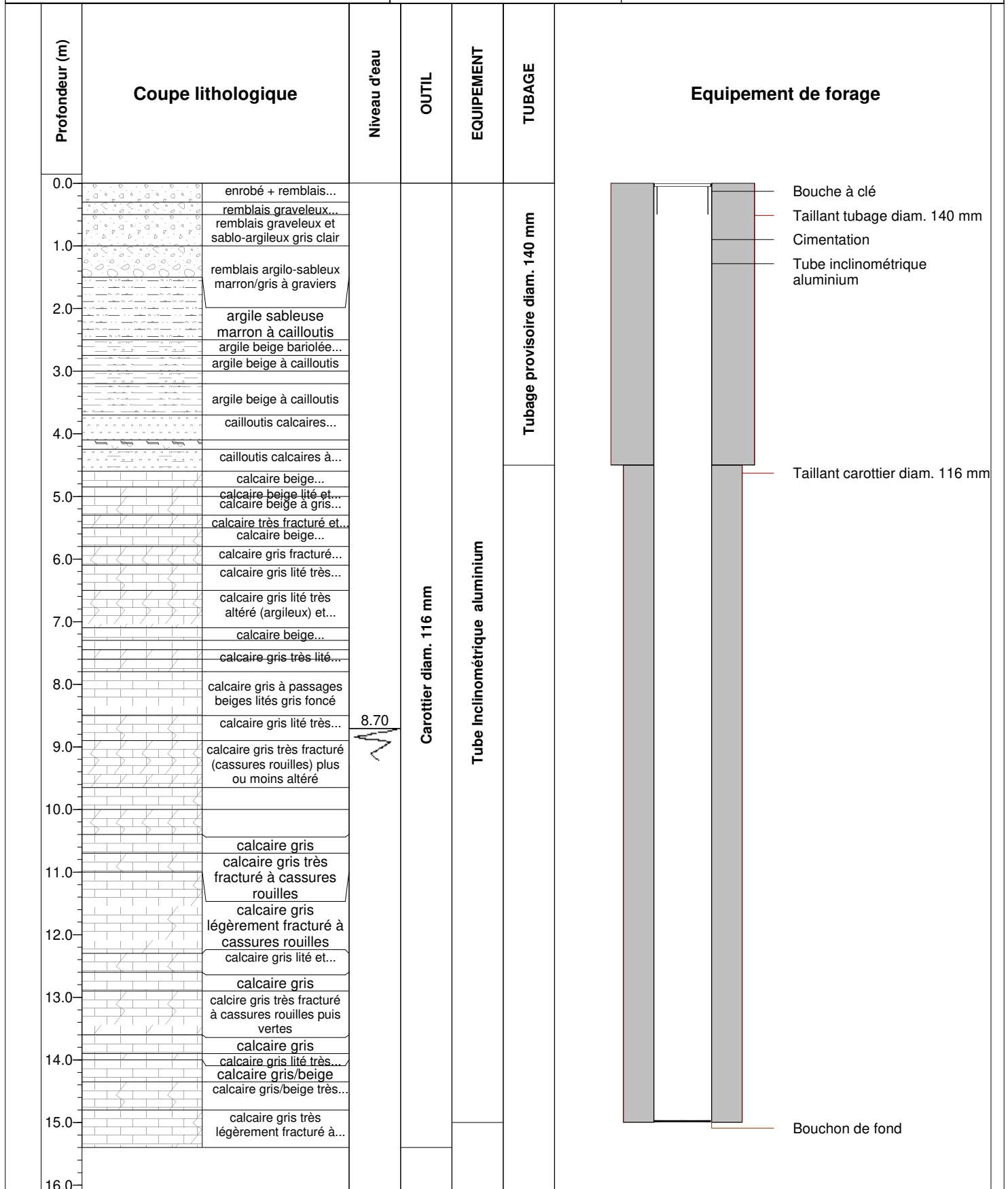
Date **16/02/2021**

y

Niveau d'eau **8,70 m**

z

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**



Observation :

SONDAGE CAROTTE
SC7C



caisse n°1 : de 0,00 à 3,00 m

SONDAGE CAROTTE
SC7C



caisse n°2 : de 3,00 à 6,40 m

SONDAGE CAROTTE
SC7C



caisse n°3 : de 6,40 à 9,80 m

SONDAGE CAROTTE
SC7C



caisse n°4 : de 9,80 à 12,00 m

SONDAGE CAROTTE
SC7C



caisse n°5 : de 12,00 à 14,80 m

SONDAGE CAROTTE
SC7C



Caisse n°6 : de 14,80 à 15,10 m



Piézomètre

Sondage **SD9A**

Dossier n° **20.013821**

Profondeur **32 m**

x

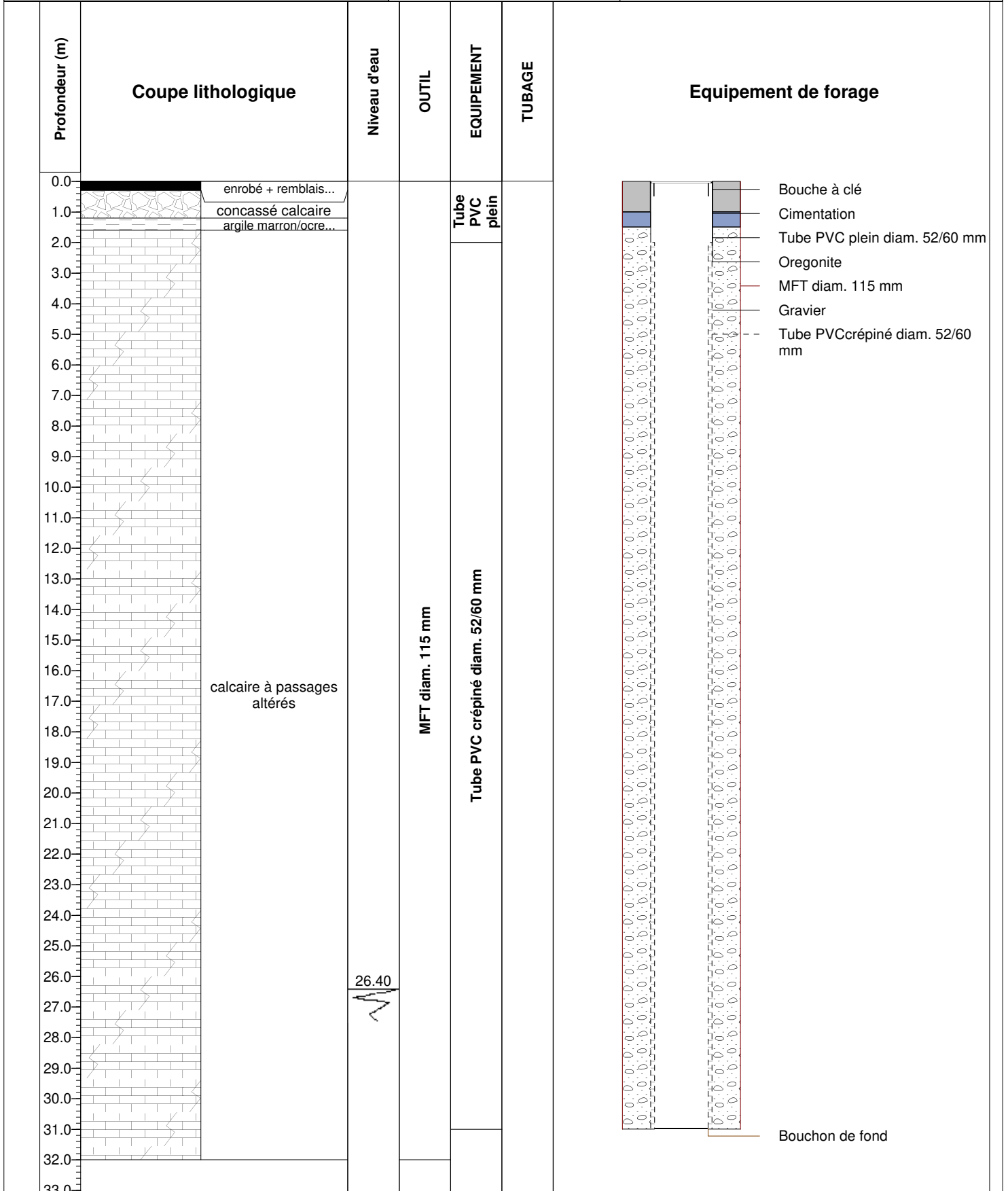
Date **22/02/2021**

y

Niveau d'eau **26,40 m**

z

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**



Observation :



route de la Corniche
64 - URRUGNE

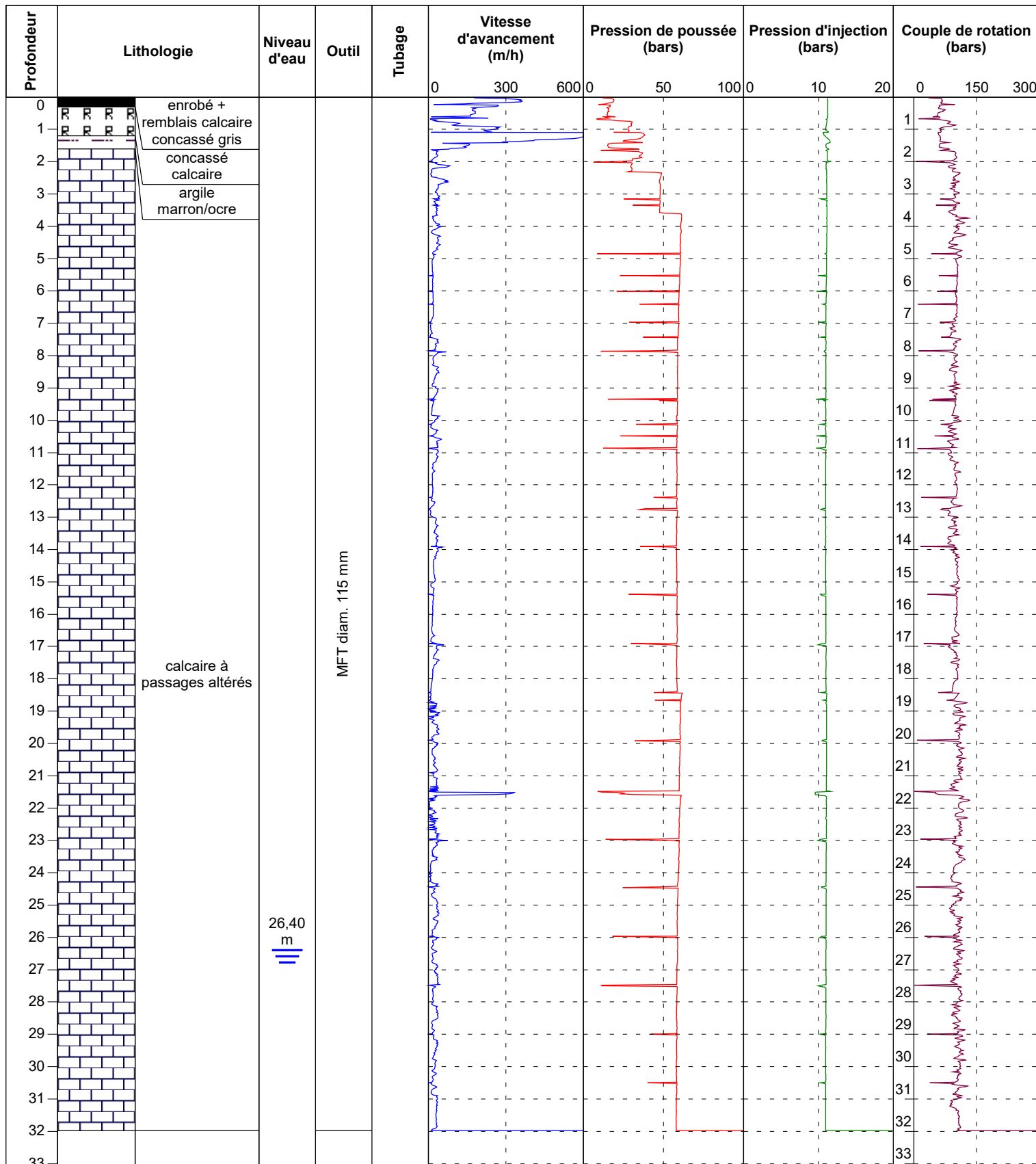
Dossier 20.013821

Date : 22/02/2021

Profondeur : 0,00 - 31,98 m

Forage : SD9A

EXGTE 3.22/LB2EPF579FR





Piézomètre

Sondage **SD9B**

Dossier n° **20.013821**

Profondeur **30,1 m**

x

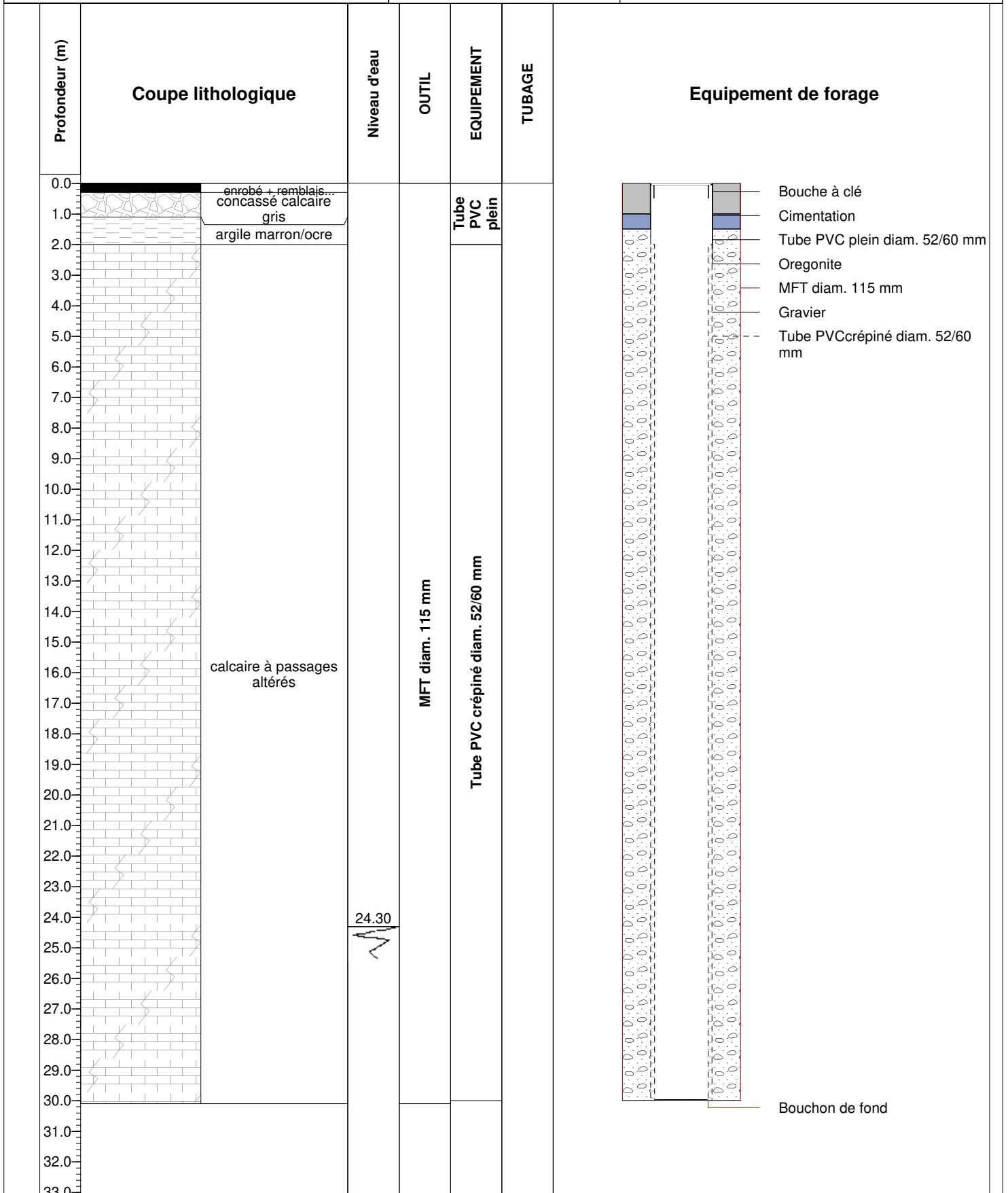
Date **22/02/2021**

y

Niveau d'eau **24,30 m**

z

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**



Observation :



route de la Corniche
64 - URRUGNE

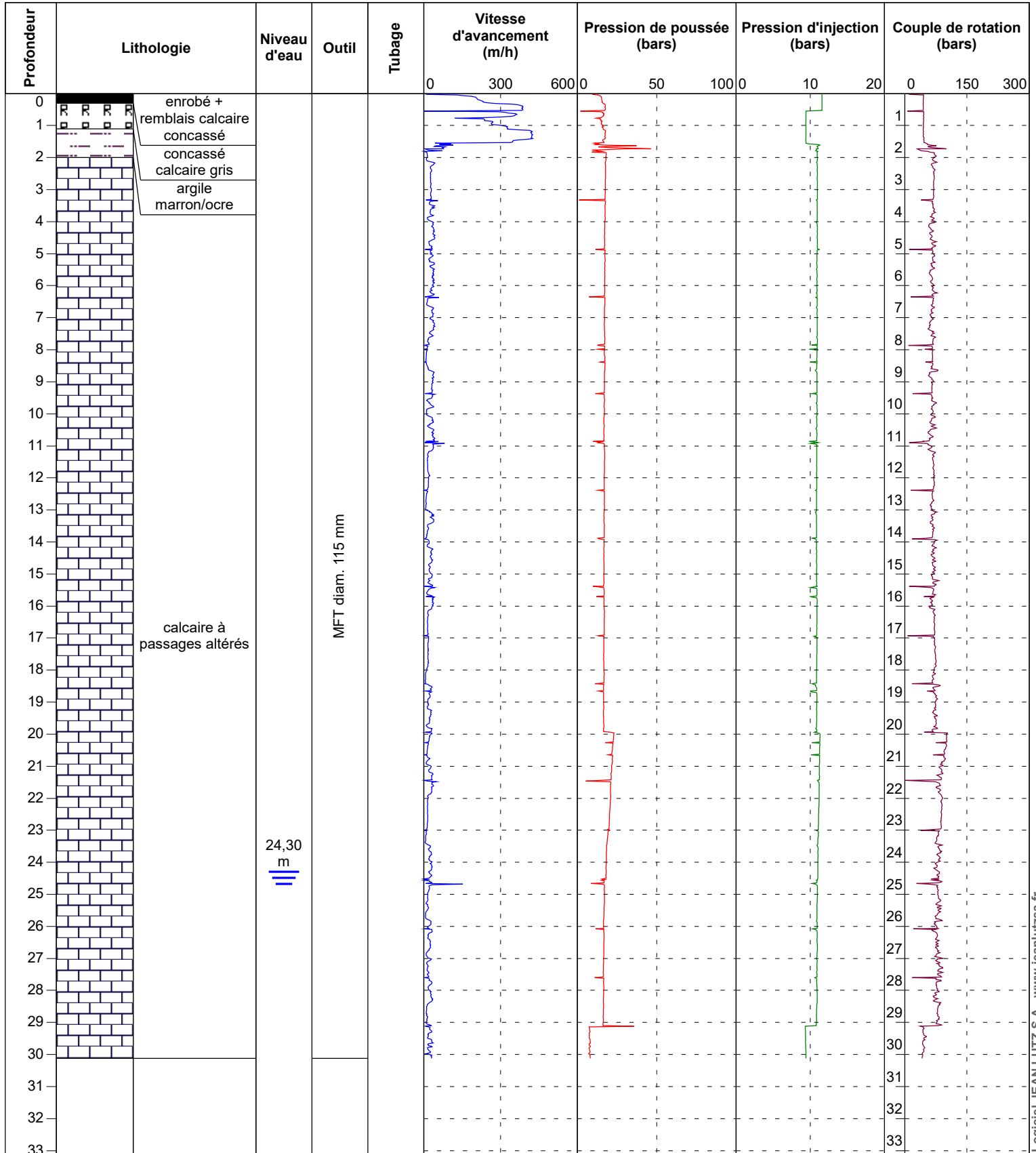
Dossier 20.013821

Date : 22/02/2021

Profondeur : 0,00 - 30,12 m

Forage : SD9B

EXGTE 3.22/LB2EPF579FR





Piézomètre

Sondage **SD12**

Dossier n° **20.013821**

Profondeur **32,1 m**

x

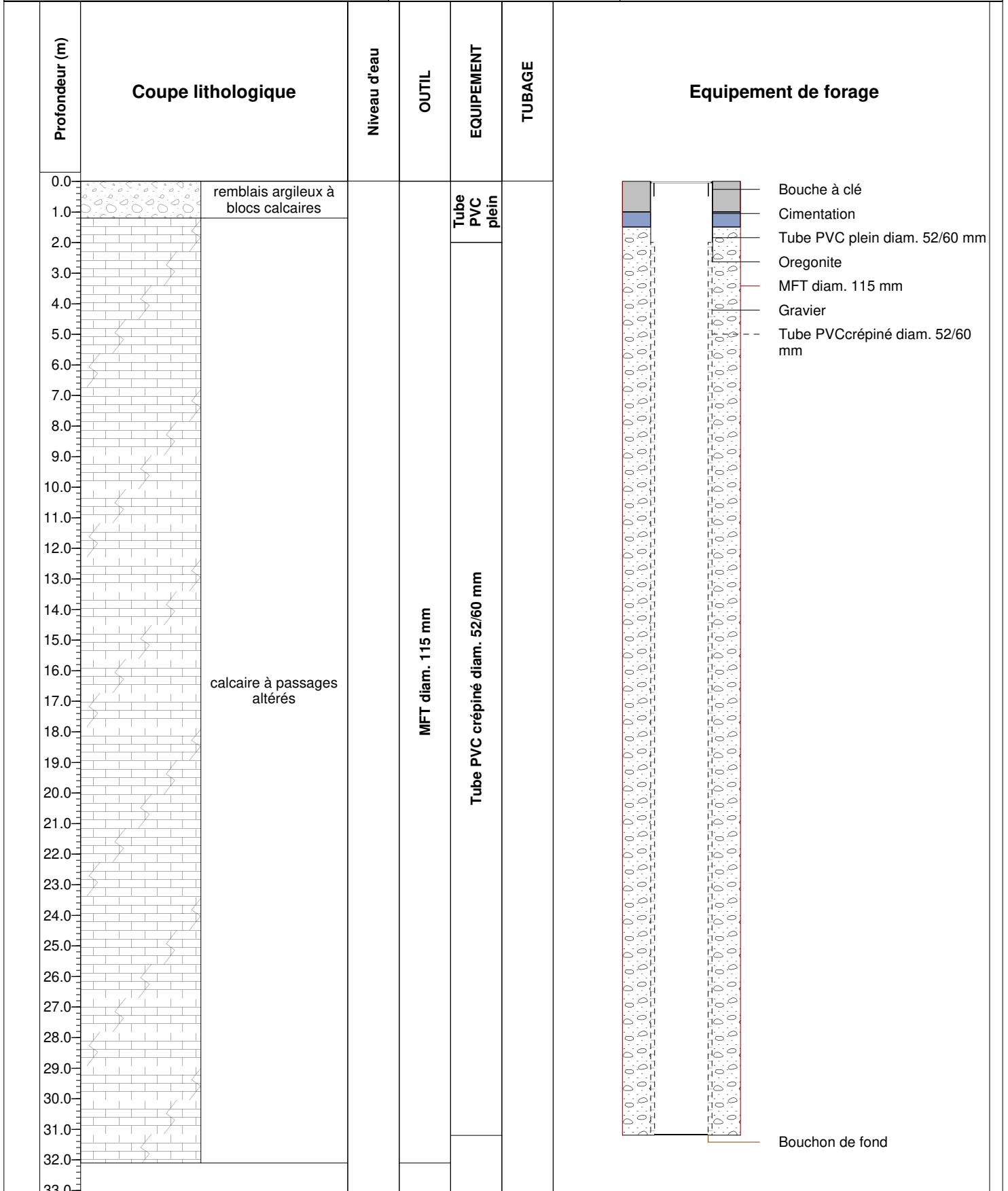
Date **24/02/2021**

y

Niveau d'eau

z

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**



Observation :



route de la Corniche
64 - URRUGNE

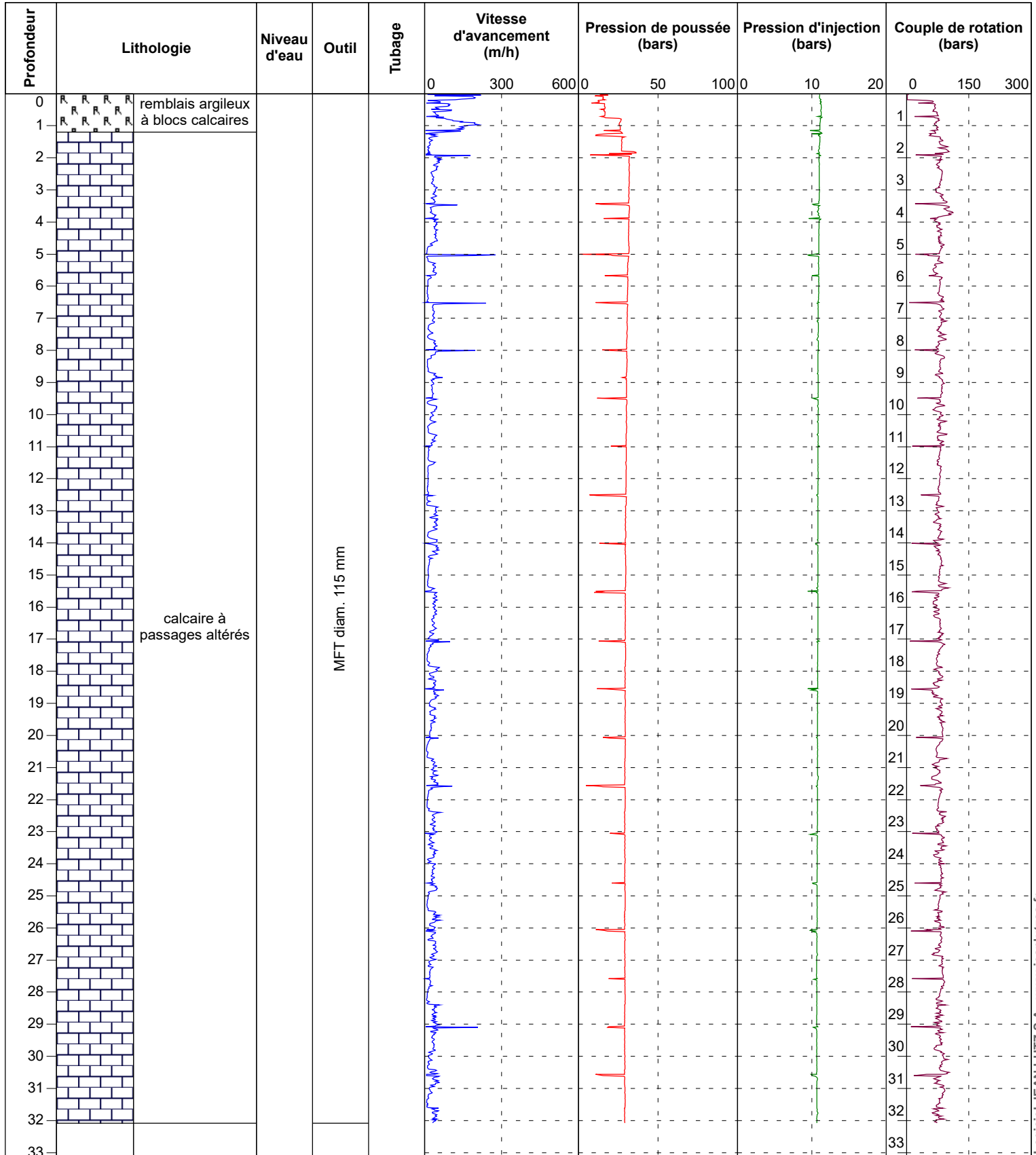
Dossier 20.013821

Date : 24/02/2021

Profondeur : 0,00 - 32,08 m

Forage : SD12

EXGTE 3.22/LB2EPF579FR





Piézomètre

Sondage **SD15B**

Dossier n° **20.013821**

Profondeur **21,3 m**

x

Date **24/02/2021**

y

Niveau d'eau **17,20 m**

z

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**

Profondeur (m)	Coupe lithologique	Niveau d'eau	OUTIL	EQUIPEMENT	TUBAGE	Equipement de forage
0.0	argile à blocs calcaires			Tube PVC plein		
1.0				Tube PVC crèpiné diam. 52/60 mm		
2.0	calcaire très altéré		MFT diam. 115 mm			
3.0						
4.0	calcaire à passages altérés					
5.0						
6.0		17.20				
7.0						
8.0						
9.0						
10.0						
11.0						
12.0						
13.0						
14.0						
15.0						
16.0						
17.0						
18.0						
19.0						
20.0						
21.0						
22.0						
23.0						
24.0						
25.0						
26.0						
27.0						
28.0						
29.0						
30.0						
31.0						
32.0						
33.0						

Observation :



route de la Corniche
64 - URRUGNE

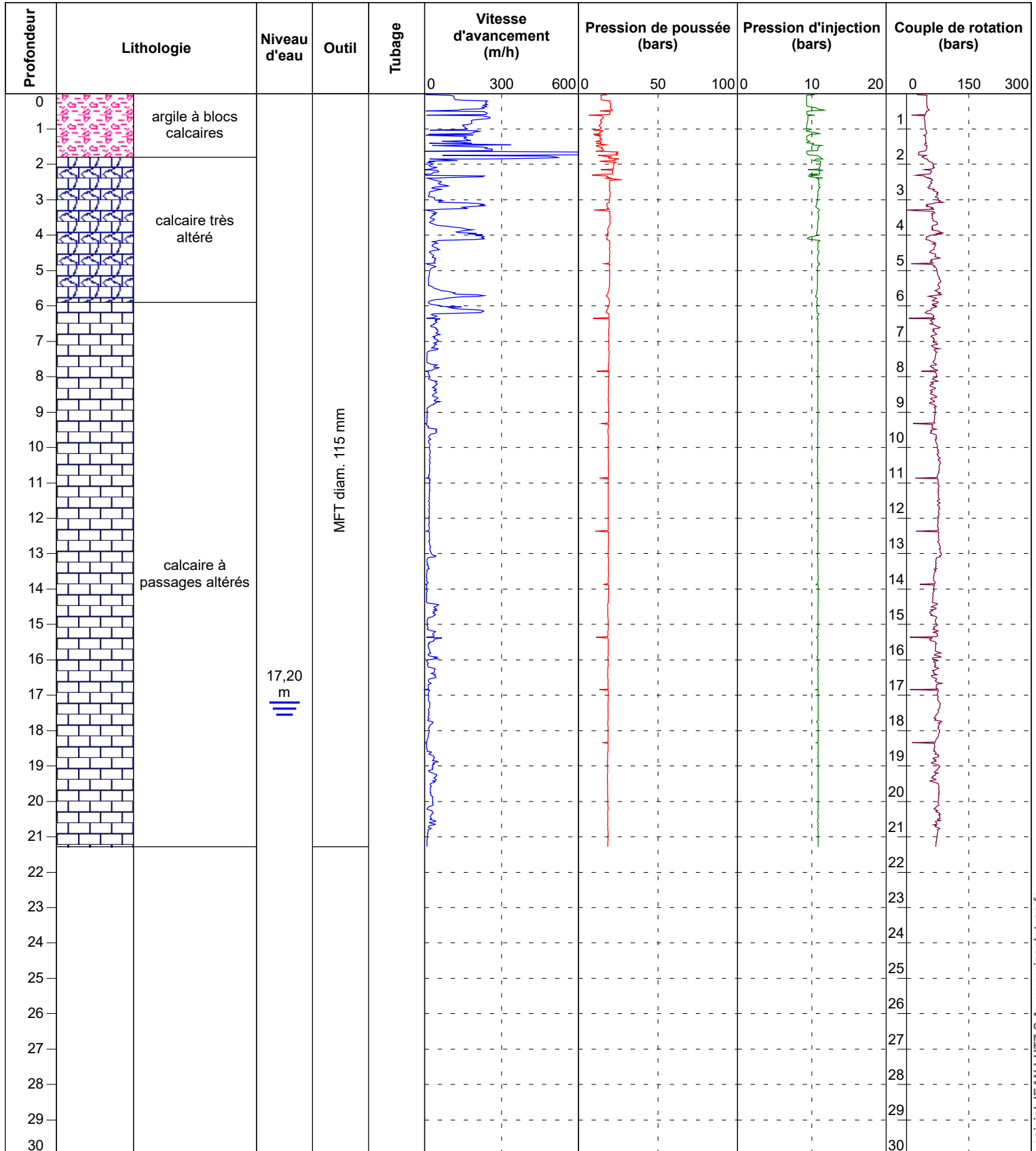
Dossier 20.013821

Date : 24/02/2021

Profondeur : 0,00 - 21,28 m

Forage : SD15B

EXGTE 3.22/LB2EPF579FR





SONDAGE CAROTTE

Dossier **20.013821**

Sondage **SC19B**

x
y
z

Profondeur **15,25 m**
Date **01/03/2021**
Niveau d'eau **8,00 m**

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**

Profondeur (m)	Description Lithologique	OUTIL	Eau	Carottage (%)	RQD par passe (%)	Echantillon Intact	TUBAGE
0.00	enobé + remblais à graviers noirs...	Carottier diam. 114 mm		100			
0.15	remblais sableux gris clair						
0.40	remblais concassé						
0.70	remblais sableux légèrement argileux marron						
1.00	argile limoneuse marron bariolée ocre à cailloutis						
1.30	argile ocre bariolée grise claire						
1.80	argile ocre à quelques cailloutis						
2.30	argile marron devenant ocre						
3.30	argile ocre à passages gris cendrés à cailloutis noirs						
3.90	argile marron bariolée ocre						
4.95	argile limoneuse marron bariolée ocre et beige						
5.00	argile marron indurée et litée à cassures marron foncé/noir						
5.30	argile beige indurée et litée						
5.95	argile marron à quelques cailloutis						
6.40	marne grise foncée						
6.60	calcaire gris altéré						
6.80	calcaire gris très altéré (argile)						
7.30	calcaire gris très fracturé						
7.60	calcaire gris légèrement fracturé à cassures grisâtres						
8.10	calcaire gris très fracturé à altéré						
8.80	calcaire gris à veines de calcite légèrement fracturé à cassures argileuses marron clair						
9.50	calcaire gris à veines de calcite très fracturé						
10.00	calcaire gris altéré (argile + graviers) et fracturé à veines de calcite						
10.60	calcaire gris clair						
11.40	calcaire gris clair à veines de calcite fracturé à cassures noires						
11.50	calcaire gris	8.00	90	33			
11.70	calcaire gris très altéré (argile + graviers)						
12.40	calcaire gris à passages altérés et à veines de calcite						
13.05	calcaire gris à veines de calcite						
13.75	calcaire gris à gris foncé à passages très altérés						
14.05	calcaire gris fracturé à cassures noires						
15.25	calcaire gris foncé altéré et fracturé à veines de calcite						

Observation :

*Perte d'injection à partir de 8 m



route de la Corniche
64 - URRUGNE

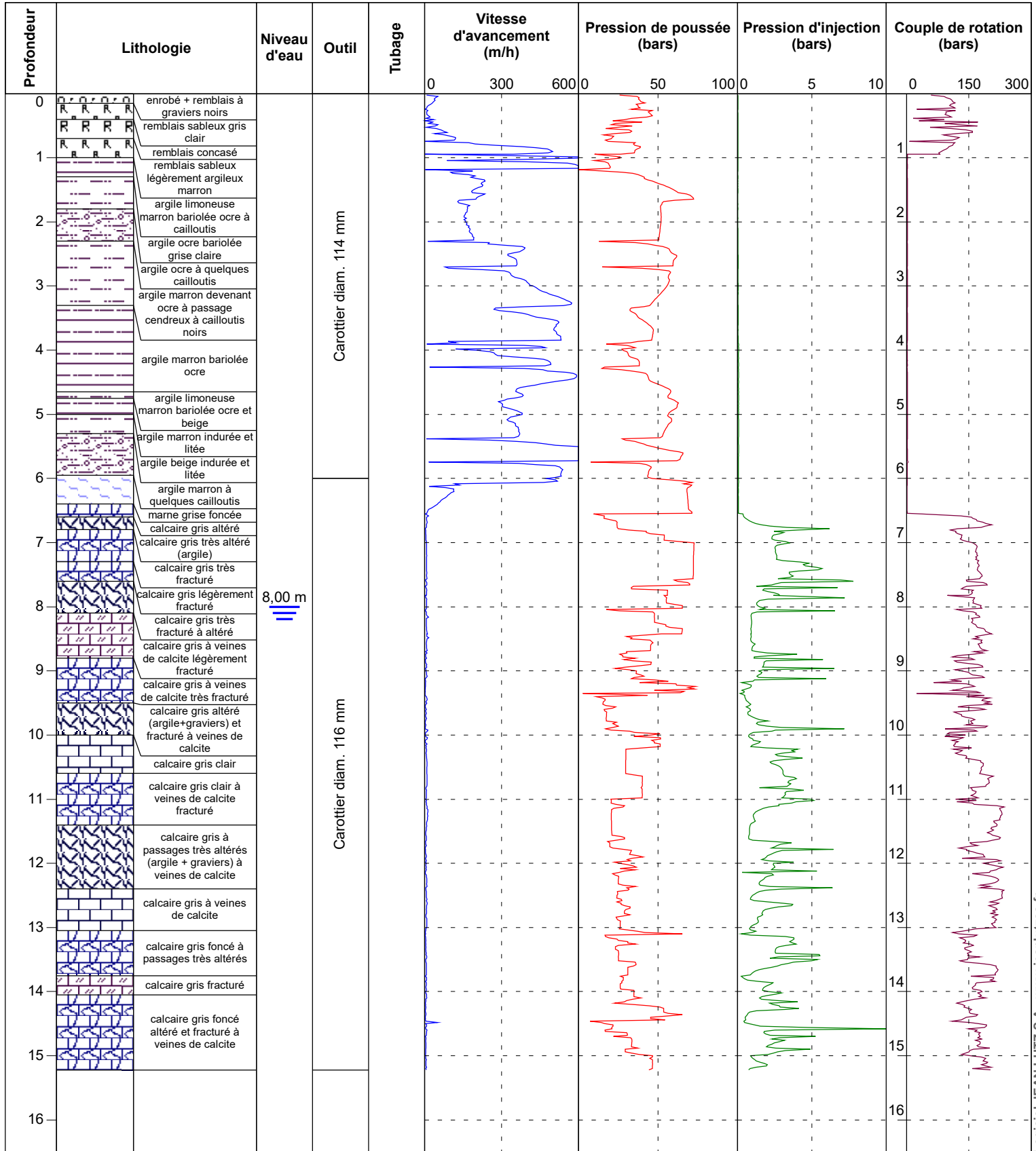
Dossier 20.013821

Date : 01/03/2021

Profondeur : 0,00 - 15,22 m

Forage : SC19B

EXGTE 3.22/LB2EPF579FR





Inclinomètre

Sondage **SC19B**

Dossier n° **20.013821**

Profondeur **15,25 m**

x

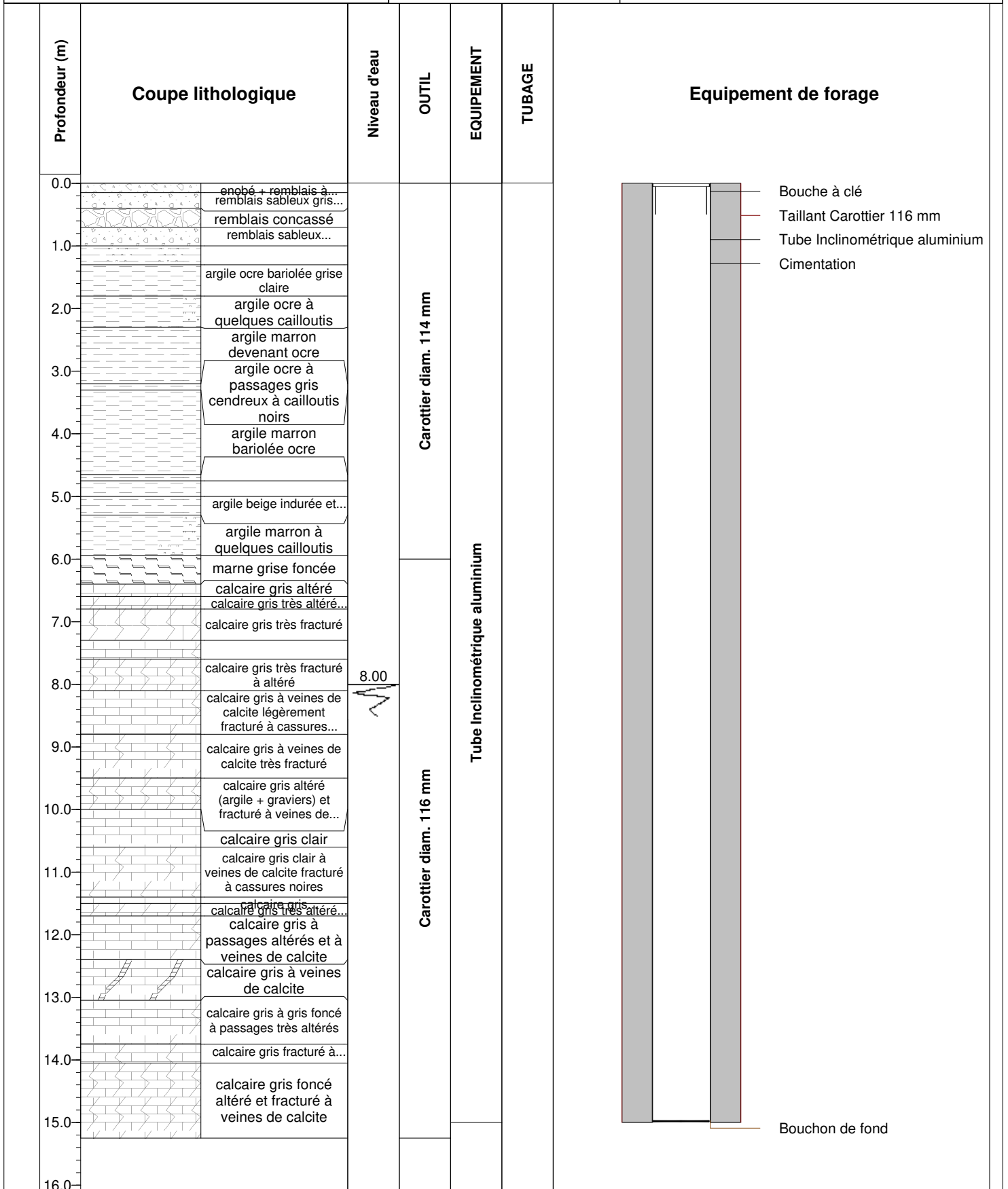
Date **01/03/2021**

y

Niveau d'eau **8,00 m**

z

Site **route de la Corniche
64 - URRUGNE**



Observation :

*Perte d'injection à partir de 8 m

SONDAGE CAROTTE
SC19B

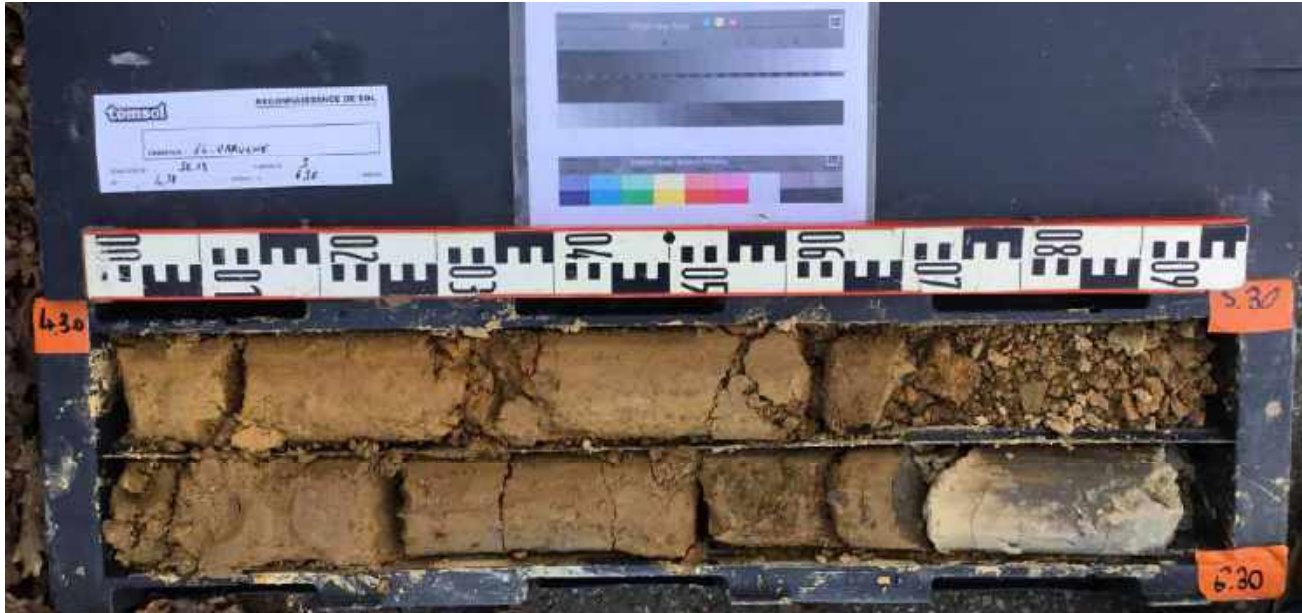


caisse n°1 : de 0,00 à 1,80 m



caisse n°2 : de 1,80 à 4,30 m

SONDAGE CAROTTE
SC19B



caisse n°3 : de 4,30 à 6,30 m



caisse n°4 : de 6,30 à 8,10 m

SONDAGE CAROTTE
SC19B



caisse n°5 : de 8,10 à 11,40 m

SONDAGE CAROTTE
SC19B



caisse n°6 : de 11,40 à 14,00 m



caisse n°7 : de 14,00 à 15,25 m



Piézomètre

Sondage SD19B

Dossier n° 20.013821

Profondeur 21,7 m

x

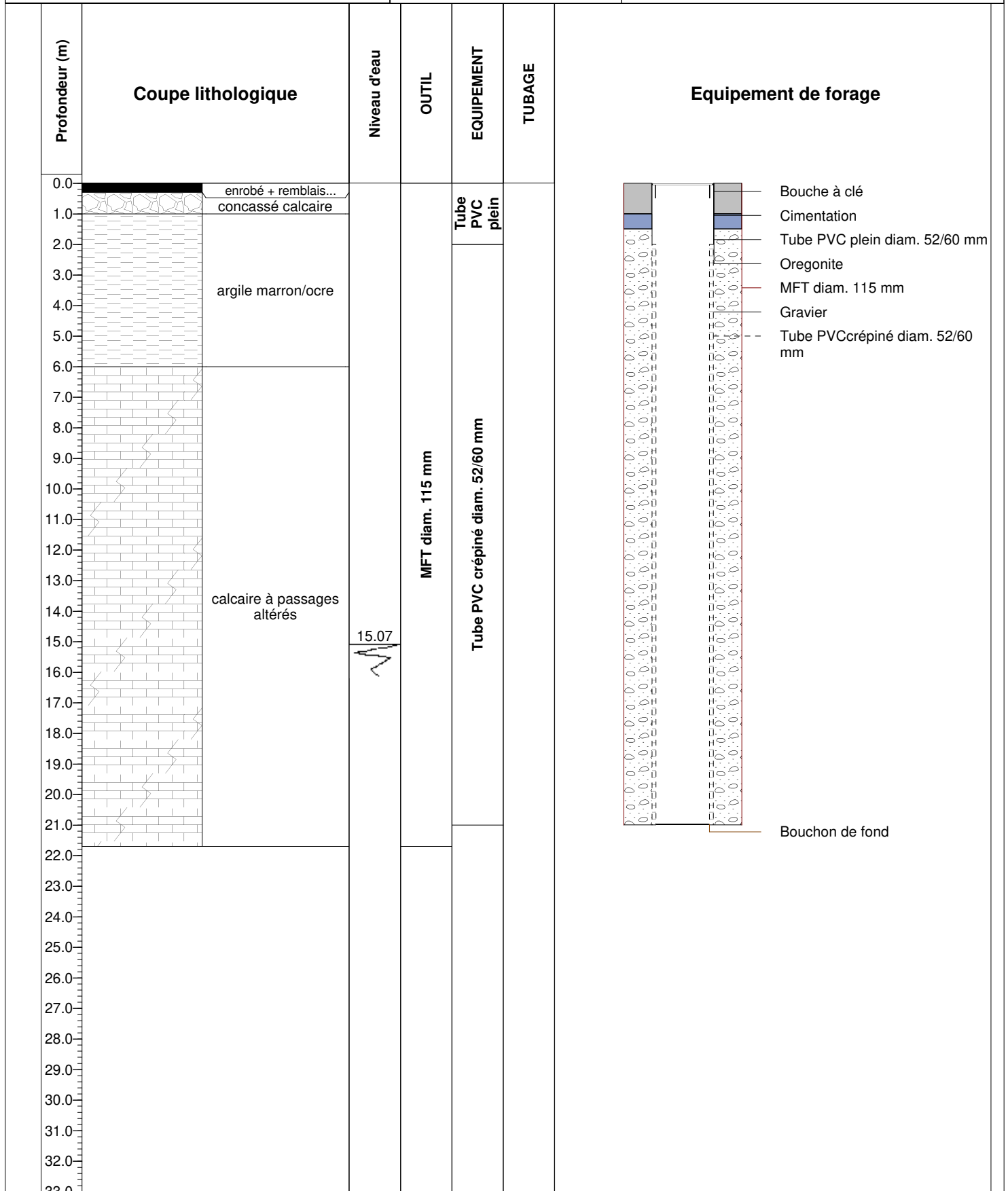
Date 01/03/2021

y

Niveau d'eau 15,07 m

z

Site route de la Corniche
64 - URRUGNE



Observation :



route de la Corniche
64 - URRUGNE

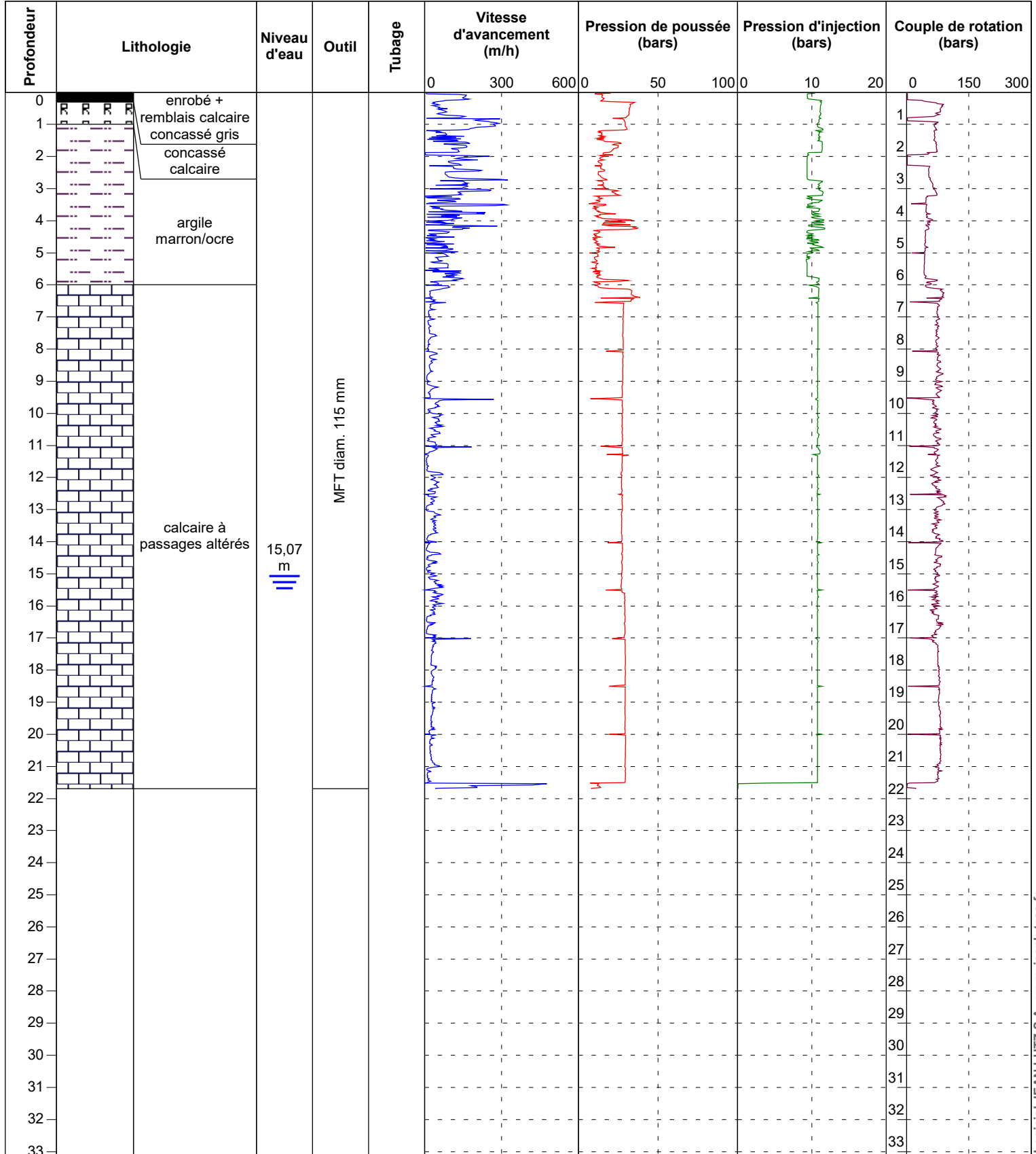
Dossier 20.013821

Date : 01/03/2021

Profondeur : 0,00 - 21,70 m

Forage : SD19B

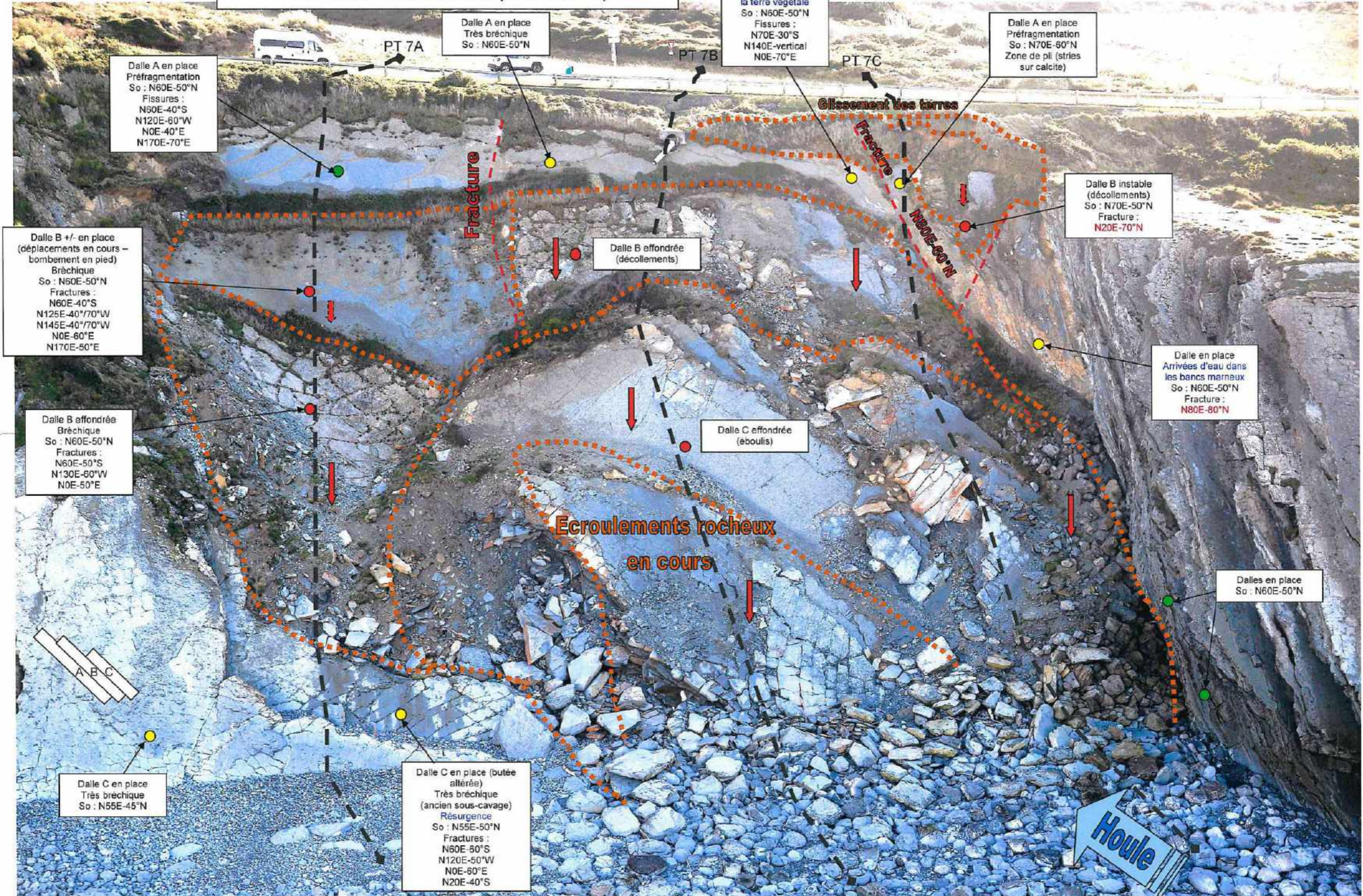
EXGTE 3.22/LB2EPF579FR

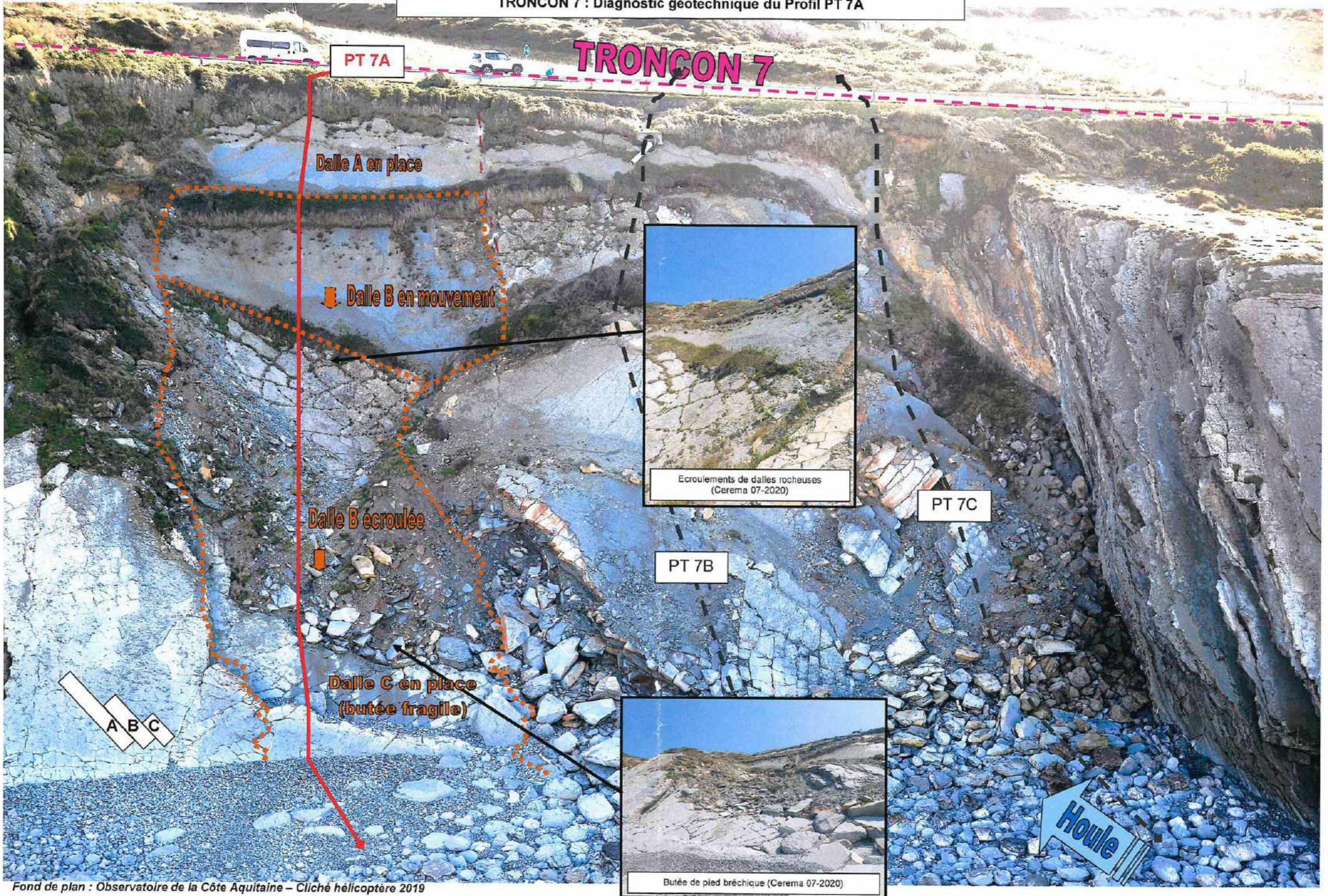


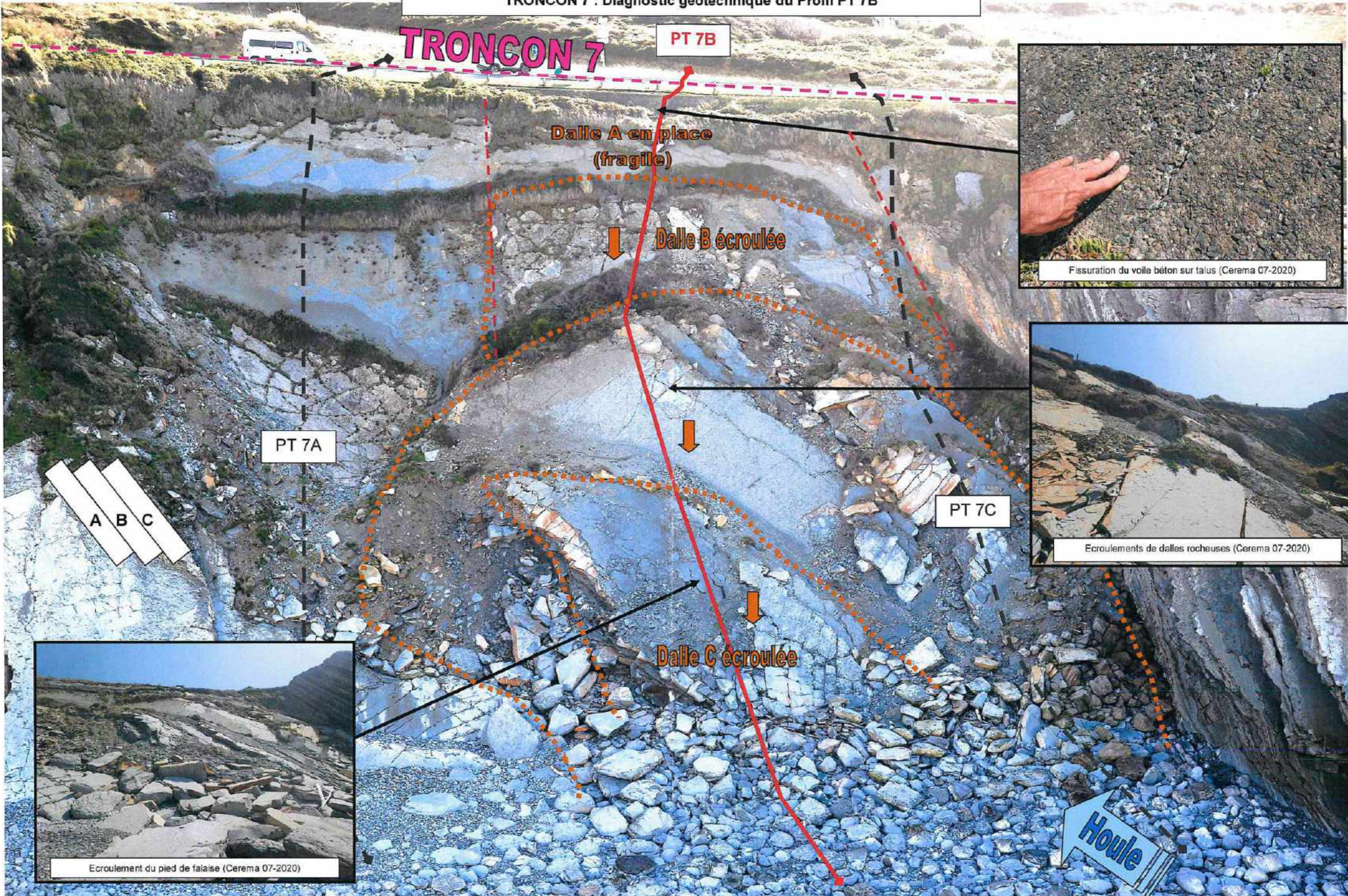
ANNEXE 2

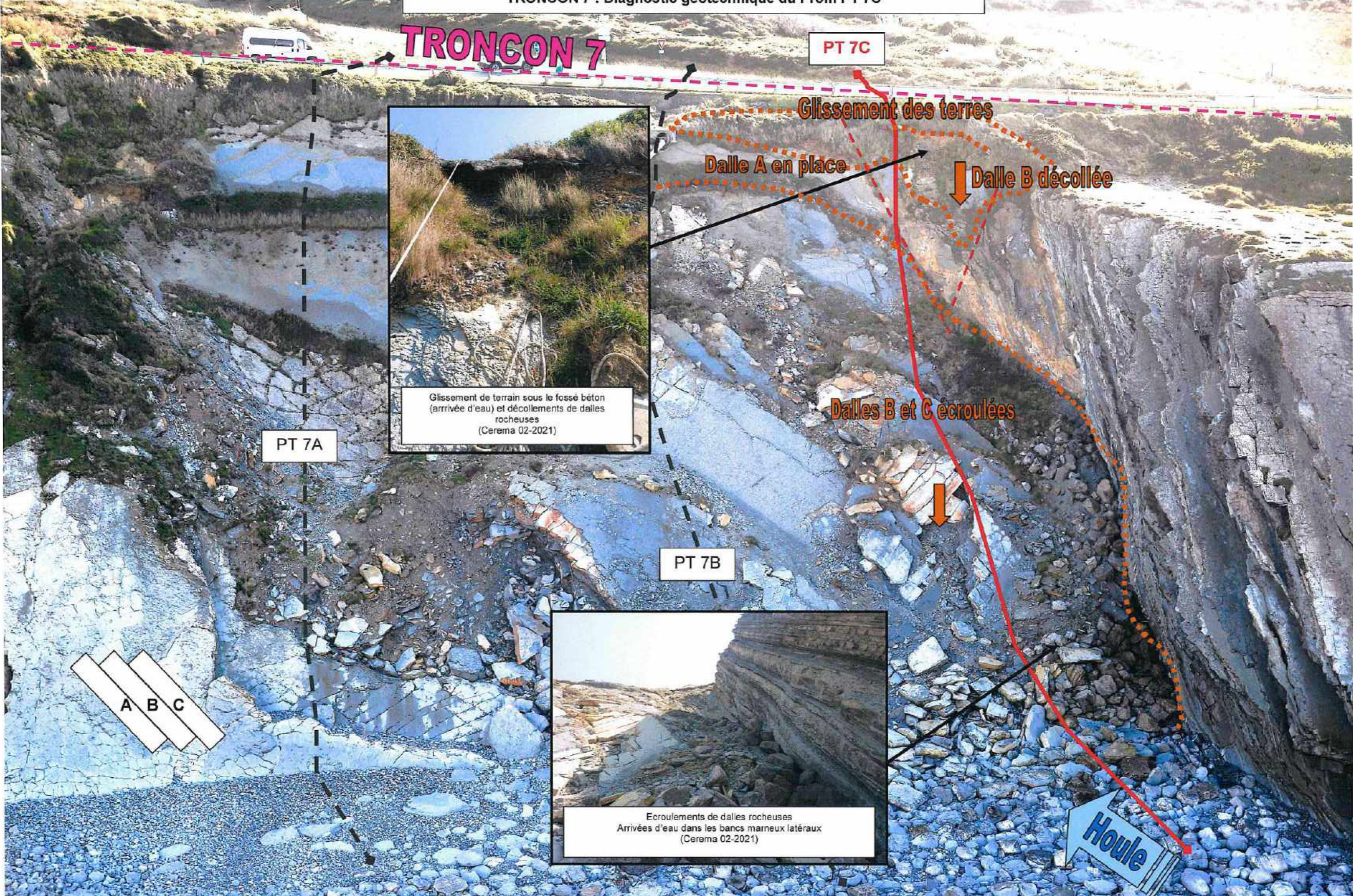
Levés de terrain et diagnostics géotechniques

TRONCON 7









TRONCON 9

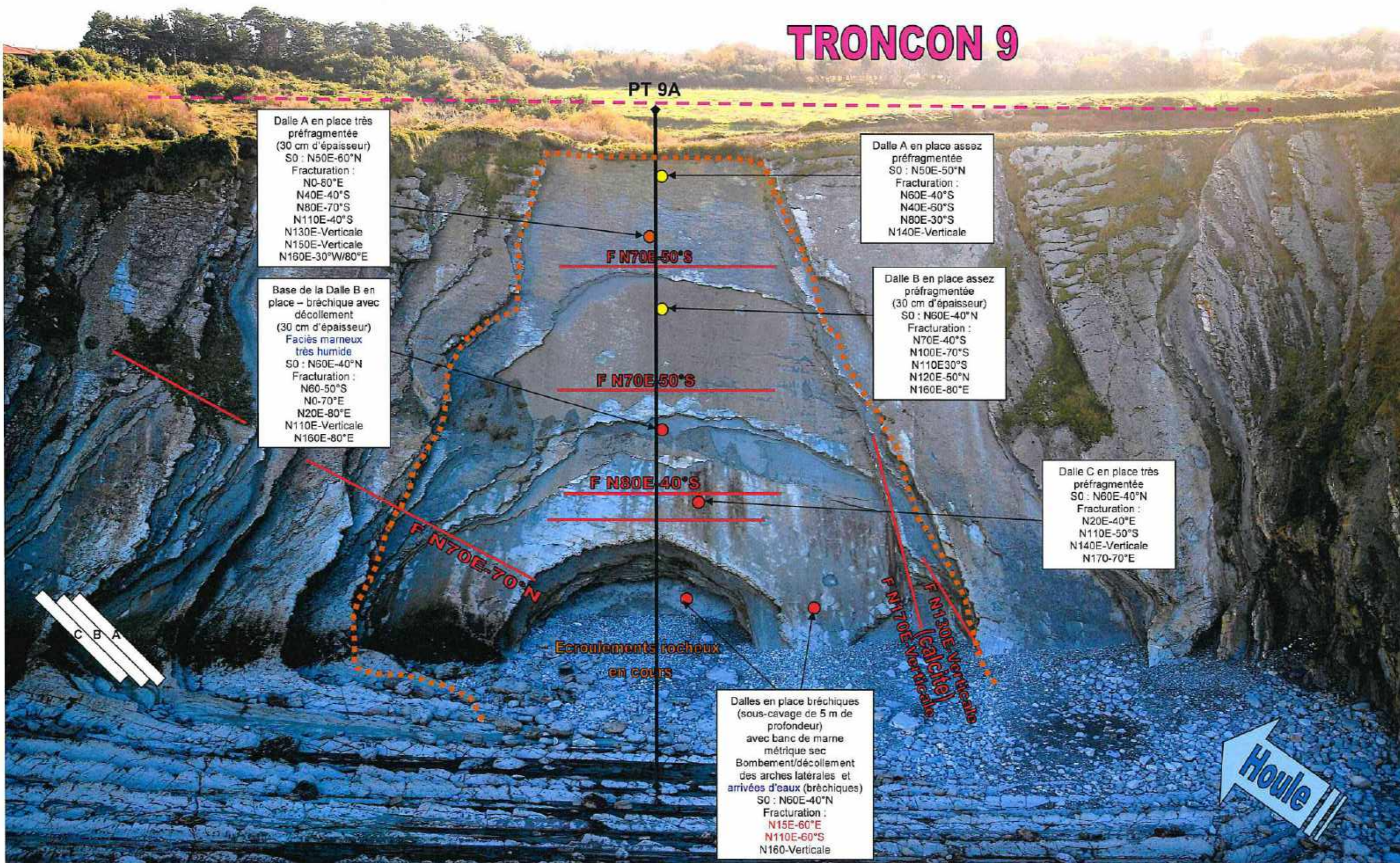
RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 9 : Levés de terrain du PT 9A (19 février 2021)

NORD-EST

SUD-OUEST

TRONCON 9



Fond de plan : Observatoire de la Côte Aquitaine – Cliché hélicoptère 2019

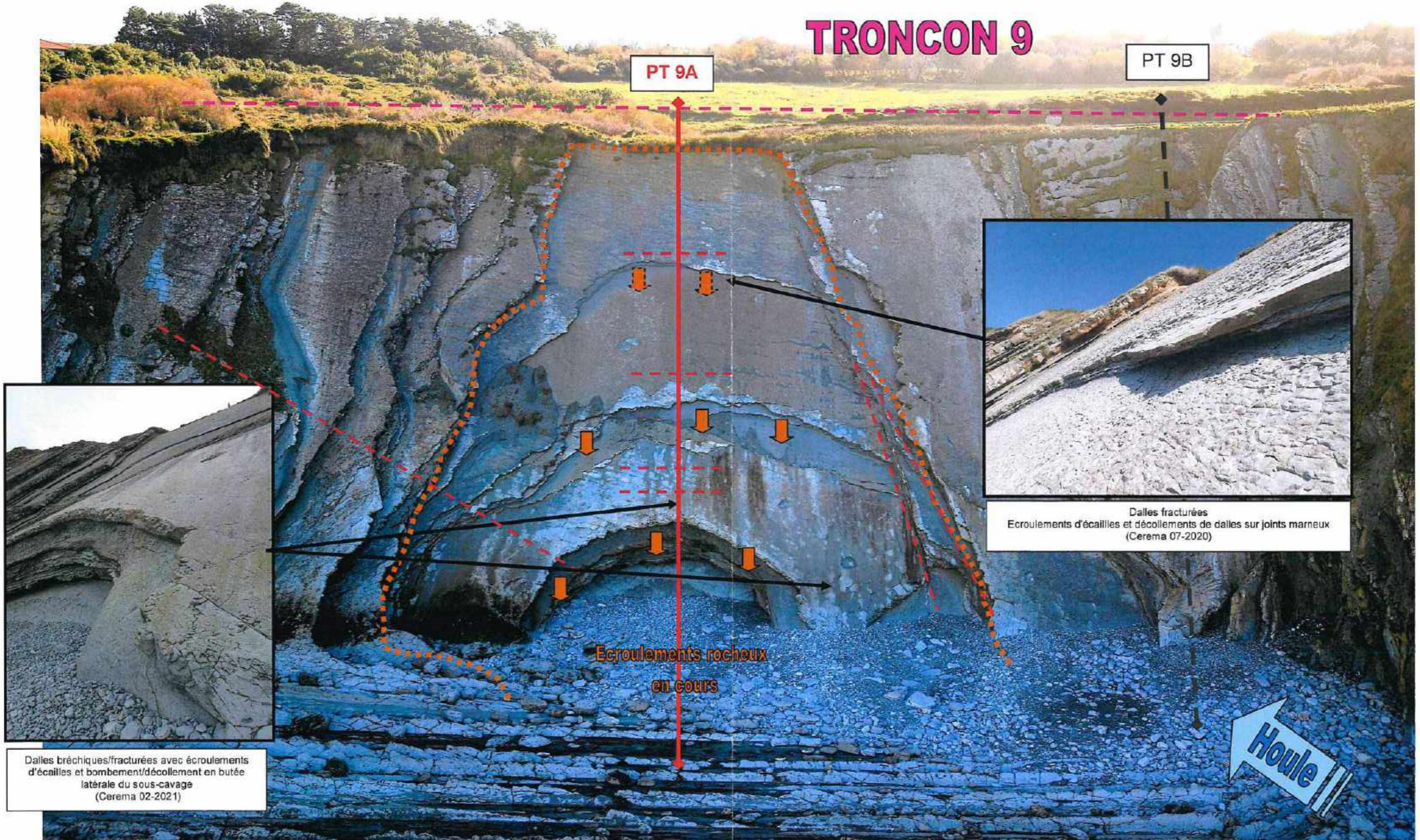
RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 9 : Diagnostic géotechnique du Profil PT 9A

NORD-EST

SUD-OUEST

TRONCON 9



Dalles bréchiques/fracturées avec écoulements d'écaillies et bombement/décollement en butée latérale du sous-cavage (Cerema 02-2021)



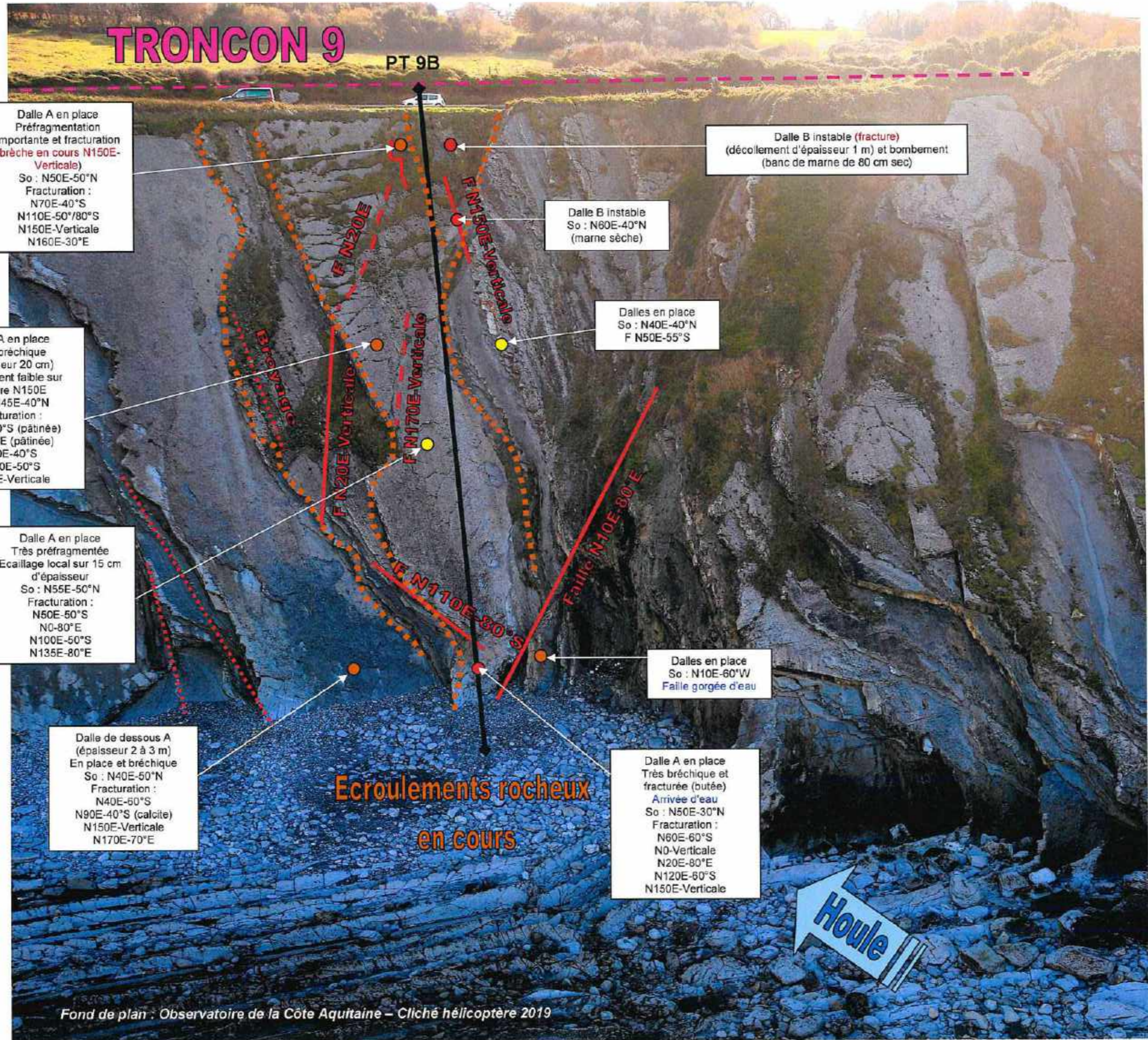
Dalles fracturées
Ecoulements d'écaillies et décollements de dalles sur joints marneux (Cerema 07-2020)

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 9 : Levés de terrain du PT 9B (19 février 2021)

NORD-EST

SUD-OUEST



Dalle A en place
Préfragmentation
importante et fracturation
(brèche en cours N150E-
Verticale)
So : N50E-50°N
Fracturation :
N70E-40°S
N110E-50°/80°S
N150E-Verticale
N160E-30°E

Dalle B instable (fracture)
(décollement d'épaisseur 1 m) et bombement
(banc de marne de 80 cm sec)

Dalle B instable
So : N60E-40°N
(marne sèche)

Dalles en place
So : N40E-40°N
F N50E-55°S

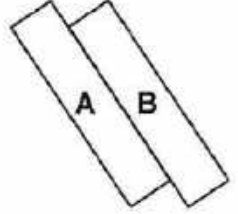
Dalle A en place
Très bréchique
(épaisseur 20 cm)
Mouvement faible sur
fracture N150E
So : N45E-40°N
Fracturation :
N40E-50°S (pâtinée)
N0-80°E (pâtinée)
N70E-40°S
N100E-50°S
N170E-Verticale

Dalle A en place
Très préfragmentée
Ecaillage local sur 15 cm
d'épaisseur
So : N55E-50°N
Fracturation :
N50E-50°S
N0-80°E
N100E-50°S
N135E-80°E

Dalles en place
So : N10E-60°W
Faille gorgée d'eau

Dalle de dessous A
(épaisseur 2 à 3 m)
En place et bréchique
So : N40E-50°N
Fracturation :
N40E-60°S
N90E-40°S (calcite)
N150E-Verticale
N170E-70°E

Dalle A en place
Très bréchique et
fracturée (butée)
Arrivée d'eau
So : N50E-30°N
Fracturation :
N60E-60°S
N0-Verticale
N20E-80°E
N120E-60°S
N150E-Verticale

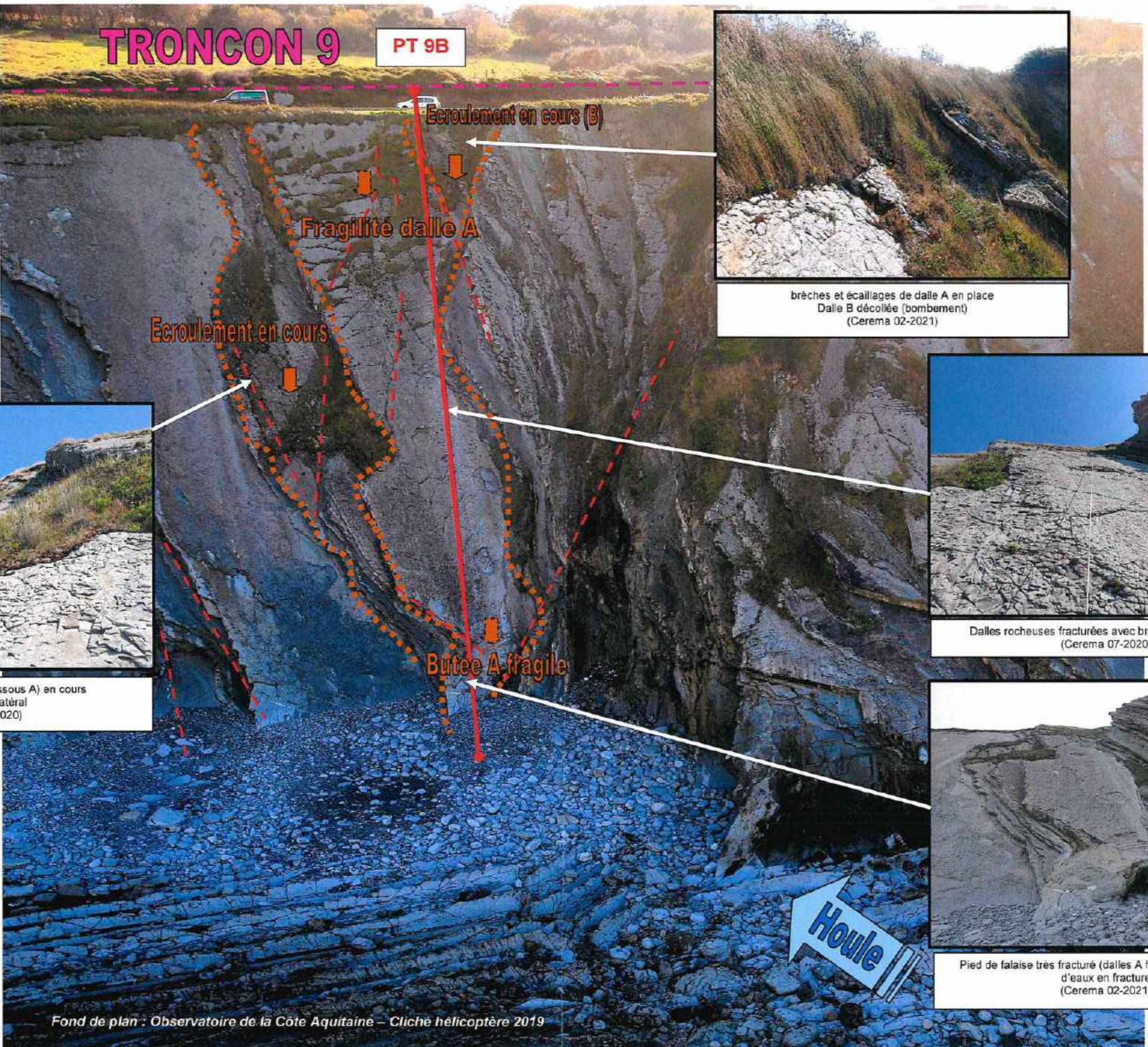


RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 9 : Diagnostic géotechnique du Profil PT 9B

NORD-EST

SUD-OUEST



brèches et écaillages de dalle A en place
Dalle B décollée (bombement)
(Cerema 02-2021)



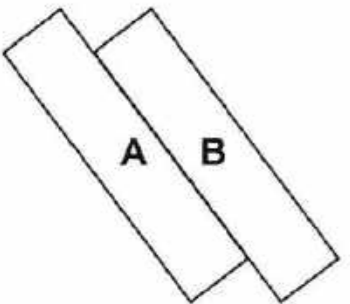
Dalles rocheuses fracturées avec brèches et écaillages
(Cerema 07-2020)



Pied de falaise très fracturé (dalles A fragiles) avec arrivée d'eaux en fracture
(Cerema 02-2021)



Eroulement de dalles (dessous A) en cours avec broyage latéral
(Cerema 07-2020)



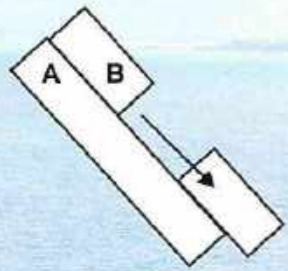
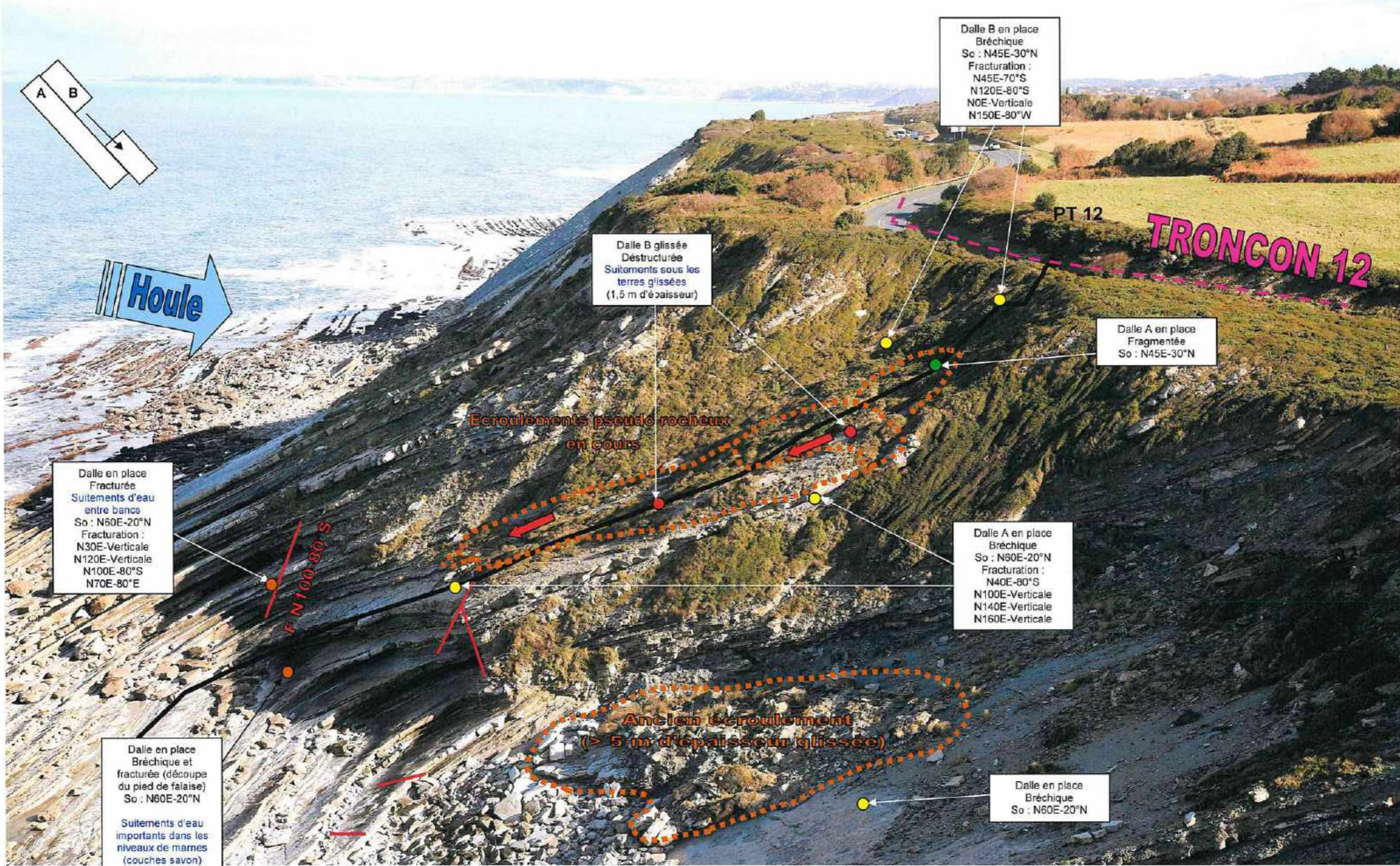
TRONCON 12

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 12 : Levés de terrain (17 février 2021)

OUEST

EST



Dalle B en place
Bréchique
So : N45E-30°N
Fracturation :
N45E-70°S
N120E-80°S
NOE-Verticale
N150E-90°W

Dalle B glissée
Déstructurée
Suitements sous les
terres glissées
(1,5 m d'épaisseur)

Dalle A en place
Fragmentée
So : N45E-30°N

Dalle en place
Fracturée
Suitements d'eau
entre bancs
So : N60E-20°N
Fracturation :
N30E-Verticale
N120E-Verticale
N100E-80°S
N70E-80°E

Dalle A en place
Bréchique
So : N60E-20°N
Fracturation :
N40E-80°S
N100E-Verticale
N140E-Verticale
N160E-Verticale

Dalle en place
Bréchique et
fracturée (découpe
du pied de falaise)
So : N60E-20°N

Suitements d'eau
importants dans les
niveaux de marnes
(couches savon)

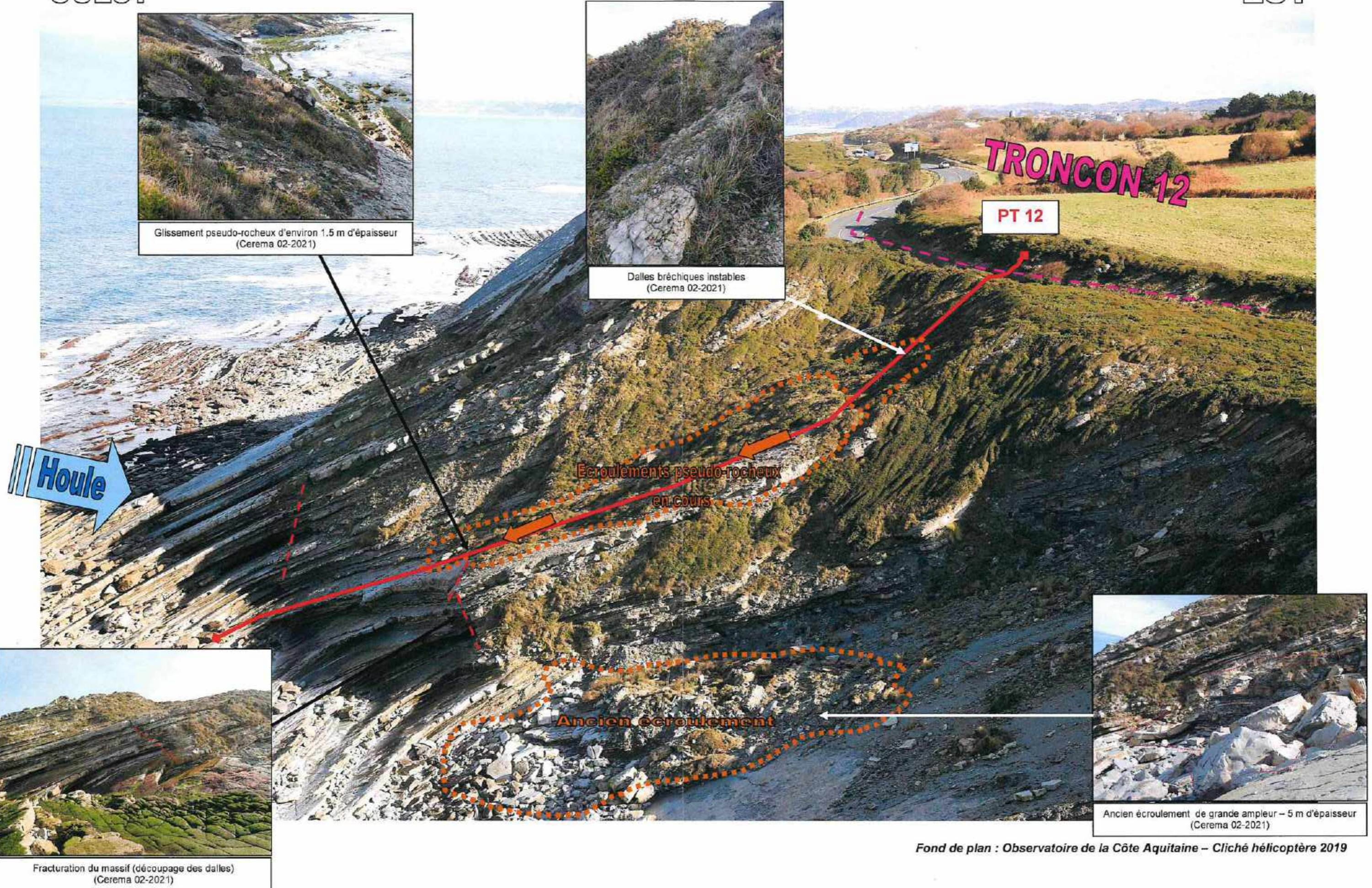
Dalle en place
Bréchique
So : N60E-20°N

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 12 : Diagnostic géotechnique du Profil PT 12

OUEST

EST



Glissement pseudo-rocheux d'environ 1.5 m d'épaisseur (Cerema 02-2021)



Dalles bréchiques instables (Cerema 02-2021)

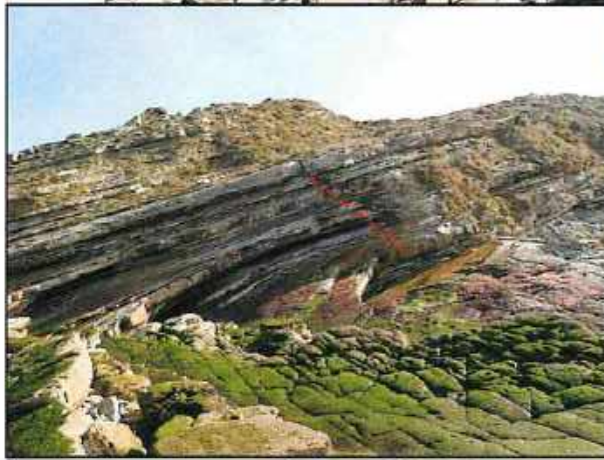
TRONCON 12

PT 12

Houle

Écroulements pseudo-rocheux en cours

Ancien écoulement



Fracturation du massif (découpage des dalles) (Cerema 02-2021)



Ancien écoulement de grande ampleur – 5 m d'épaisseur (Cerema 02-2021)

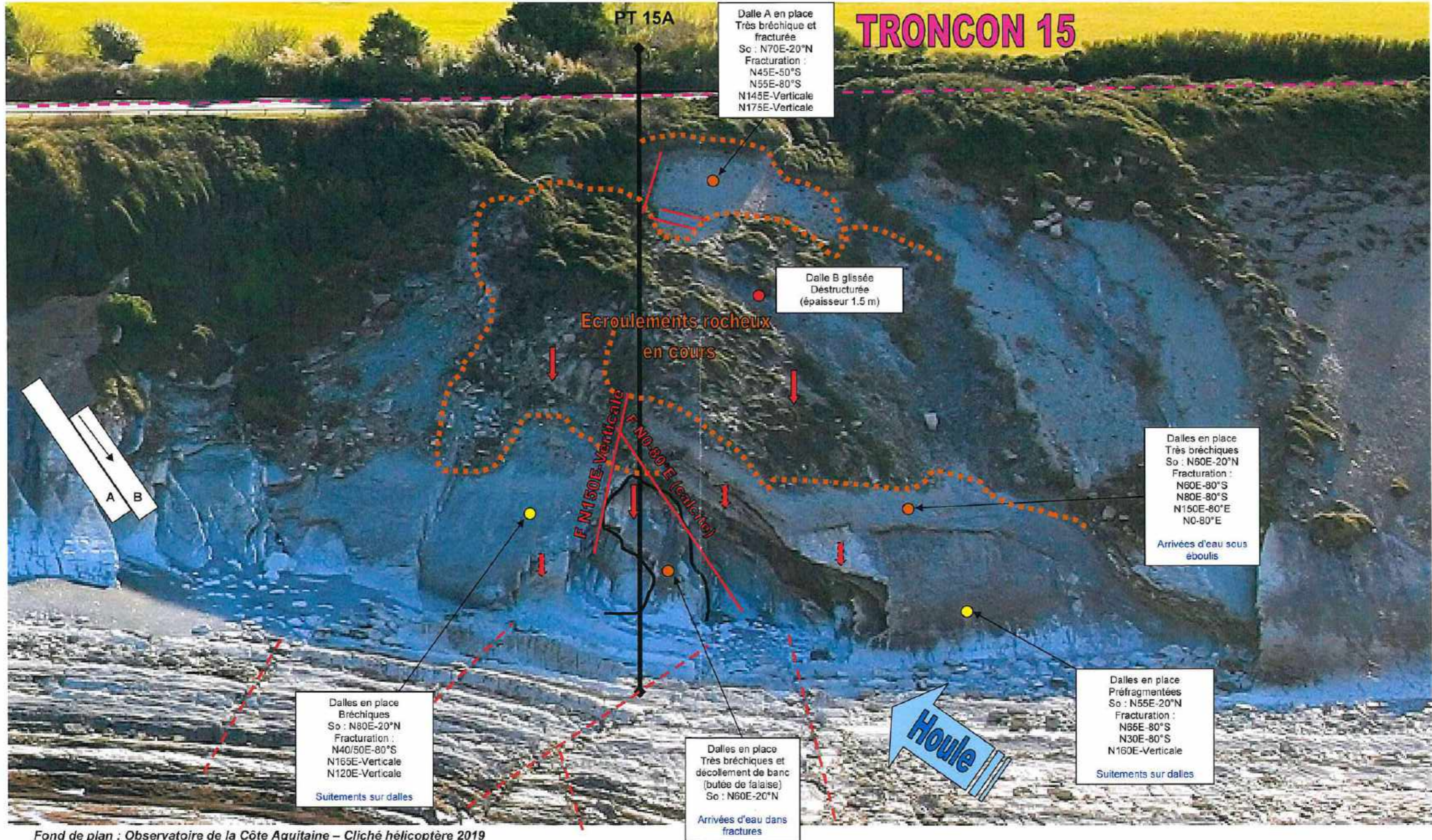
TRONCON 15

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 15 : Levés de terrain du PT 15A (17 février 2021)

NORD-EST

SUD-OUEST



Fond de plan : Observatoire de la Côte Aquitaine – Cliché hélicoptère 2019

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 15 : Diagnostic géotechnique du Profil PT 15A

NORD-EST

SUD-OUEST



Dalle fracturée/décollée et glissements superficiels
(Cerema 02-2021)



Écroulement pseudo-rocheux en cours – 1.5 m d'épaisseur
(Cerema 02-2021)



PT 15A

TRONCON 15

Dalle en place fragile

Écroulements pseudo-rocheux en cours

Sous-cavage
Butée fragile



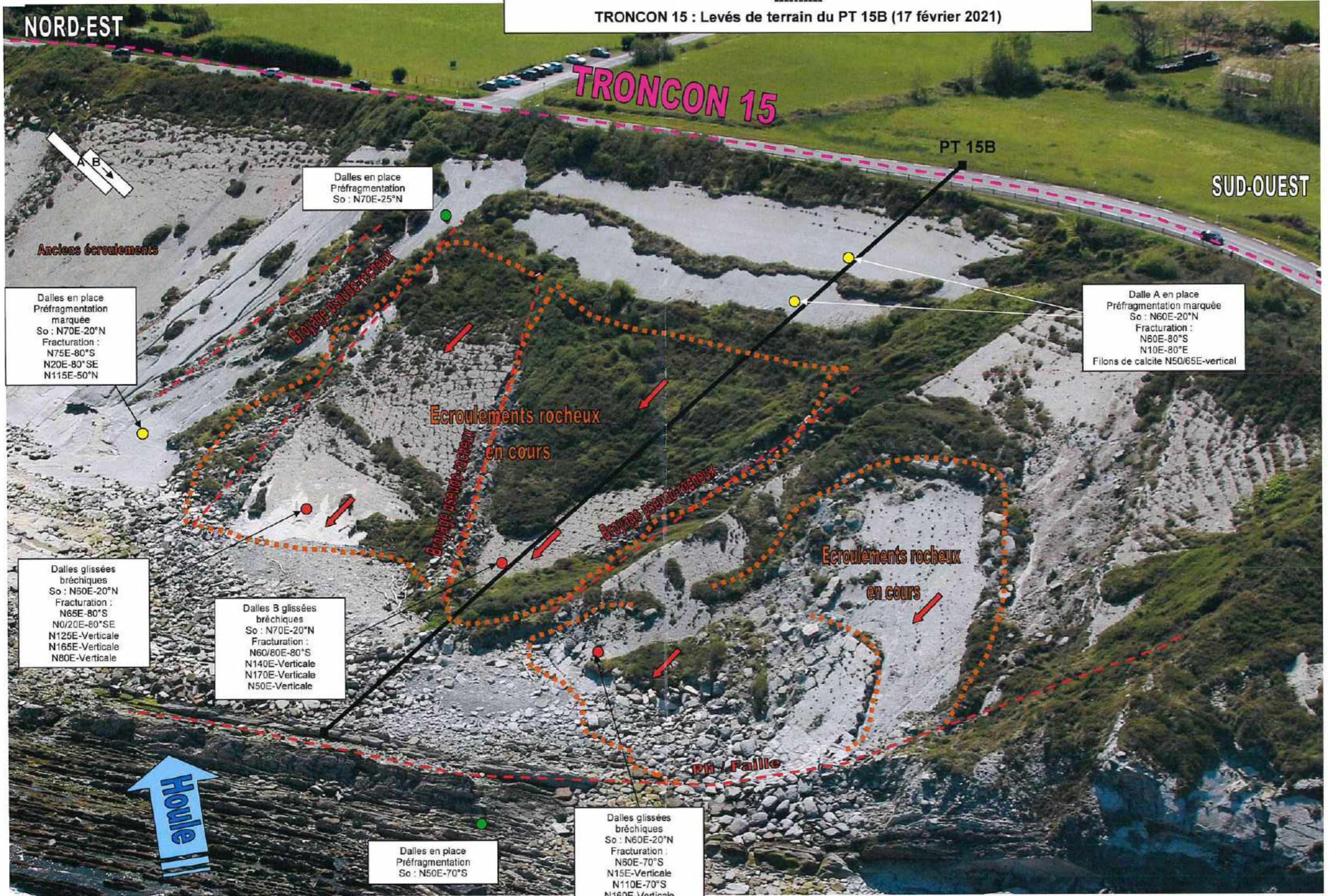
Écroulements dans une zone de fractures
(Cerema 07-2020)



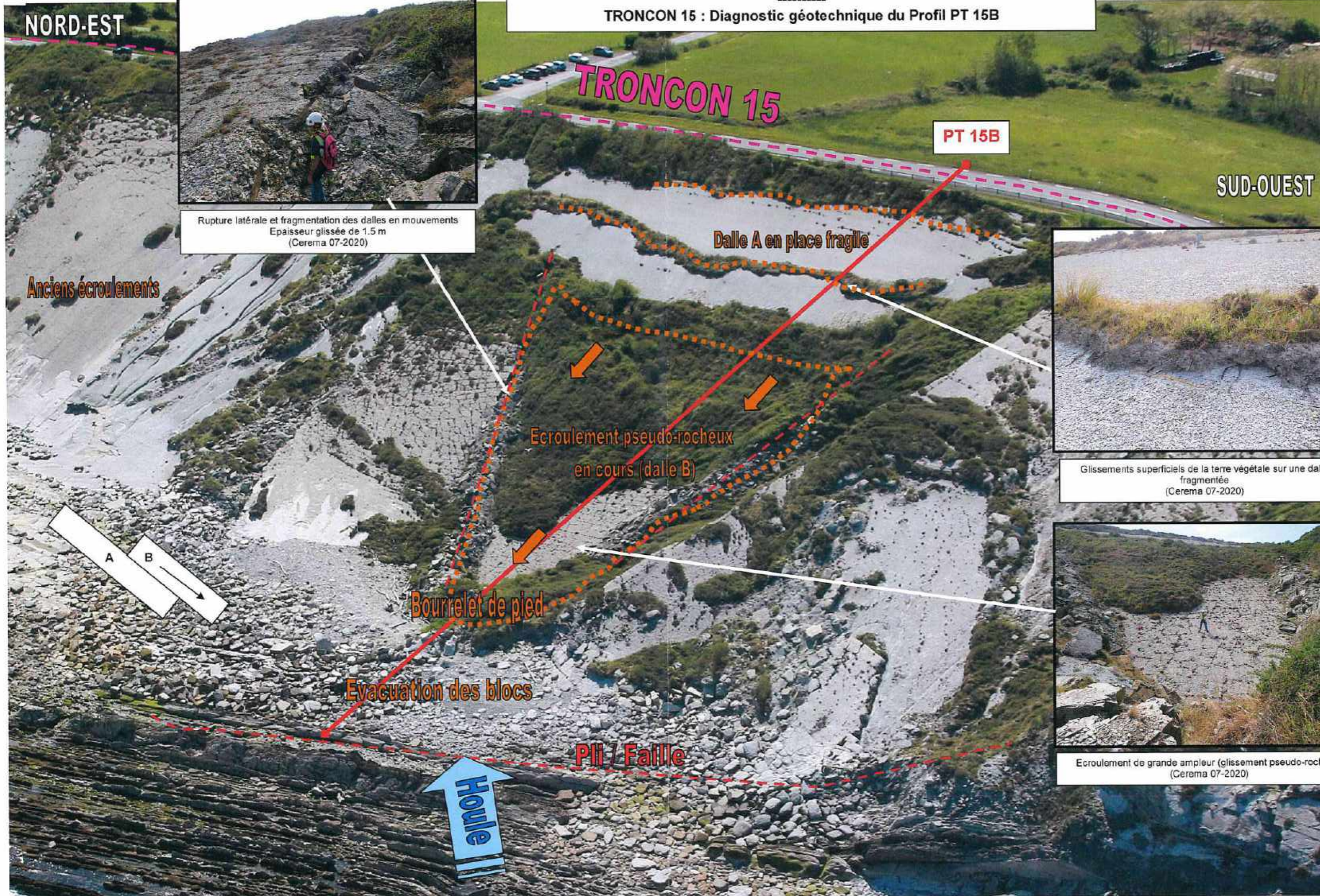
Chutes de dalles au toit du sous-cavage
(Cerema 07-2020)

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 15 : Levés de terrain du PT 15B (17 février 2021)



RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)
TRONCON 15 : Diagnostic géotechnique du Profil PT 15B



Rupture latérale et fragmentation des dalles en mouvements
Epaisseur glissée de 1.5 m
(Cerema 07-2020)



Glissements superficiels de la terre végétale sur une dalle fragmentée
(Cerema 07-2020)



Ecoulement de grande ampleur (glissement pseudo-rocheux)
(Cerema 07-2020)

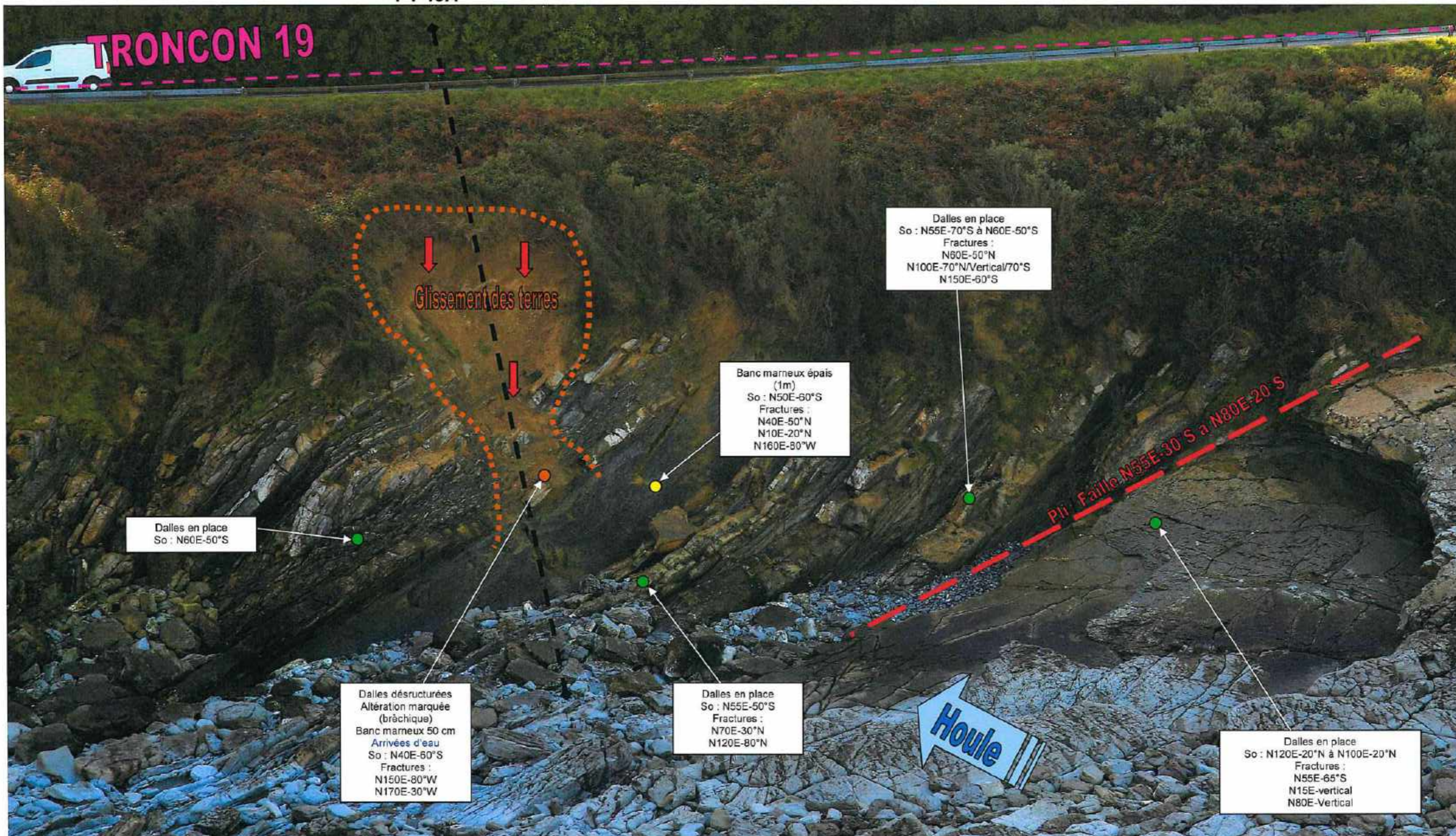
TRONCON 19

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

PT 19A – Levés de terrain (le 16 février 2021)

EST

OUEST



Fond de plan : Observatoire de la Côte Aquitaine – Cliché hélicoptère 2019

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 19 : Diagnostic géotechnique du Profil PT 19A

EST

OUEST

PT 19A

TRONCON 19

Glissement des terres

Forte humidité dans les altérites limoneuses glissées
(épaisseur 5 m)
(Cerema 07-2020)

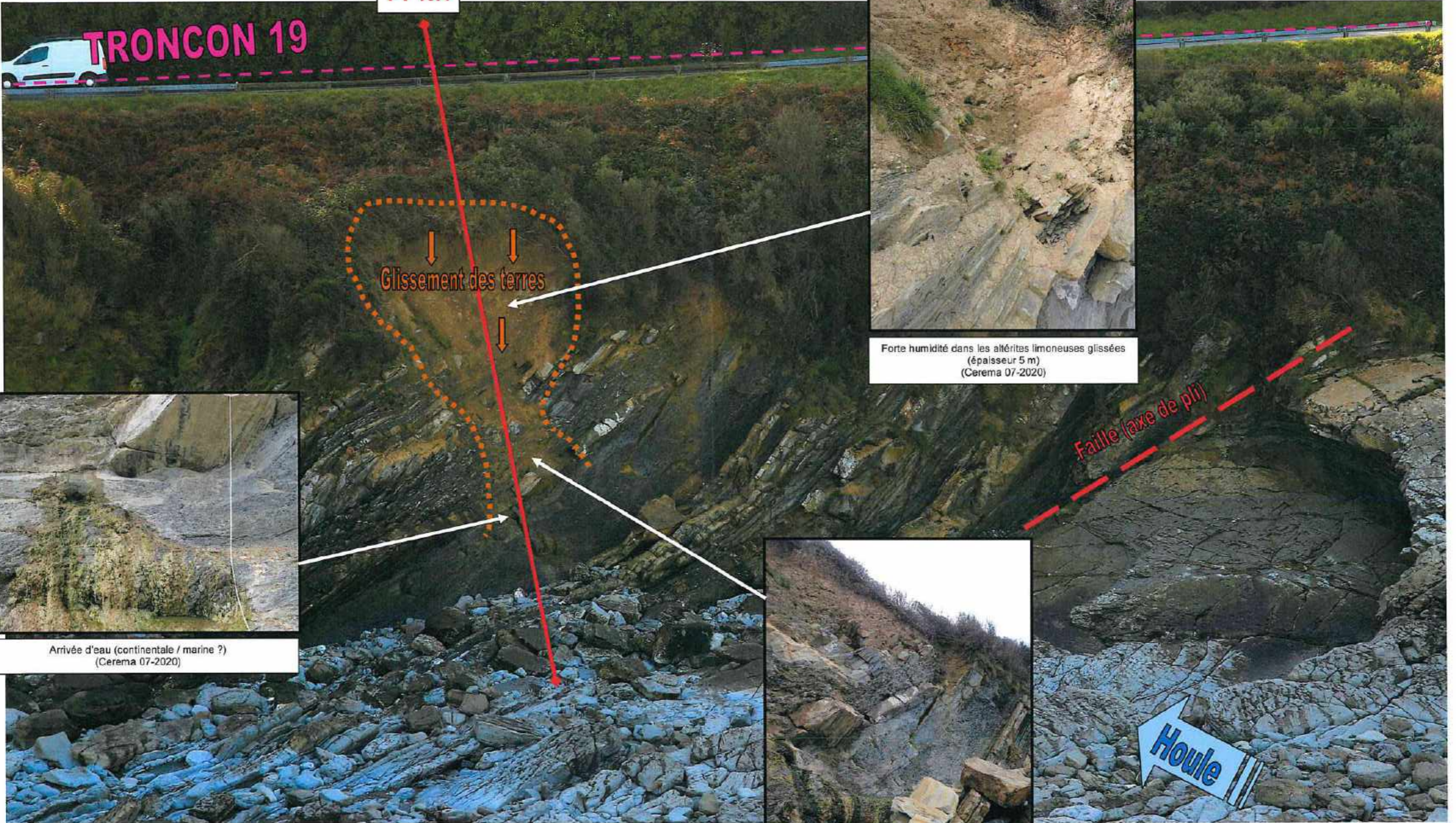
Faille (axe de pli)

Houle

Dalles rocheuses déstructurées / bréchiques
(Cerema 02-2021)

Arrivée d'eau (continentale / marine ?)
(Cerema 07-2020)

Fond de plan : Observatoire de la Côte Aquitaine – Cliché hélicoptère 2019

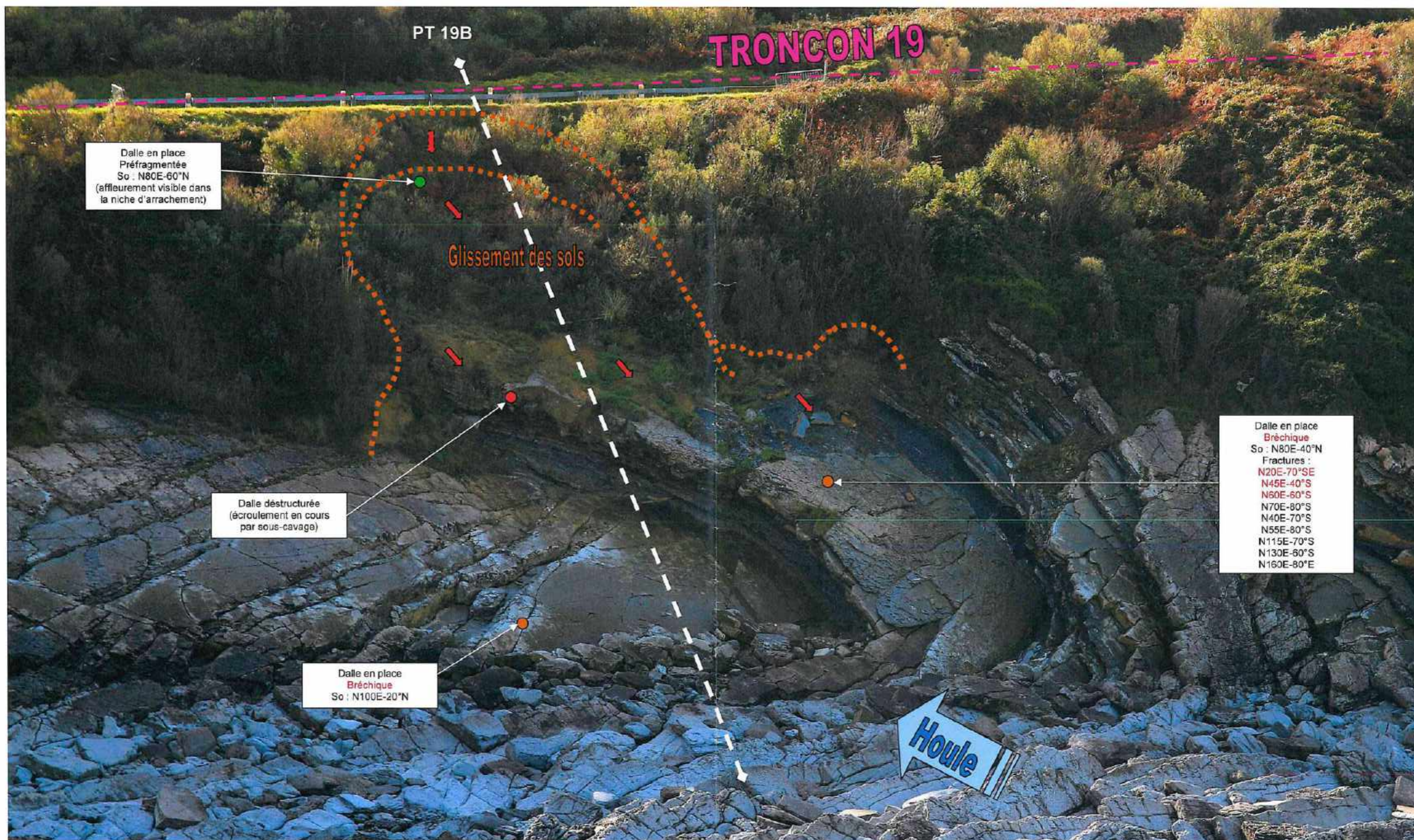


EST

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

PT 19B – Levés de terrain (le 16 février 2021)

OUEST

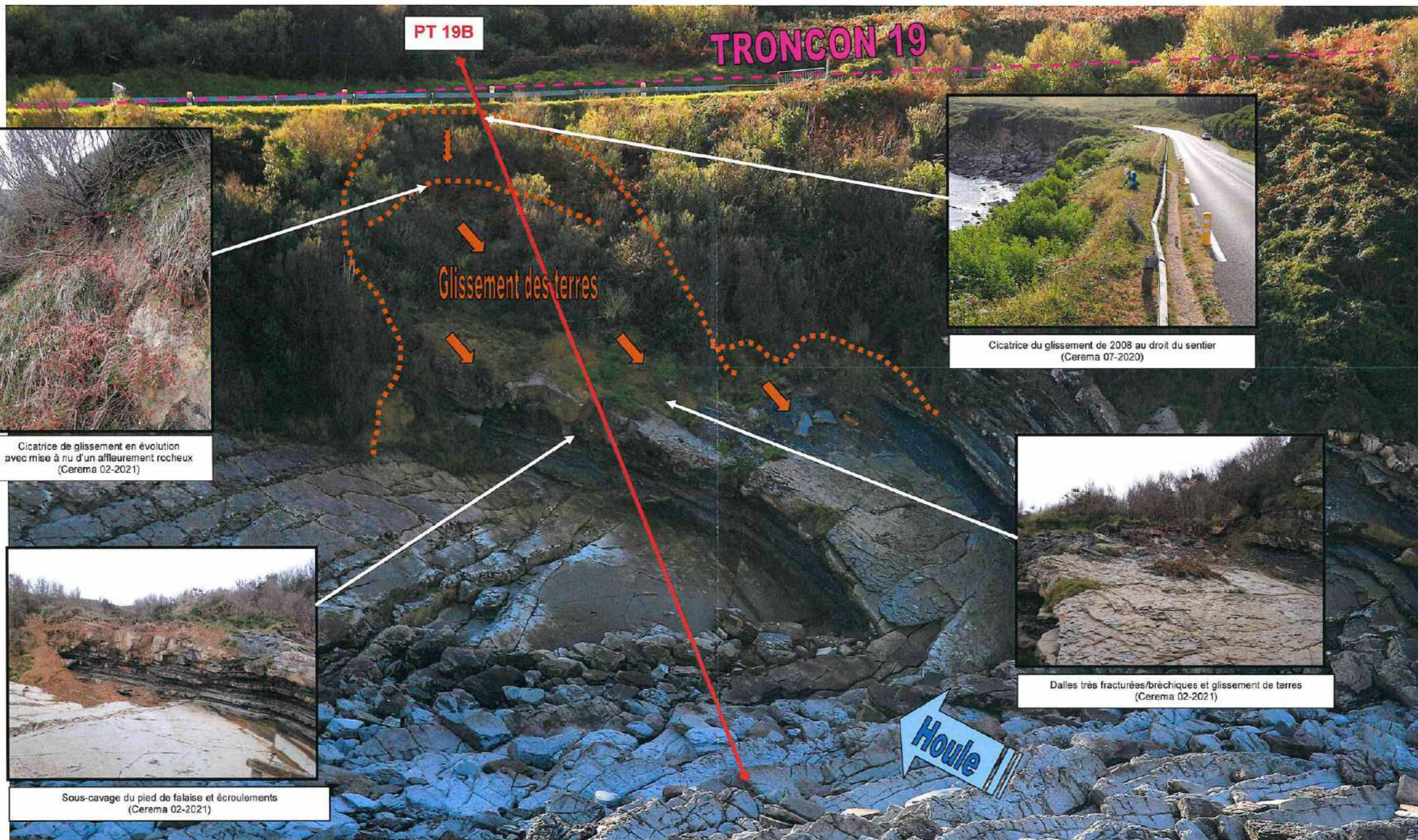


EST

RD 912 – Route de la Corniche (URRUGNE)

TRONCON 19 : Diagnostic géotechnique du Profil PT 19B

OUEST



ANNEXE 3

Profils géotechniques

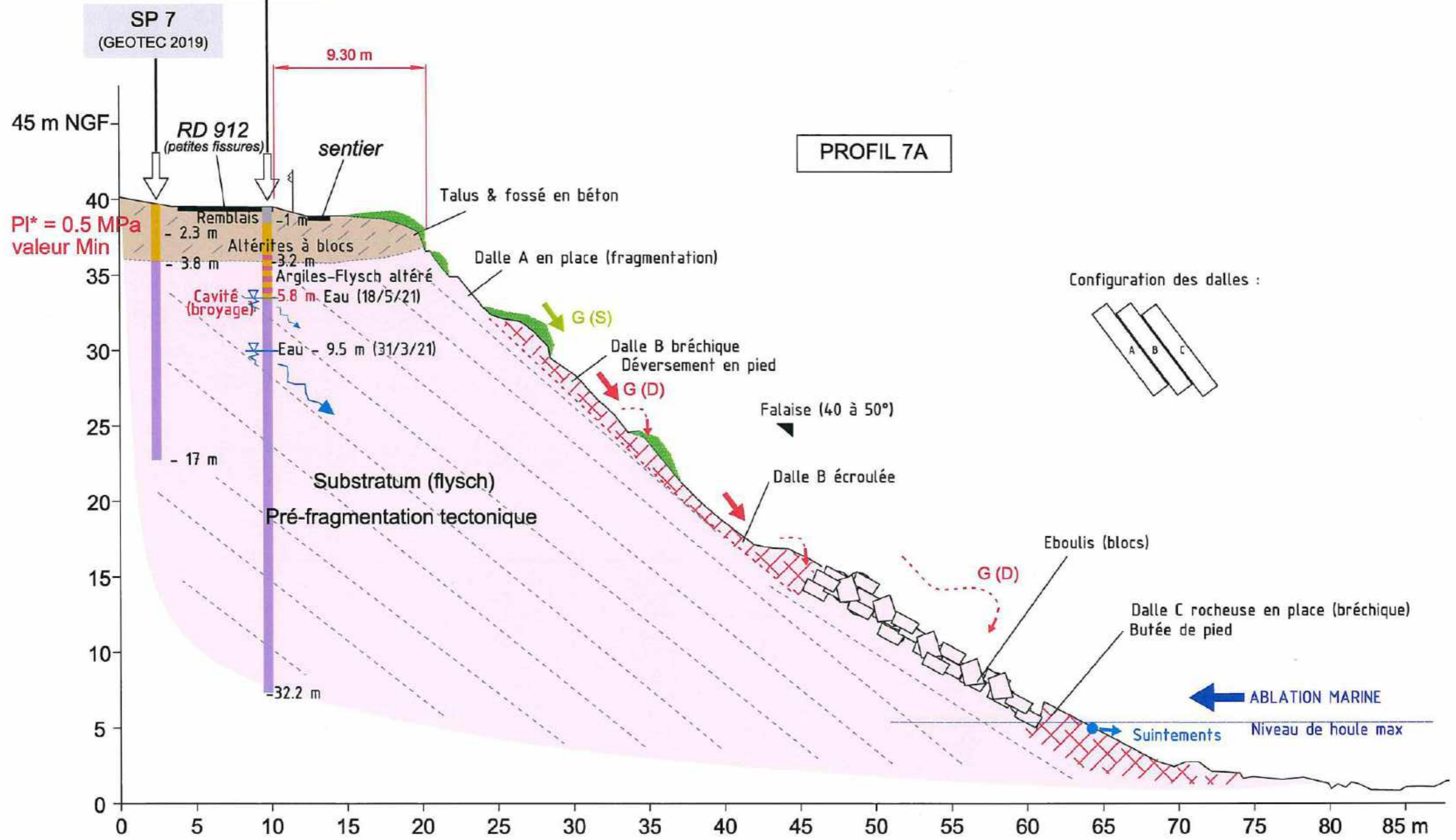
S - SE

Commune d'URRUGNE - Route de la corniche

N - NV

SD 7A-Pz
(TEMSOL 2021)

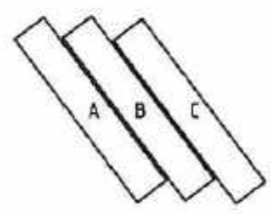
Profil 7A - Echelle : 1/250 (1H / 1V)



PI* = 0.5 MPa
valeur Min

PROFIL 7A

Configuration des dalles :



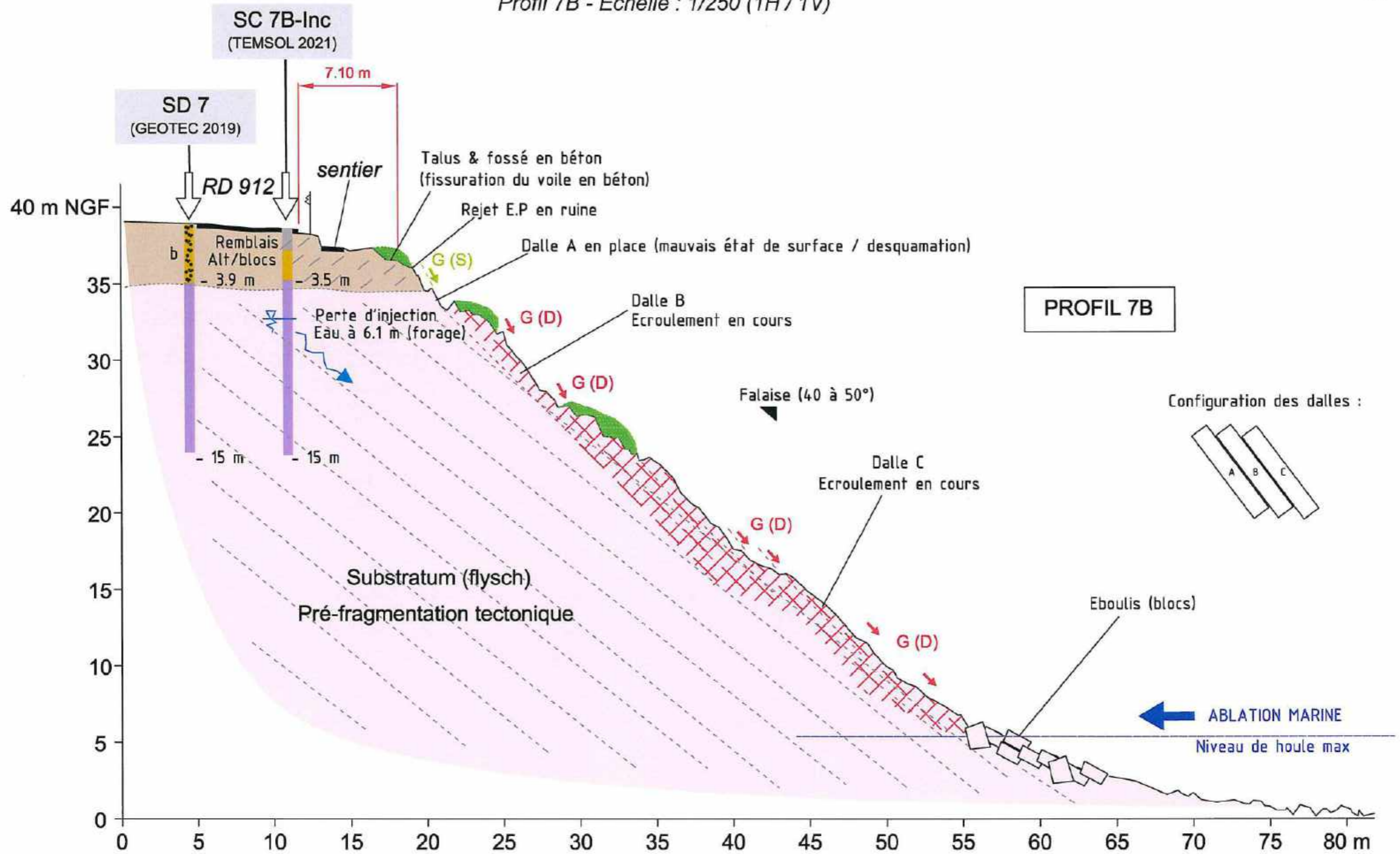
- LEGENDE :
- : Formations superficielles / altérites
 - : Flysch
 - : Brèches de fracturation
 - G (S) : glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.)
 - G (D) : glissement pseudo-rocheux / écroulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)

S - SE

Commune d'URRUGNE - Route de la corniche

Profil 7B - Echelle : 1/250 (1H / 1V)

N - NV



LEGENDE : : Formations superficielles / altérites

: Flysch : Brèches de fracturation

(S) : glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.)

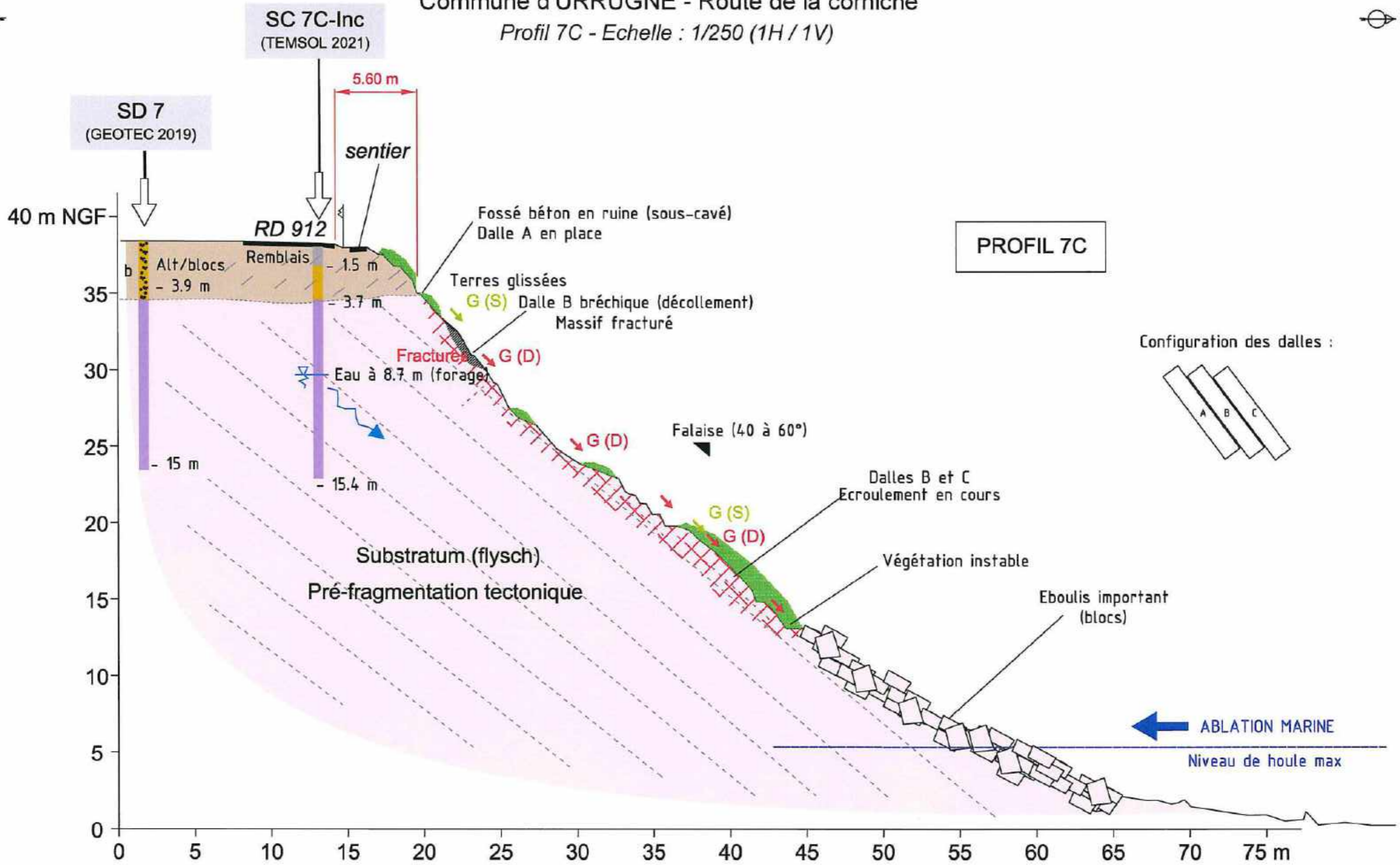
(D) : glissement pseudo-rocheux / éroulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)

S - SE

N - NV

Commune d'URRUGNE - Route de la corniche

Profil 7C - Echelle : 1/250 (1H / 1V)



- LEGENDE :**
- : Formations superficielles / altérites
 - : Flysch
 - : Brèches de fracturation
 - G (S) : glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.)
 - G (D) : glissement pseudo-rocheux / éroulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)

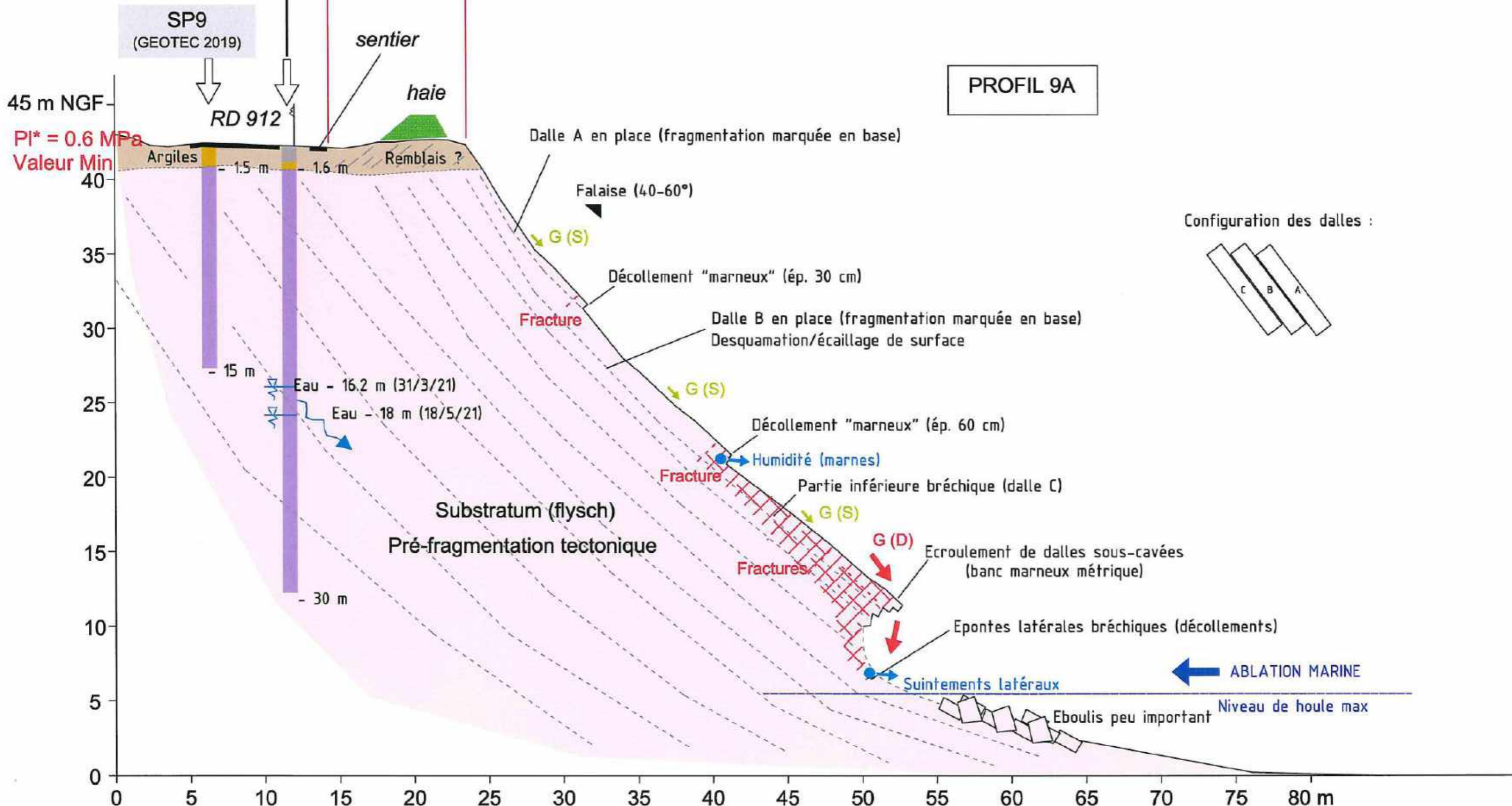
S - SE

SD9A-Pz
(TEMSOL 2021)

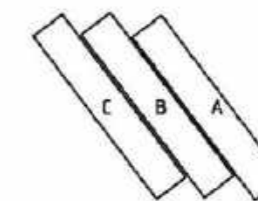
Commune d'URRUGNE - Route de la corniche

Profil 9A - Echelle : 1/250 (1H / 1V)

N - NW



Configuration des dalles :



LEGENDE :

Formations superficielles / altérites

Flysch

Brèches de fracturation

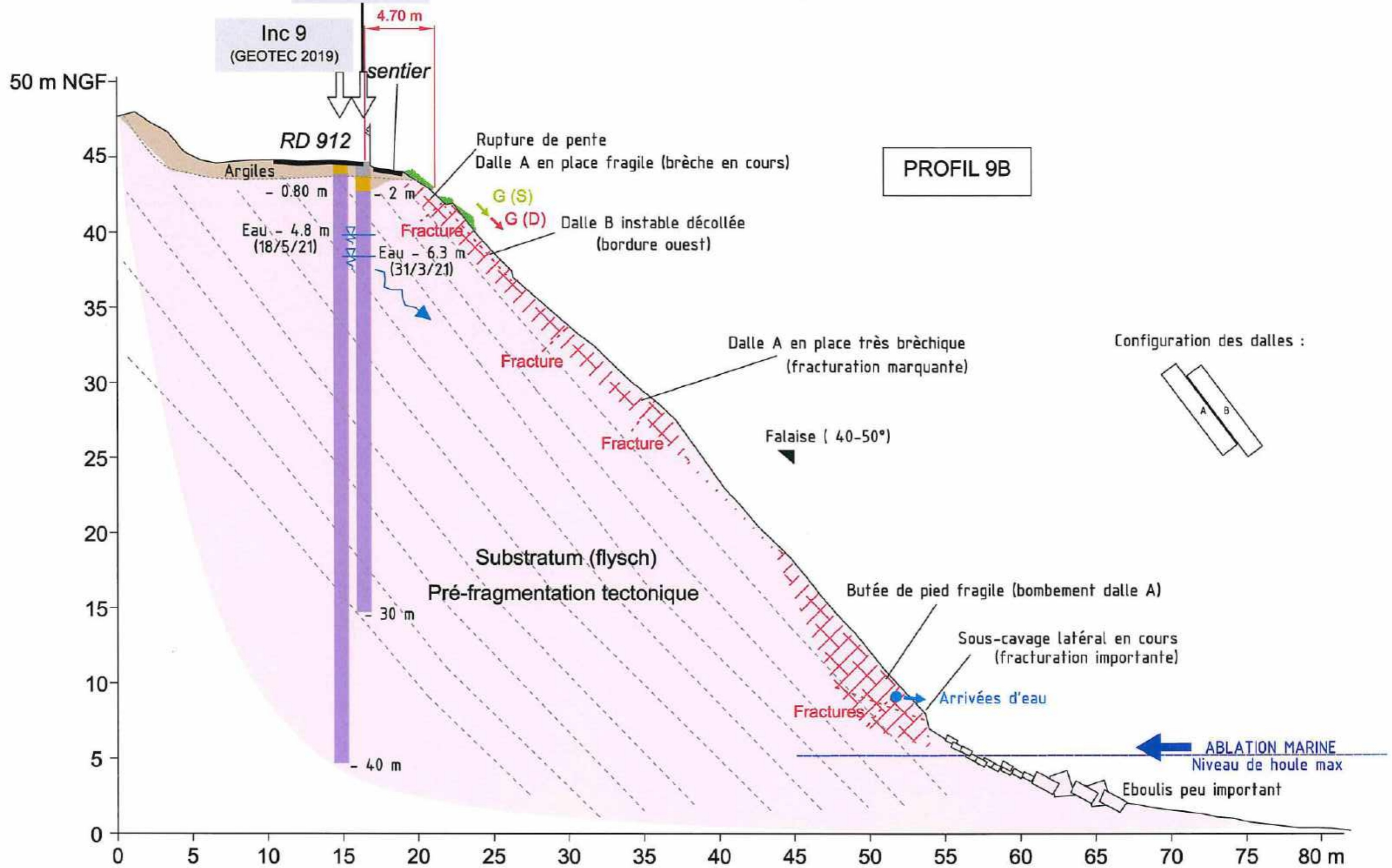
G (S) : glissement superficiel
(mouvements "plan" / écaillage sup.)

G (D) : glissement pseudo-rocheux / écroulement de dalle(s)
(mouvements "plan" / fragmentation en blocs)

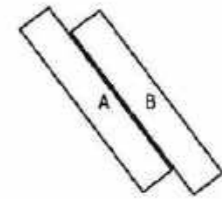
S - SE

SD9B-Pz Commune d'URRUGNE - Route de la corniche (TEMSOL 2021) Profil 9B - Echelle : 1/250 (1H / 1V)

N - NW



Configuration des dalles :

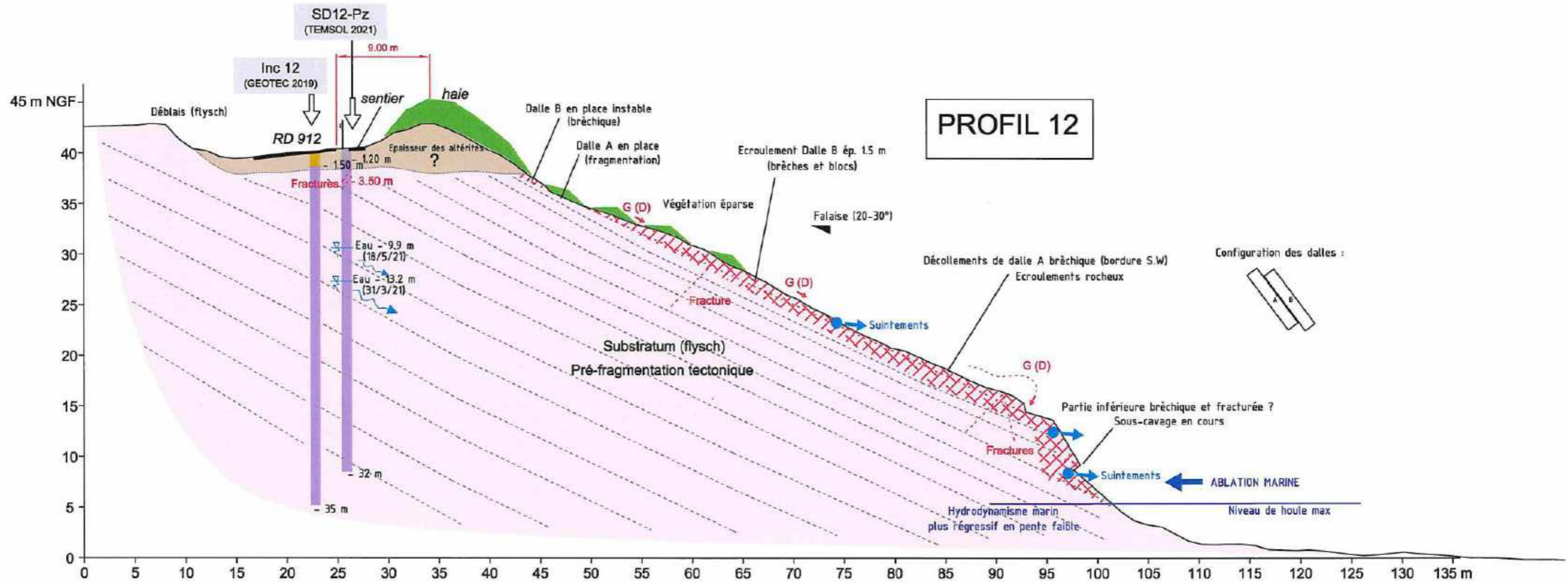


LEGENDE :

- : Formations superficielles / altérites
- : Flysch
- : Brèches de fracturation

G (S) : glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.)

G (D) : glissement pseudo-rocheux / écroulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)



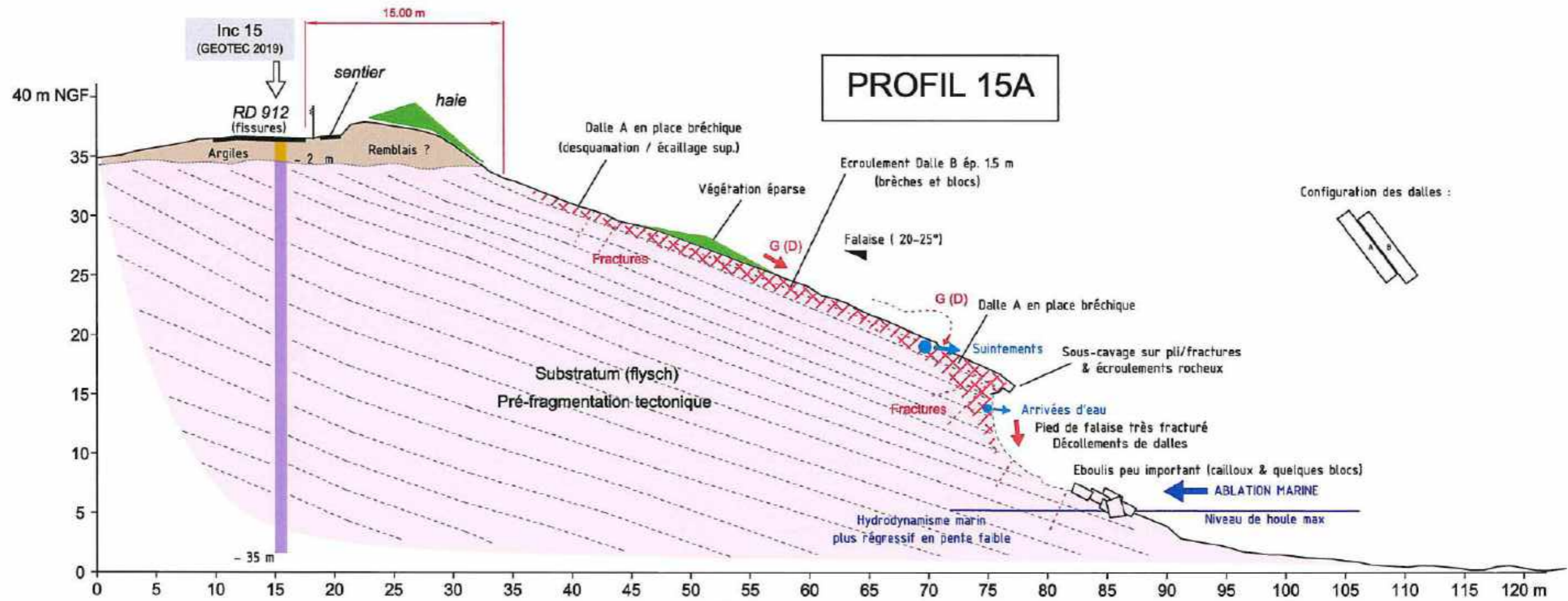
PROFIL 12

LEGENDE : : Formations superficielles / altérites : Flysch : Brèches de fracturation G (S) : glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.) G (D) : glissement pseudo-rocheux / écoulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)

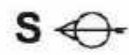


Commune d'URRUGNE - Route de la corniche

Profil 15A - Echelle : 1/400 (1H / 1V)



- LEGENDE :
- : Formations superficielles / altérites
 - : Flysch
 - : Brèches de fracturation
 - G (S) : glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.)
 - G (D) : glissement pseudo-rocheux / éroulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)

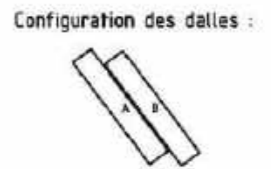
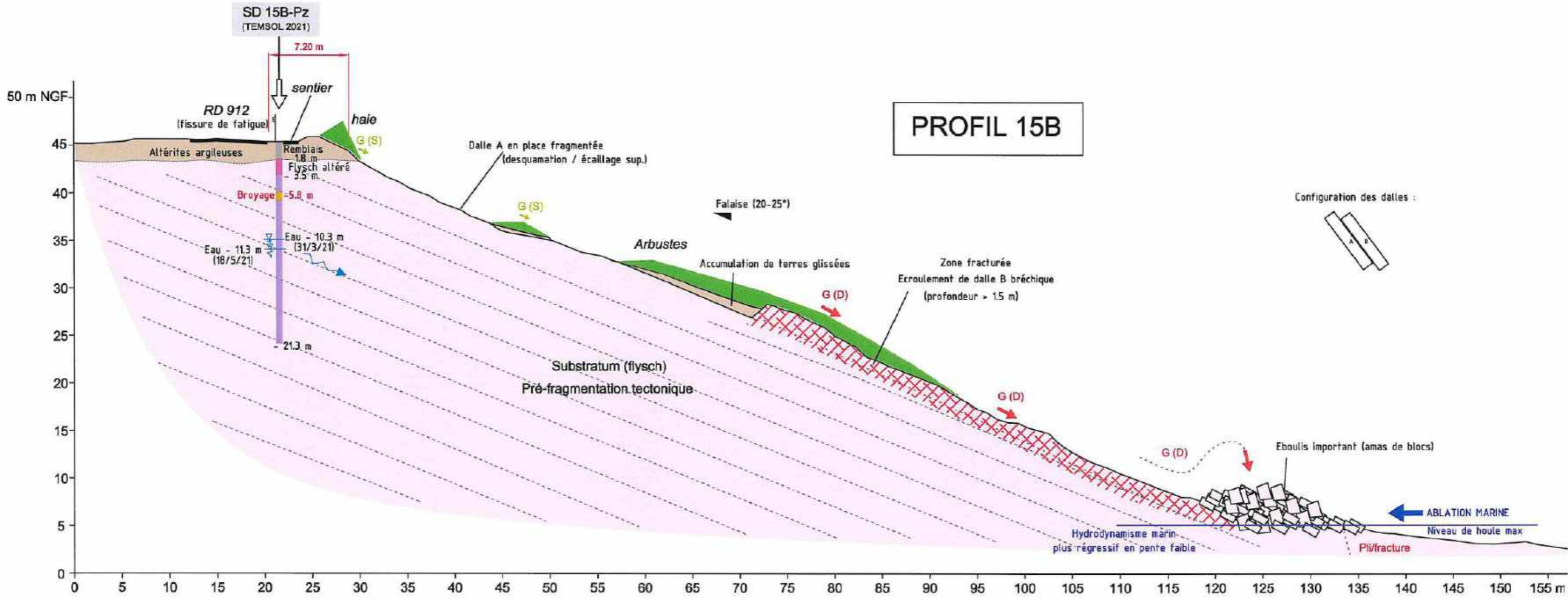


Commune d'URRUGNE - Route de la corniche

Profil 15B - Echelle : 1/400 (1H / 1V)



PROFIL 15B



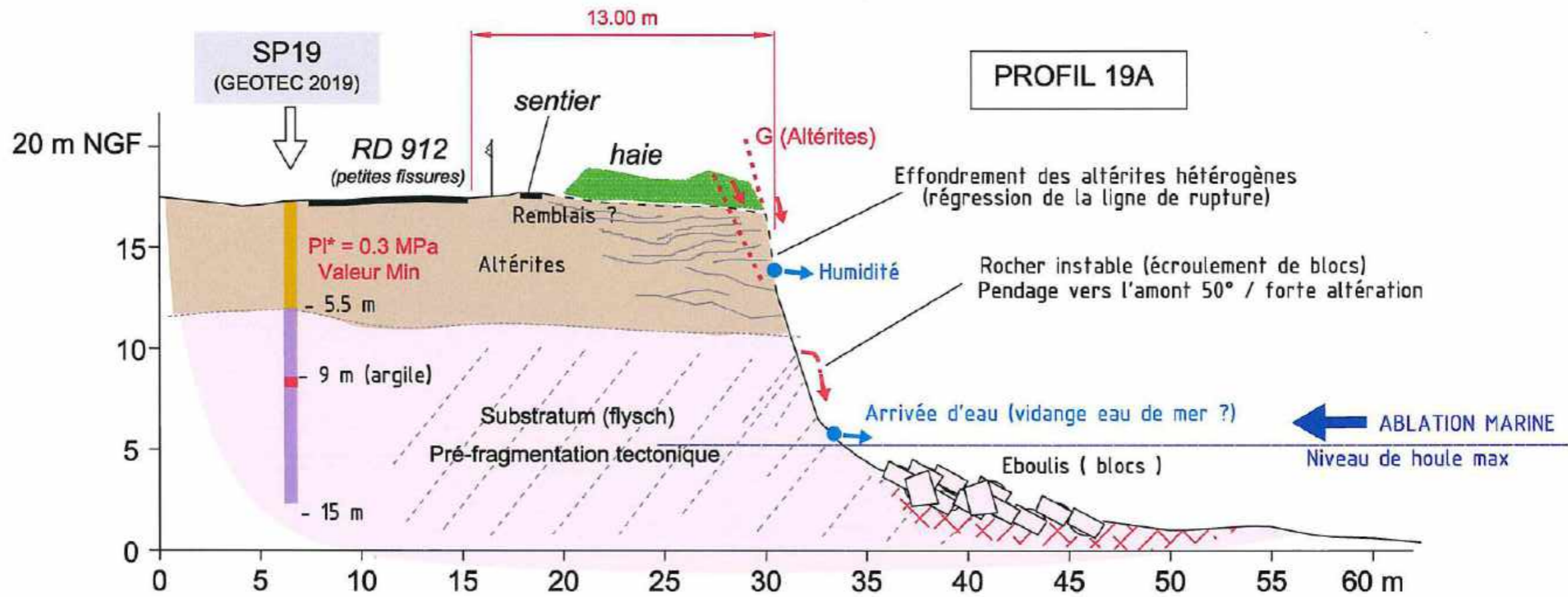
LEGENDE :

- Formations superficielles / altérites
- Flysch
- Brèches de fracturation
- G (S) : glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.)
- G (D) : glissement pseudo-rocheux / éroulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)



Commune d'URRUGNE - Route de la corniche

Profil 19A - Echelle : 1/250 (1H / 1V)



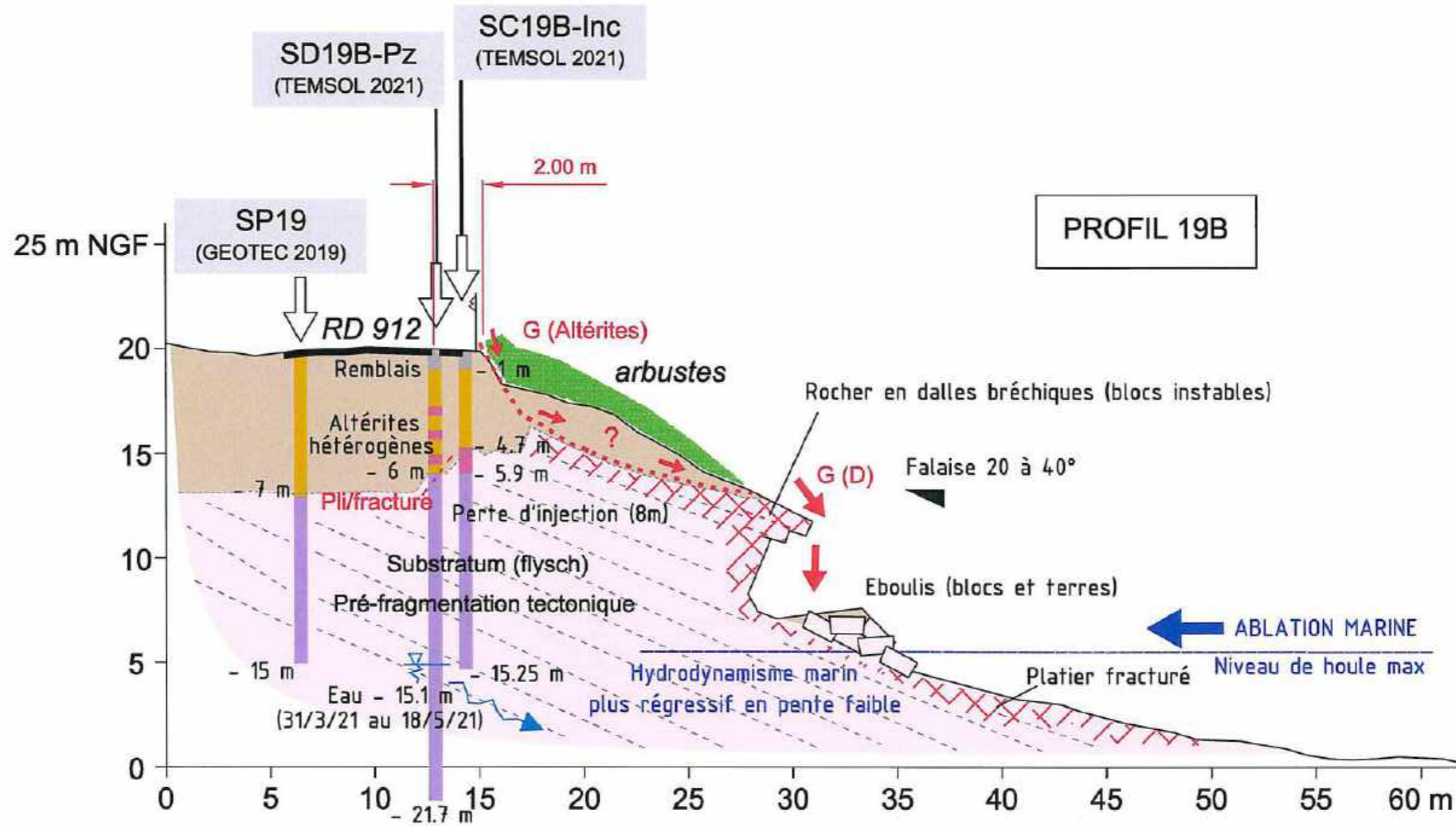
LEGENDE :

: Formations superficielles / altérites	: Flysch	: Brèches de fracturation
(S) : glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.)	(D) : glissement pseudo-rocheux / écroulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)	








Commune d'URRUGNE - Route de la corniche

Profil 19B - Echelle : 1/250 (1H / 1V)



LEGENDE :

	: Formations superficielles / altérites		: Flysch		: Brèches de fracturation
	: glissement superficiel (mouvements "plan" / écaillage sup.)		: glissement pseudo-rocheux / écoulement de dalle(s) (mouvements "plan" / fragmentation en blocs)		

ANNEXE 4

Reconnaissance par radar géologique des parois de la falaise de la route de La Corniche (secteur 15B)

INTRODUCTION

Cette annexe traite de la partie "RECONNAISSANCE ET SUIVI" de la proposition technique et financière C20SB0017 (affaire 14.64.G630A) et plus particulièrement de la reconnaissance au radar géologique effectuée depuis la paroi de la falaise du secteur 15B.



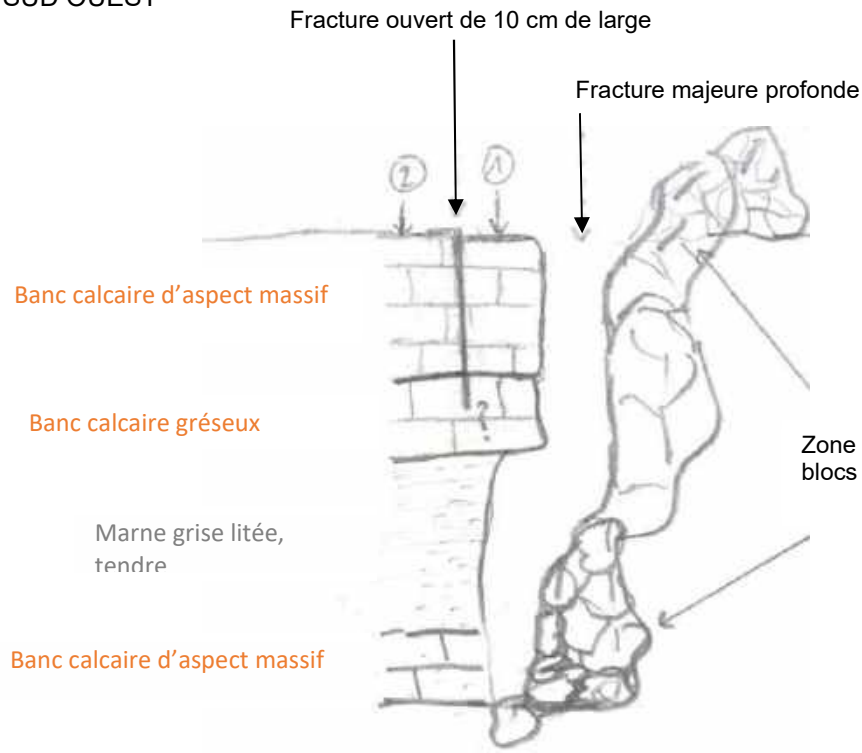
*Plan de localisation du tronçon 15B et des 2 zones d'études de la paroi par le radar géologique
(source Cerema – extrait du plan fourni pour l'implantation des sondages géotechniques)*

Le Département Infrastructure propose de tester la méthodologie d'auscultation au moyen du radar géologique pour caractériser l'état du massif en profondeur et plus particulièrement les recherches de zones béchiques et de couches savon au sein du substratum

OBJET DE LA PRESTATION

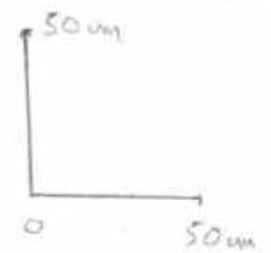
Le Département Laboratoire de BORDEAUX, a testé une méthode d'auscultation géophysique, au moyen du radar géologique, sur la paroi de la falaise du secteur 15B, le 9 mars 2021 de 10 h 30 à 15 h 00 avec des conditions climatiques favorables pour le fonctionnement optimal de la technique radar

SUD OUEST



Zone de broyage :
blocs et brèches

Échelle



Coupe de sol 1 effectué au niveau d'une zone de broyage, entre le P1 et P2 – profil transversal à la pente de la paroi

L'objectif de la mesure géophysique est d'obtenir des informations, à des profondeurs oscillant entre 0,5 et 4 m (limite théorique) /

- sur les natures et les épaisseurs des successions de bancs géologique de la paroi de la falaise
- la présence d'éventuels d'indices géophysiques (objet de taille métrique) en lien avec des désordres géologiques (brèches et/ou couche savon).

Le présent rapport d'étude relate la mise en œuvre des mesures géophysiques ainsi que l'analyse et l'interprétation des résultats des enregistrements radar.

Ce rapport a été élaboré conformément à la procédure qualité interne PE04 en vigueur au Groupe GAIA du Département Laboratoire de BORDEAUX.

CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA FALAISE DU TRONÇON 15B

Les parois auscultées par le radar du tronçon 15B sont constituées par les **calcaires, flyschs marno-gréseux, marnes conchoïdes de Bidart datées du Coniacien-Maastrichtien**.

Plus précisément, la falaise du tronçon 15B est constituée par des empilements de bancs géologiques, inclinés entre 20° et 25° (inclinaison parallèle au pendage de la stratification), de nature variée, passant par des alternances de bancs de nature calcaire, calcaire gréseux, marno-calcaire à marne grise. Les épaisseurs des bancs géologiques varient de 15 cm à 1 m.

DESCRIPTION GEOLOGIQUE DE LA SURFACE AUSCULTEE

Le radar géologique a été trainé sur une surface inclinée entre 20 et 25°, plane et lisse correspondant à la surface d'un banc non déformé.

La paroi en surface et les affleurements observés ne montrent pas de présence d'eau ou d'humidité significatives (type zone de suintement) pouvant interférer avec le radar géologique

Deux coupes de terrain ont été réalisées à proximité des profils radar, de façon transversale à la ligne de plus grande pente de la falaise, depuis une fracture majeure ou une zone de broyage (Cf. plan implantation des lignes radar et chapitres 3.1 et 3.2).

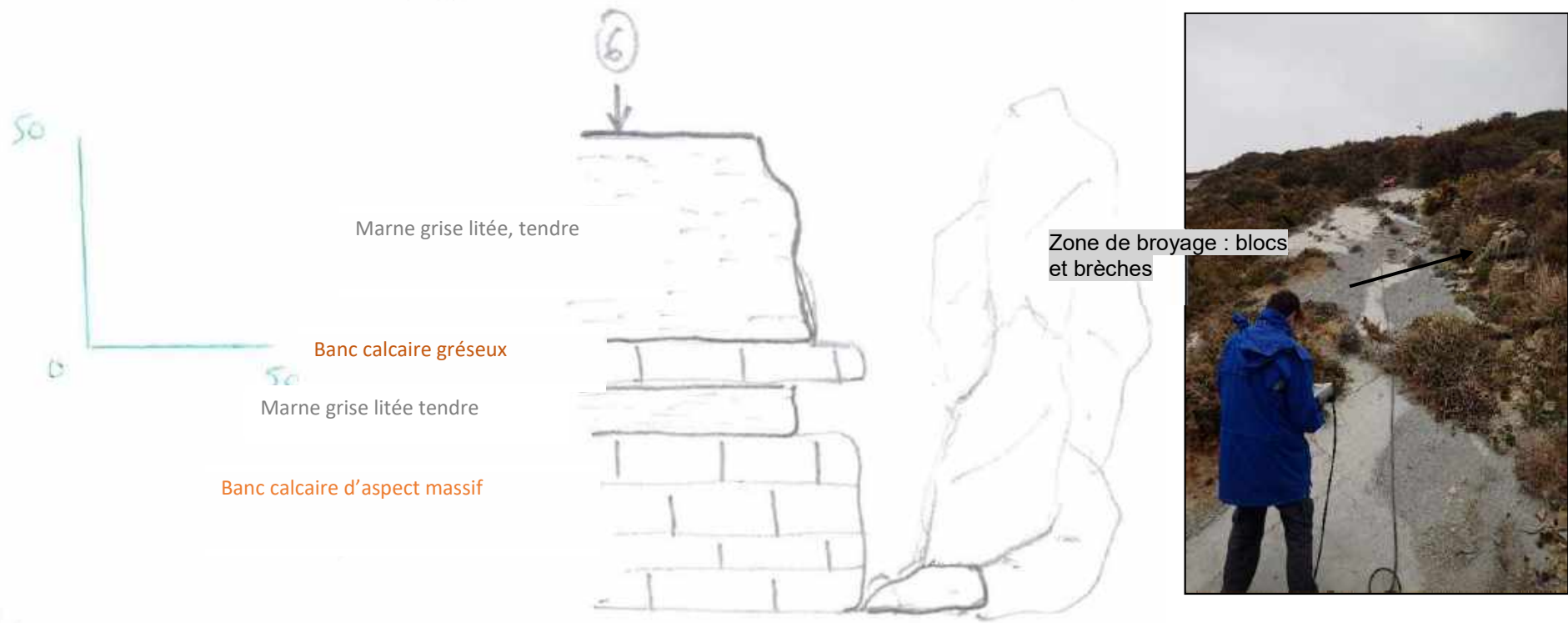
Coupe de sol 1

La coupe de sol 1 (figure ci-contre), réalisée depuis une fracture majeure parallèle à la ligne de plus grande pente de la paroi, montre :

- de 0 à 40 cm de profondeur, un banc calcaire beige, d'aspect massif
- de 40 à 55 cm, un autre banc calcaire d'aspect gréseux, à inter-banc d'épaisseur millimétrique et sec
- de 55 cm à 1 m, un banc de marne grise, à litage (aspect schisteux), tendre
- de 1 m à 1,15 m, un banc de calcaire massif.

SUD OUEST

NORD EST



Coupe de sol 2 effectué au niveau d'une zone de broyage, au niveau de P6 – profil transversal à la pente de la paroi

Coupe de sol 2

La coupe de sol 2 (figure ci-contre) effectuée à proximité d'une zone de broyage, montre :

- de 0 à 50 cm de profondeur, une marne grise, litée
- de 50 à 60 cm un banc de calcaire d'aspect gréseux,
- de 60 à 70 cm un inter banc de schiste de marne grise, à litage, tendre
- 1 m à 1,40 m, un banc de calcaire massif.

MISE EN ŒUVRE DU RADAR GEOLOGIQUE

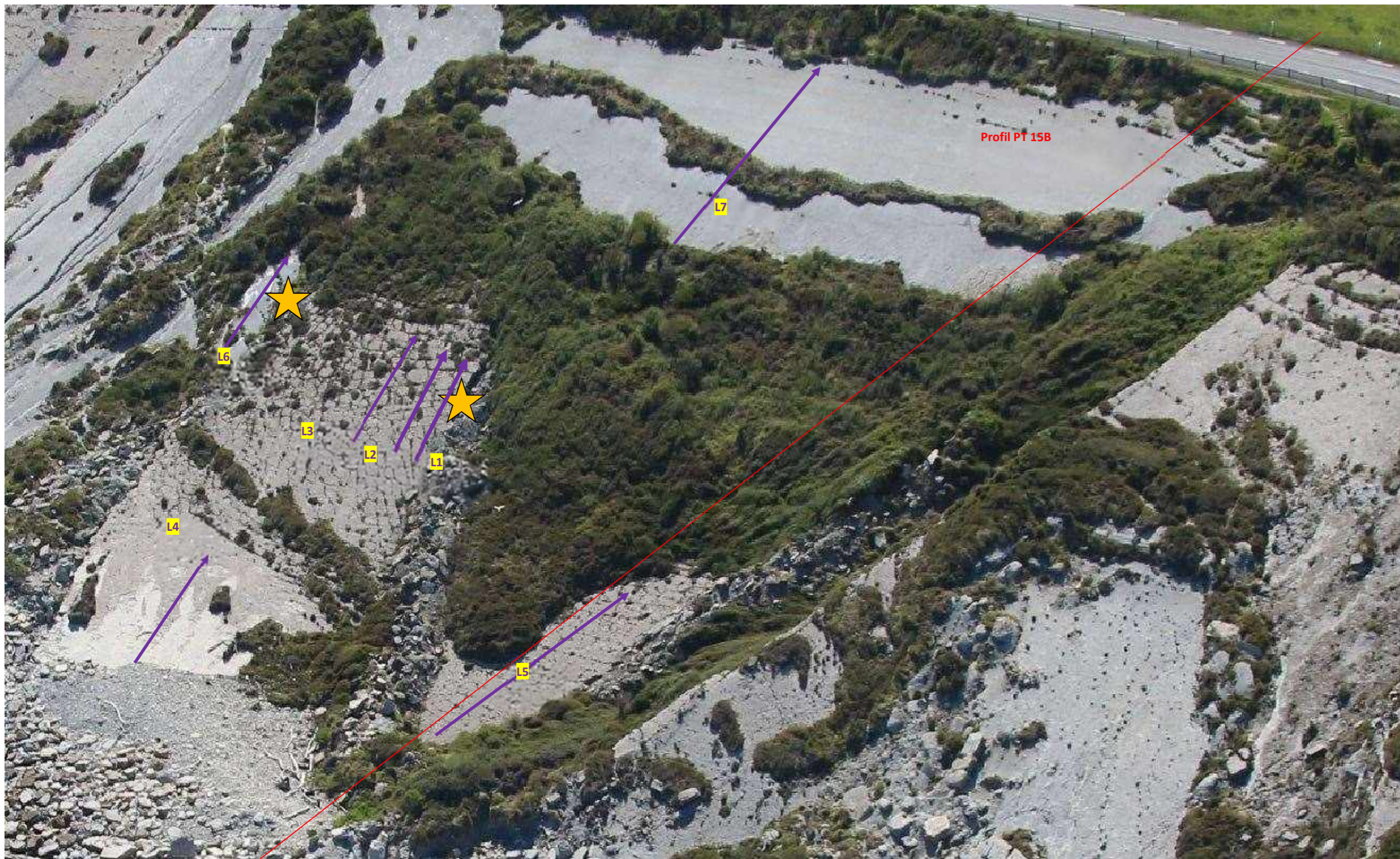
La surface du tronçon 15B a été couverte par 7 lignes de mesures (appelées les lignes radar L1 à L7), de 15 m à 20 m de linéaire chacune, au moyen d'un radar géologique de type Sir 3000 (fabricant GSSI) couplé à une antenne de fréquence centrale de 400 MH (Cf. plan ci-après).

Choix des implantations

Les profils radar ont été positionnés au niveau de 5 grandes dalles possédant différents :

- contextes géo-morphologiques :
 - natures géologiques de surface variée (dalle calcaire, dalle marneuse)
 - et répartition des profils radar sur toute la hauteur de la paroi (paroi amont, intermédiaire ou butée de pied).
- et des configurations mécaniques distinctes :
 - dalle en place ou glissée
 - proximité d'une zone de broyage
 - dalle d'aspect de surface saine.

N° de ligne	Position au sein de la paroi	Nature géologique de la dalle	Configuration mécanique	Longueur auscultée par ligne
L1, L2, L3	En partie intermédiaire	Dalle 1 bréchique calcaire	Dalle glissée P1 et P2 longe une zone de fracture majeure P3 axe de dalle d'aspect sain en surface	15 m
L4	En pied de falaise	Dalle 2 calcaire, peu fracturé	Dalle glissée, profil en position axiale de la dalle d'aspect sain en surface	23 m
L5	En pied, au niveau de la butée	Dalle 3 calcaire bréchique	Dalle glissée, au niveau d'une zone de poinçonnement	23 m
L6	En Partie intermédiaire	Dalle 4 marneuse, en bordure d'une zone de broyage	Dalle en place, proche d'une zone de broyage	15m
L7	Partie amont de la falaise	Dalle 5 marneuse, en place	Dalle en place, dans l'axe d'une dalle supposée saine en surface	25 m



Positionnement des lignes radar et des 2 coupes de sol de référence (étoile orangée)

Mise en œuvre du radar sur la paroi

La mise en œuvre du radar et l'acquisition des données radar, le long d'une paroi rocheuse inclinée entre 20 et 25°, a nécessité la présence de deux opérateurs (Cf. photo ci-après).

Une corde d'alpiniste est attachée à un traineau de téflon dans lequel est fixé une antenne radar (émetteur et récepteur des ondes radar). Un opérateur cordiste, positionné en amont de la falaise, remonte la corde de manière à faire coulisser le traineau le long de la paroi (Cf. photos ci-après).



Mise en œuvre du radar géologique sur la paroi de la falaise du secteur 15B
(source Cerema)

Principe du fonctionnement du radar

L'antenne radar émet des impulsions électromagnétiques dans le sous-sol de la paroi rocheuse avec une cadence régulière. Celles-ci se propagent en s'atténuant dans les matériaux du sol. A chaque interface de deux matériaux différents (bancs géologiques), une partie de l'énergie de l'impulsion est réfléchiée vers la surface.

Le radar analyse le signal récupéré et reconstitue le radargramme qui représente la somme des impulsions réfléchies (Cf. annexe 1).

Le dispositif de mesure est équipé d'une roue codeuse permettant la mesure des distances et d'un système de "topage" servant principalement à localiser les irrégularités de surface

Traitement des données radar et rendu client

Le traitement des données radar et la mise en forme du radargramme (les coupes temps/distance (image radar)), réalisés par le logiciel Radan, Verson7 ont été analysés de façon à visualiser les structures géologiques (banc calcaire et banc de marne) à l'aplomb de la ligne radar auscultée.

Etalonnage des profondeurs

Les profondeurs indiquées sur les radargrammes exprimés en temps (nanosecondes) ont été converties en profondeurs réelles (métrique) à partir des 2 coupes sols (Cf. coupes 1 et 2).

Condition d'utilisation

Il est important de rappeler que la profondeur d'investigation des ondes électromagnétiques émises par le radar géologique varie en fonction de la nature du sous-sol. Une teneur en eau élevée (présence d'eau souterraine) ou une présence de matériaux géologiques conducteurs (marne) limitera la propagation des ondes électromagnétiques dans le sous-sol.

Les profondeurs données dans ce compte-rendu (Cf. paragraphe suivant) sont donc des profondeurs estimées à +/- 0.10 m. Les vitesses de propagation des ondes électromagnétiques sont proches de 10 cm/ns, qui correspond à la vitesse théorique moyenne que l'on peut rencontrer dans une marne mais aussi la vitesse théorique plutôt basse rencontrée dans un calcaire.

Les ondes EM semble évoluer dans un contexte électrique plutôt conducteur, ce qui peut expliquer la rapide atténuation des ondes avec la profondeur. La profondeur d'investigation n'excède pas 1.5 m sur l'ensemble des profils radar réalisés.

Les données fournies par les radargrammes obtenus au droit des 7 lignes radar du déblai sont annexées à ce rapport (annexe 2 à 6). Ces radargrammes interprétés regroupent les principales informations obtenues par le radar (épaisseur et nature des bancs, positionnement des anomalies géophysiques, fracturation).

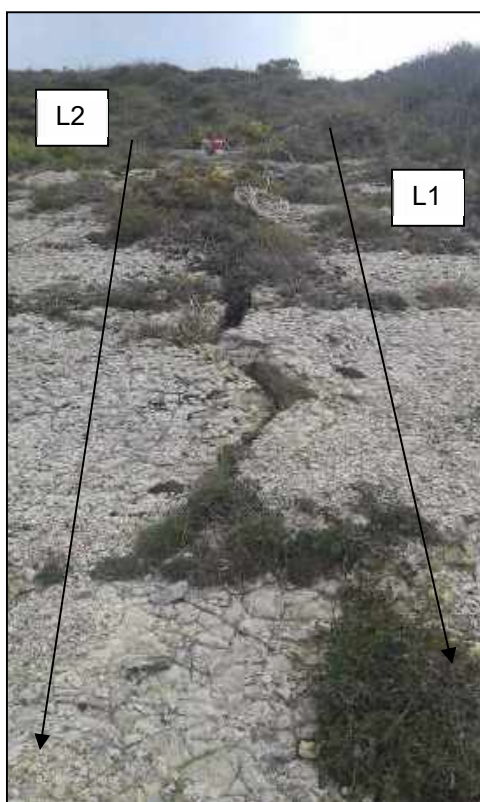
RESULTATS GEOPHYSIQUES

→ L1-L2-L3

Contexte et position du profil dans la paroi

Les profils L1, L2 et L3 ont été positionnés sur une grande dalle de calcaire glissée, inclinée entre 20 et 25°, en partie intermédiaire de la paroi. La dalle calcaire est bréchique et borde une zone de broyage intense.

Les profils L1 et L2 ont été réalisés le long d'une fracture mécanique ouverte de 10 à 15 cm, qui traverse les 2 premiers bancs calcaires jusqu'au toit des marnes grises litées, situé vers 55 cm de profondeur.



Localisation des lignes L1 et L2 le long d'une fracture ouverte

Analyses géophysiques

Les ondes du radar géologique ont pu se propager à travers les 2 premiers bancs de calcaires (épaisseur totale de 55 cm), pour venir s'atténuer / s'amortir dans les marnes grises litées. La profondeur d'investigation est de l'ordre de 1,2 m.

Les 3 profils radar ne montrent pas de variations latérale et longitudinale significatives.

Interprétation géophysique

Les ondes EM ont détecté les 3 faciès géologiques, à savoir le banc calcaire épais de 55 cm, le banc gréseux épais de 15cm et les marnes grises :

- les épaisseurs et la nature des bancs géologiques semblent homogènes au droit des lignes radar auscultées.
- un banc calcaire a été détecté sous la marne à 1,10 m de profondeur
- il n'a pas été détecté de zone humide
- une zone à anomalies semble apparaître au niveau du 2^{ème} banc de calcaire gréseux vers 6 m sur L1, et 14 m sur L2 et L3. Cette anomalie pourrait avoir été générée par une fracture ou zone d'érosion au sein du banc de calcaire gréseux.

→ L4

Contexte et position du profil dans la paroi

Le profil radar L4 a été positionné sur une grande dalle de calcaire glissée, riche en écaillage, inclinée entre 20 et 25°, située en pied de falaise. La dalle calcaire de surface est bréchique (nombreuses cassures orthogonales).



Vue générale de la ligne radar L4



Interprétations géophysiques

Les ondes du radar géologiques ont pu se propager à travers un banc de calcaires (épaisseur totale de 30 cm), reposant sur un autre banc de nature calcaire de 10 cm d'épaisseur, pour venir s'atténuer / s'amortir dans les marnes grises litées (la profondeur investiguée n'excède pas 1 m) :

- les épaisseurs et la nature des matériaux semblent être homogènes au droit des lignes radar auscultées
- une zone à anomalies semble apparaître au niveau au sein des marnes grises à 14 m de linéaire
- un niveau de calcaire tabulaire, épais de 10 cm, semble avoir été détecté vers 0,6 m de profondeur, reposant sur un niveau de marne
- il n'a pas été détecté de zone humide.

→ L5

Contexte et position du profil dans la paroi

Le profil L5 a été réalisé au droit du profil dimensionnant PT15B.

Il a été positionné sur une grande dalle de calcaire glissée, inclinée entre 20 et 25 °, en pied de falaise, au niveau d'une zone de poinçonnement (butée de pied mécanique, la dalle a glissé et s'est ancré dans l'estran rocheux). La dalle calcaire de surface bréchique borde une zone de broyage intense.



Vue générale de la ligne radar L5

Interprétations géophysiques

Les ondes EM ont détecté 3 faciès géologiques, à savoir un banc calcaire épais de 30 cm, reposant directement sur les marnes grises d'environ 30 cm, reposant sur un banc calcaire peu épais, environ 10 cm, suivi d'un niveau de marne. La profondeur investiguée n'excède pas 1 m :

- les épaisseurs et la nature des matériaux semblent homogènes au droit de la ligne radar auscultée
- 3 fissurations semblent traverser de part et d'autre le 1^{er} banc calcaire, vers 5 m, 9 m et 14 m de linéaire. Ces fracturations orthogonales à la ligne de grande pente ont découpé la grande dalle calcaire en morceaux de 4 à 5 m de linéaire.

Un niveau de calcaire tabulaire épais de 10 cm semble avoir été détecté vers 0.6m, reposant sur un niveau de marne

→ **L6**

Contexte et position du profil dans la paroi

Le profil L6 a été positionné sur une grande dalle de marne, inclinée entre 20 et 25°, située en partie intermédiaire de la paroi. Cette dalle de marne semble être en place, mais le profil radar borde une zone de broyage intense.



Vue générale de la ligne radar L6

Interprétations géophysiques

Les ondes EM ont détecté 3 faciès géologiques, à savoir le banc de marnes grises litées, épais de 30 cm, reposant directement sur un banc calcaire, d'aspect massif, d'environ 15 cm d'épaisseur, reposant sur un niveau de marne. La profondeur investiguée n'excède pas 1 m :

- les épaisseurs et la nature des matériaux semblent homogènes au droit de la ligne radar auscultée
- vers 12 m de linéaire, un bourrelet terreux de surface a généré des interférences en profondeur dans le niveau marneux
- 4 fissurations semblent traverser de part et d'autre le 1^{er} banc marneux et le banc calcaire vers 4, 8, 11 et 14 m de linéaire. Ces 4 fissurations orthogonales à la ligne de grande pente ont découpé la grande dalle calcaire en morceaux de 4 à 5 m de linéaire
- des artefacts de mesure apparaissent au sein de la marne, au droit des bourrelets terreux de surface.

→ L7

Contexte et position du profil dans la paroi

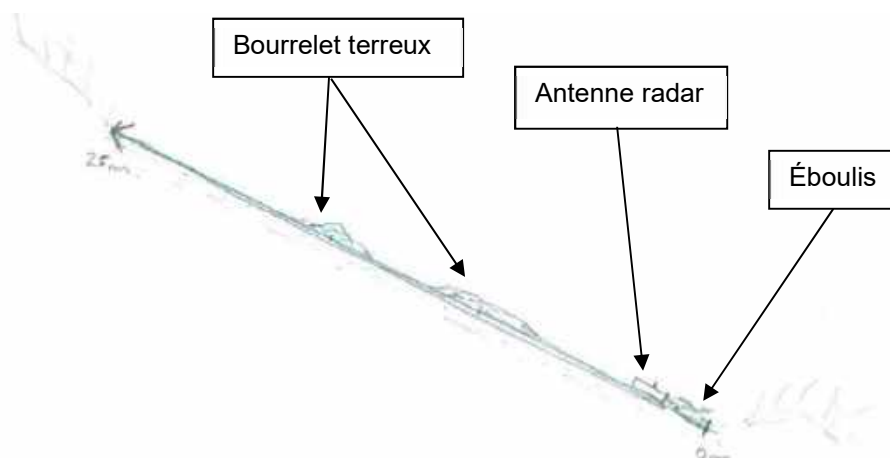
Le profil L7 a été positionné sur une grande dalle de marne, inclinée entre 20 et 25°, située en amont de la paroi. Cette dalle de marne semble être en place (elle représente une ancienne surface de glissement plan).



Vue générale de la ligne radar L7

Interprétations géophysiques

Le profil radar a démarré sur une zone à éboulis marneux, puis a suivi une surface lisse avant de rencontrer sur son passage 2 bourrelets terreux dont un mesure 50 cm de hauteur (Cf. figure ci-dessous).



Coupe schématique du profil radar L6

Les ondes EM ont détecté 2 faciès géologiques, à savoir le banc de marno-calcaire gris lité épais de 30 cm, reposant directement sur un niveau de marne. L'onde EM a été totalement absorbée par les marnes grises litées. La profondeur investiguée n'excède pas 1 m :

- les épaisseurs et la nature des matériaux semblent homogènes au droit de la ligne radar auscultée
- vers 10 m de linéaire, le passage du radar géologique sur un bourrelet terreux a généré des interférences en profondeur dans le niveau marneux. Ce même type d'interférence apparaît dans les marnes (vers 16 m de linéaire).

CONCLUSION

Des profils géophysiques ont été réalisés au moyen du radar géologique sur la paroi de la falaise du tronçon 15B, sur 5 types de dalles géologiques (à géomorphologie et configuration mécanique variées).

Au sein d'une dalle, les profils radar permettent d'identifier, jusqu'à 1 m à 1,5 m de profondeur :

- les empilements de bancs de natures calcaire ou marneuse (la nature et l'épaisseur par banc sont homogènes au droit d'une ligne radar)
- des cassures transversales à la ligne de plus grande pente, traversant les bancs calcaires sur au moins 80 cm d'épaisseur . Ces cassures non visibles en surface confirment le découpage des grandes dalles en plusieurs morceaux, de 4 à 5 m de linéaire
- des anomalies géophysiques ponctuelles indiquant des indices d'érosion au sein d'un banc.

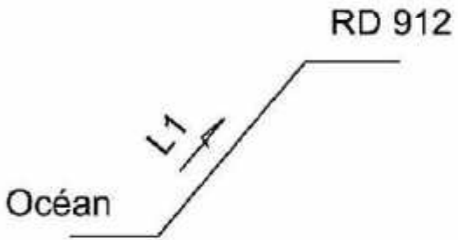
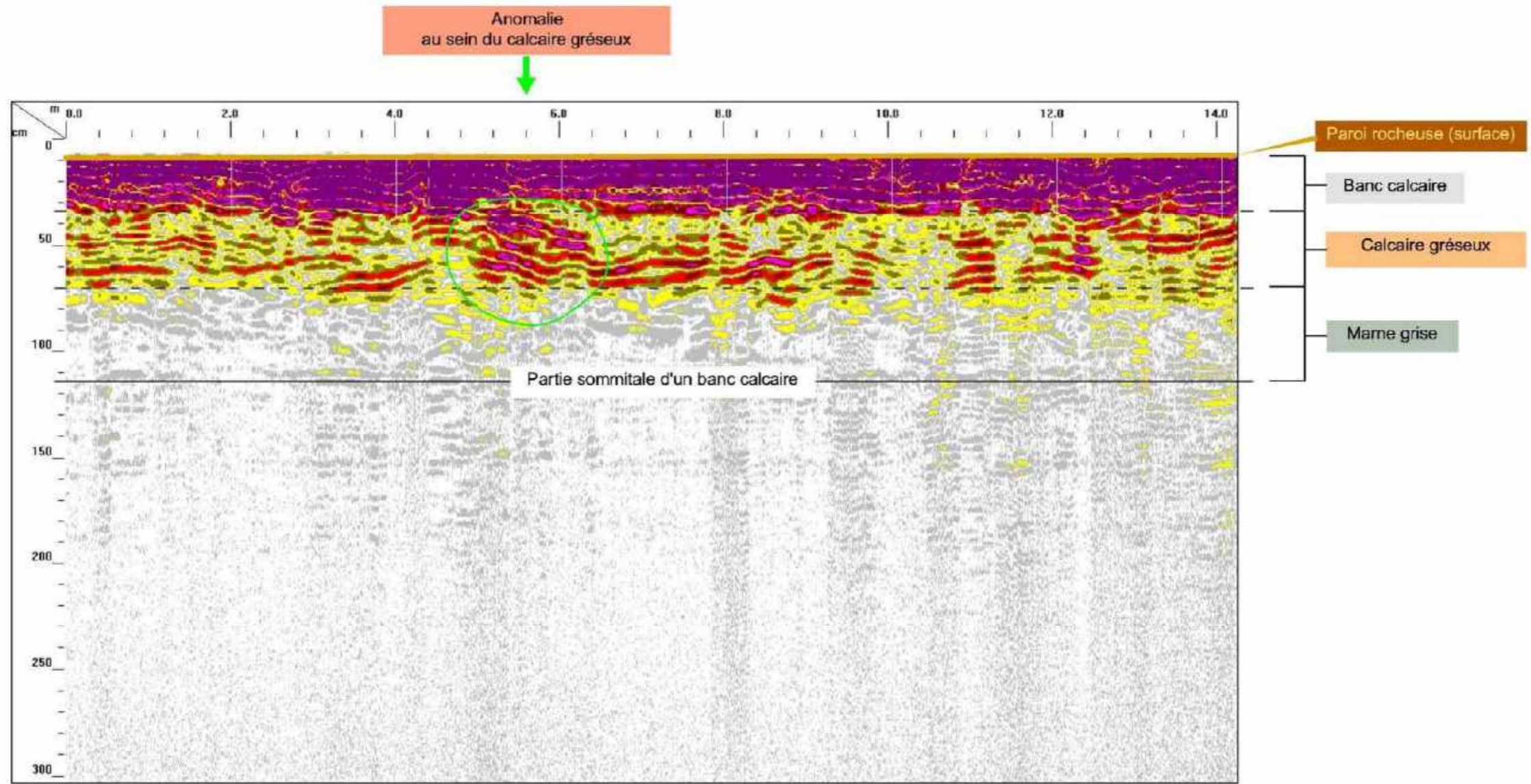
Un banc marneux épais de plus de 40 cm amorti totalement les ondes électromagnétiques émises par le radar, ce qui a pour conséquence de limiter la profondeur d'investigation et, de ce fait, de ne pas pouvoir identifier les présences de brèches ou de couches savon au sein du substratum.

ANNEXE

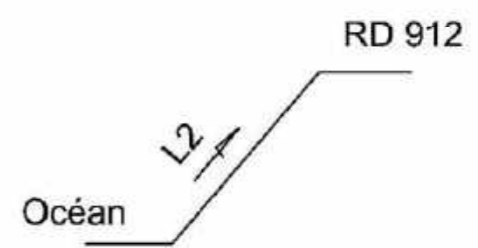
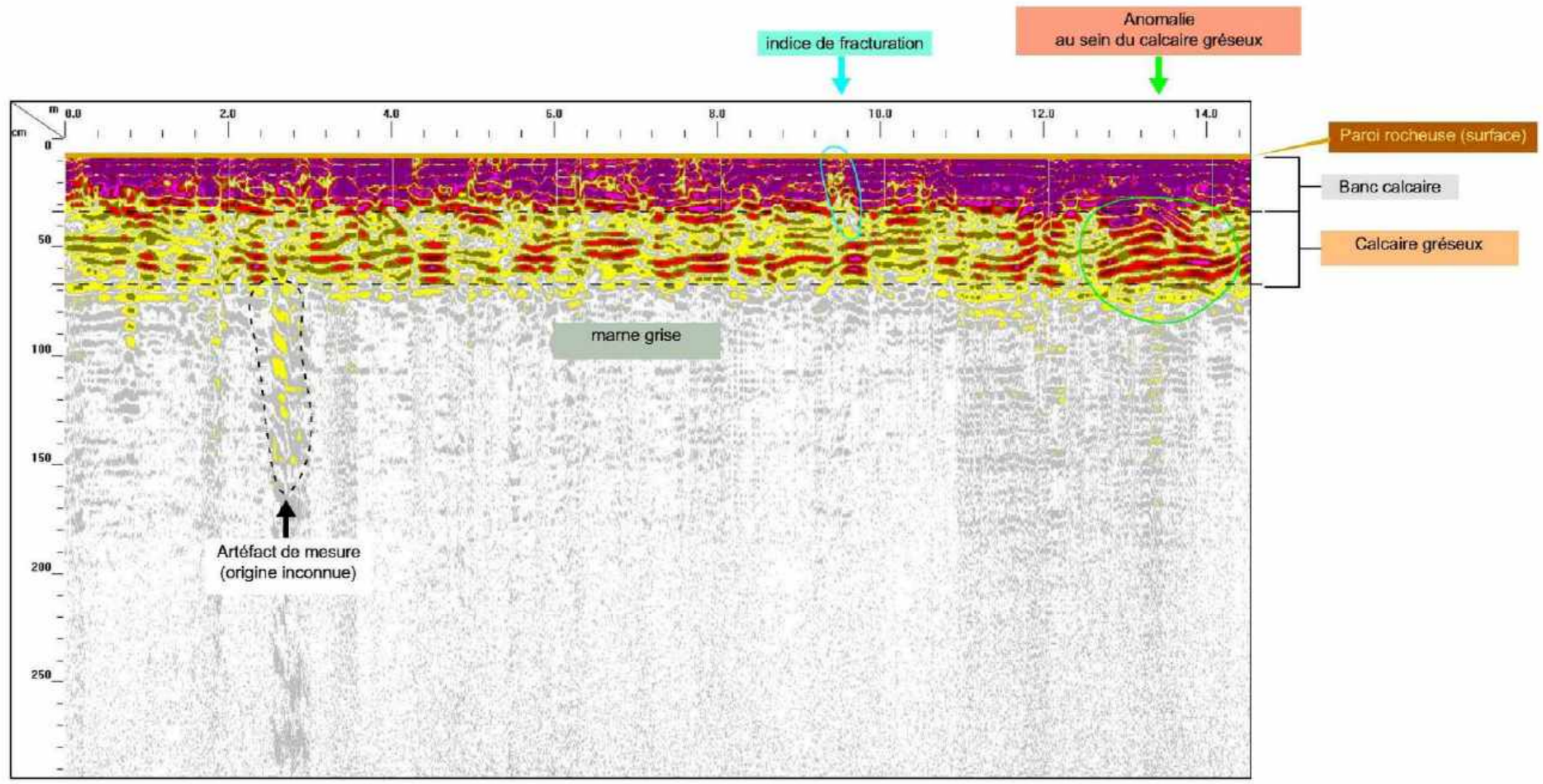
Annexe 2

Radargrammes interprétés
obtenus au droit des lignes radar
L1, L2 et L3

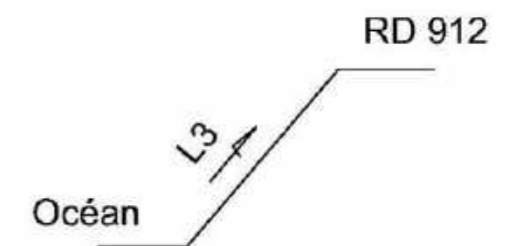
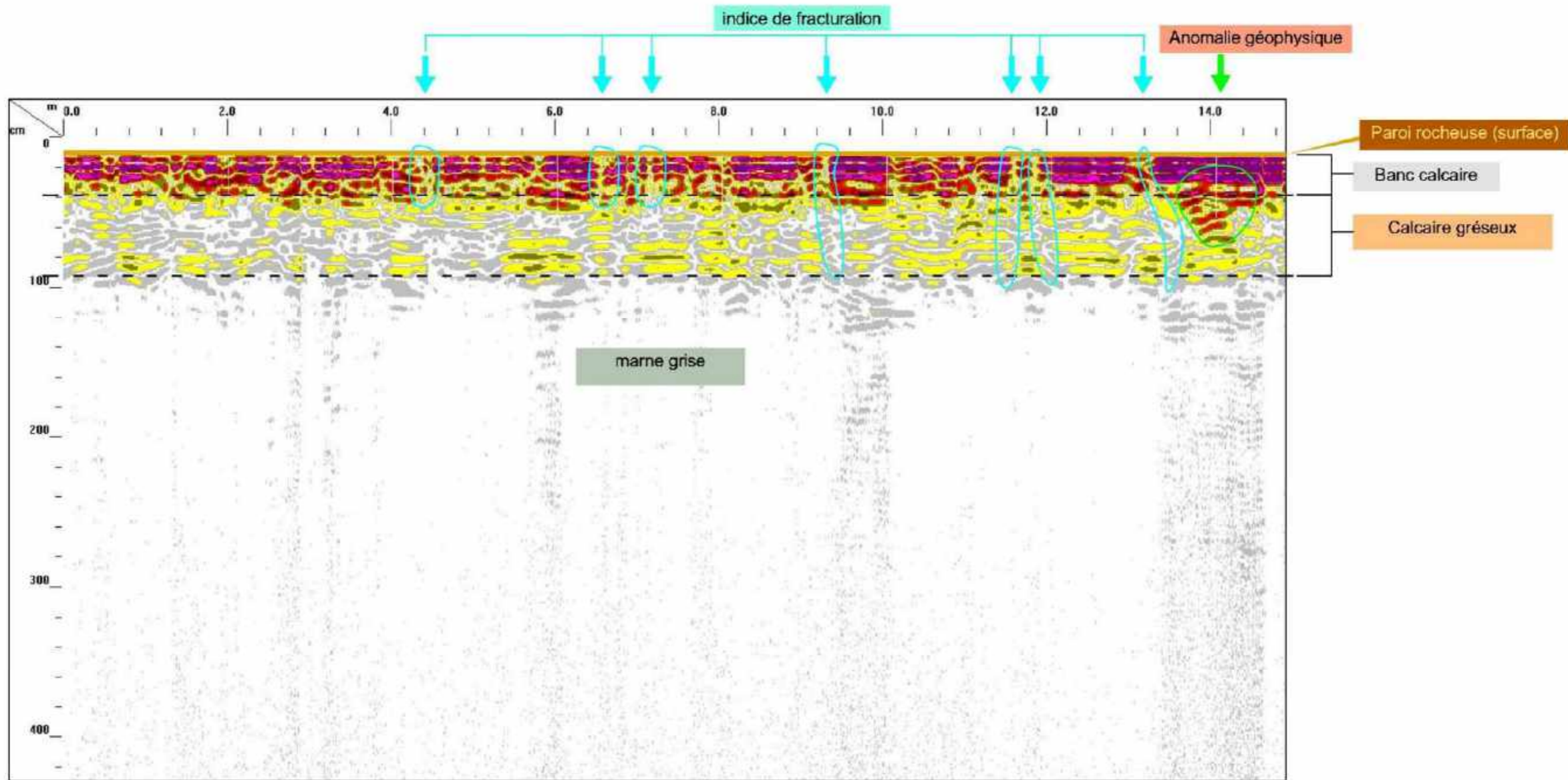
Profil radar sur falaise (L1)



Profil radar sur falaise (L2)



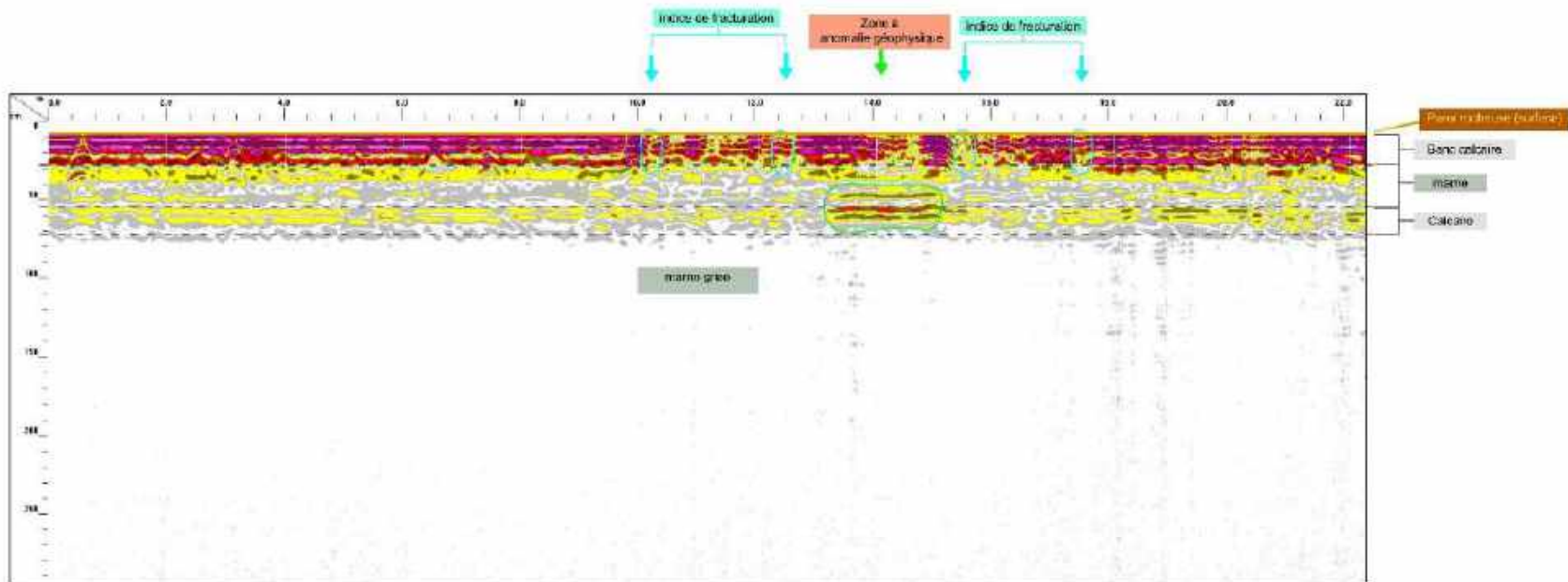
Profil radar sur falaise (L3)



Annexe 2

**Radargramme interprété
obtenu au droit de la ligne radar L4**

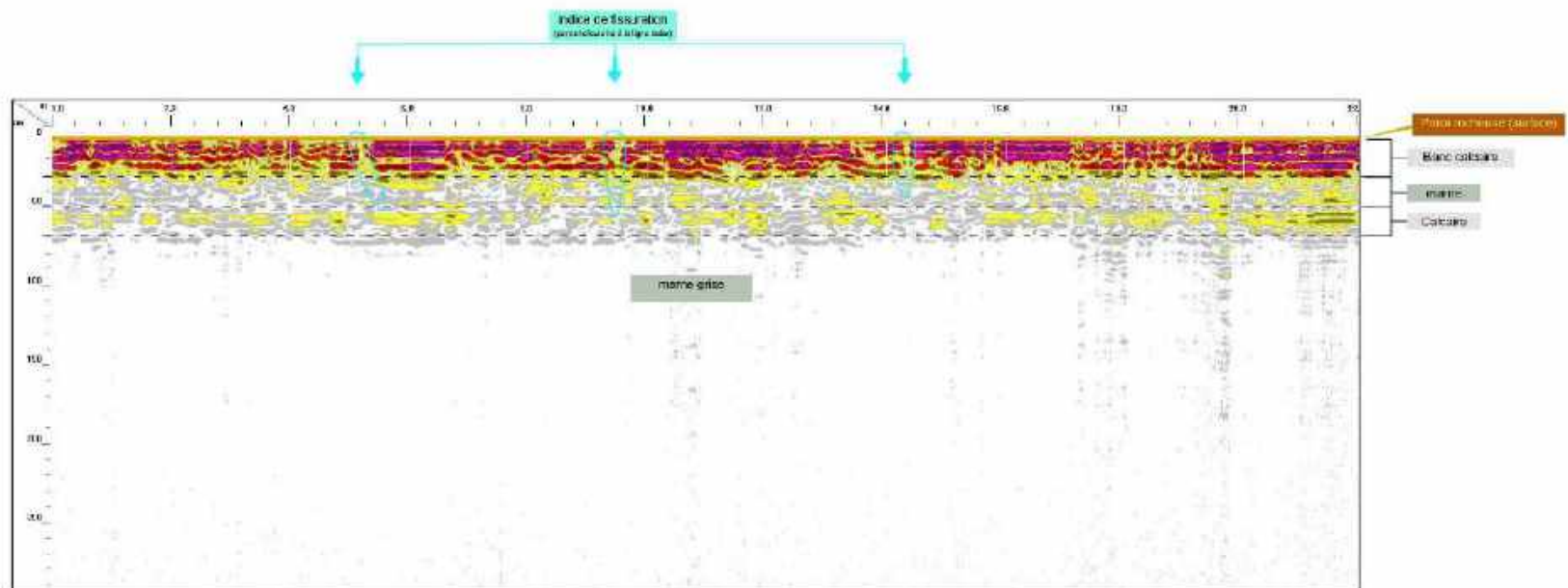
Profil radar sur falaise (L4)



Annexe 3

Radargramme interprété
obtenu au droit de la ligne radar L5

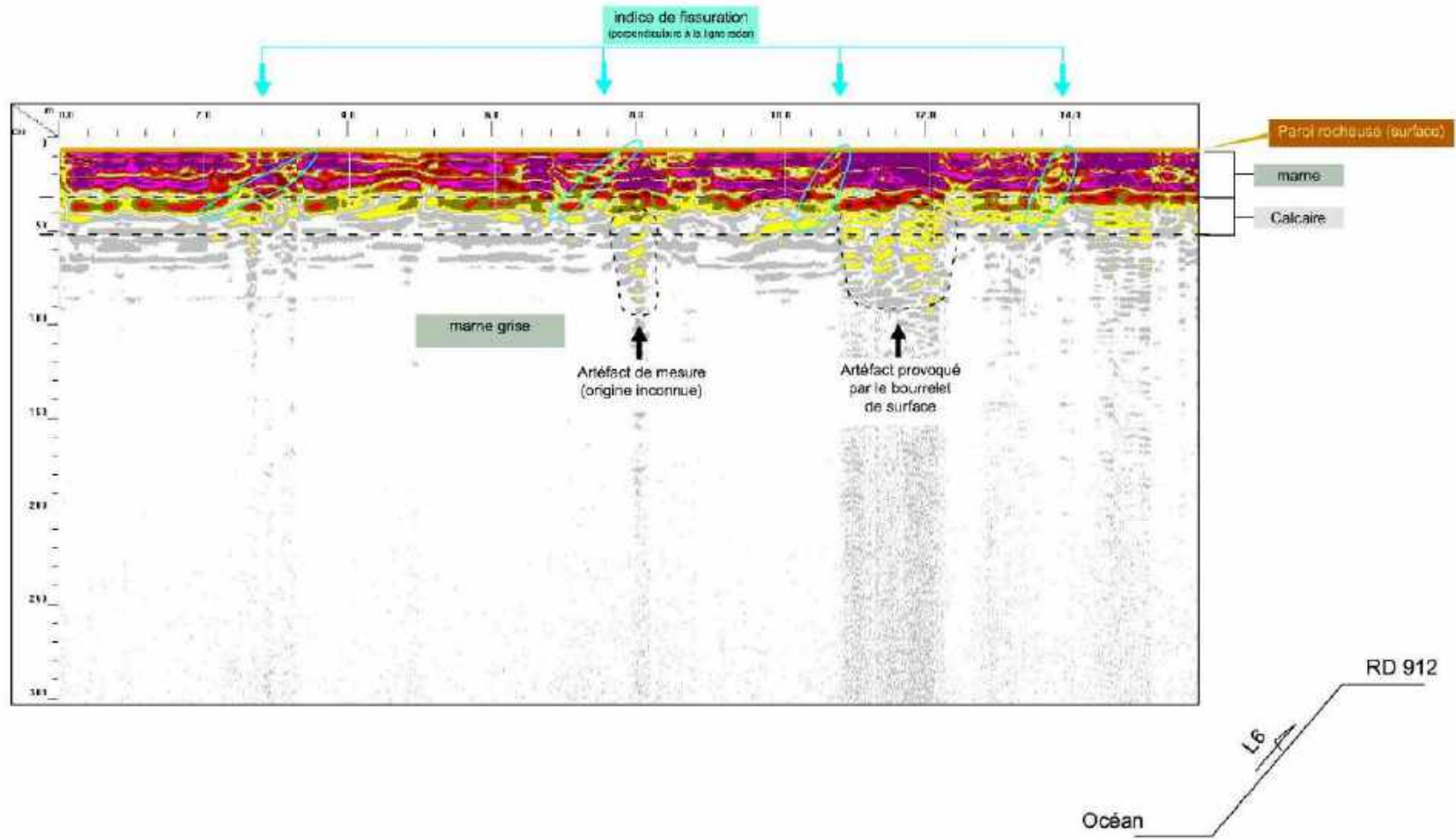
Profil radar sur falaise (L5)



Annexe 4

Radargramme interprété
obtenu au droit de la ligne radar L6

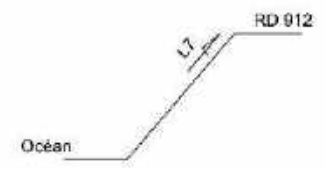
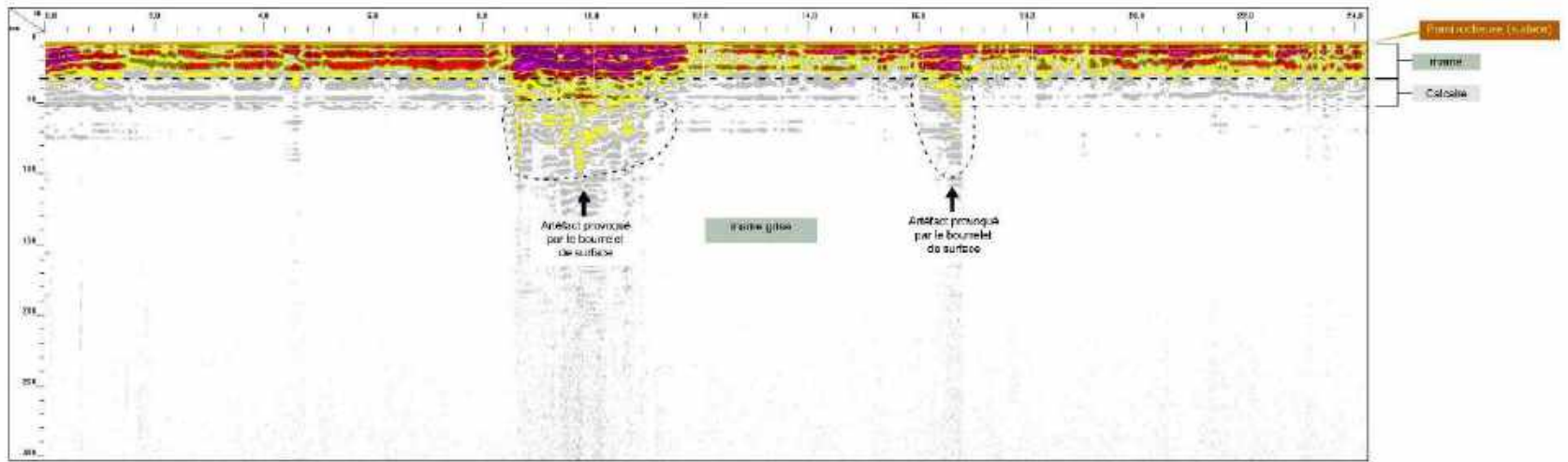
Profil radar sur falaise (L6)



Annexe 5

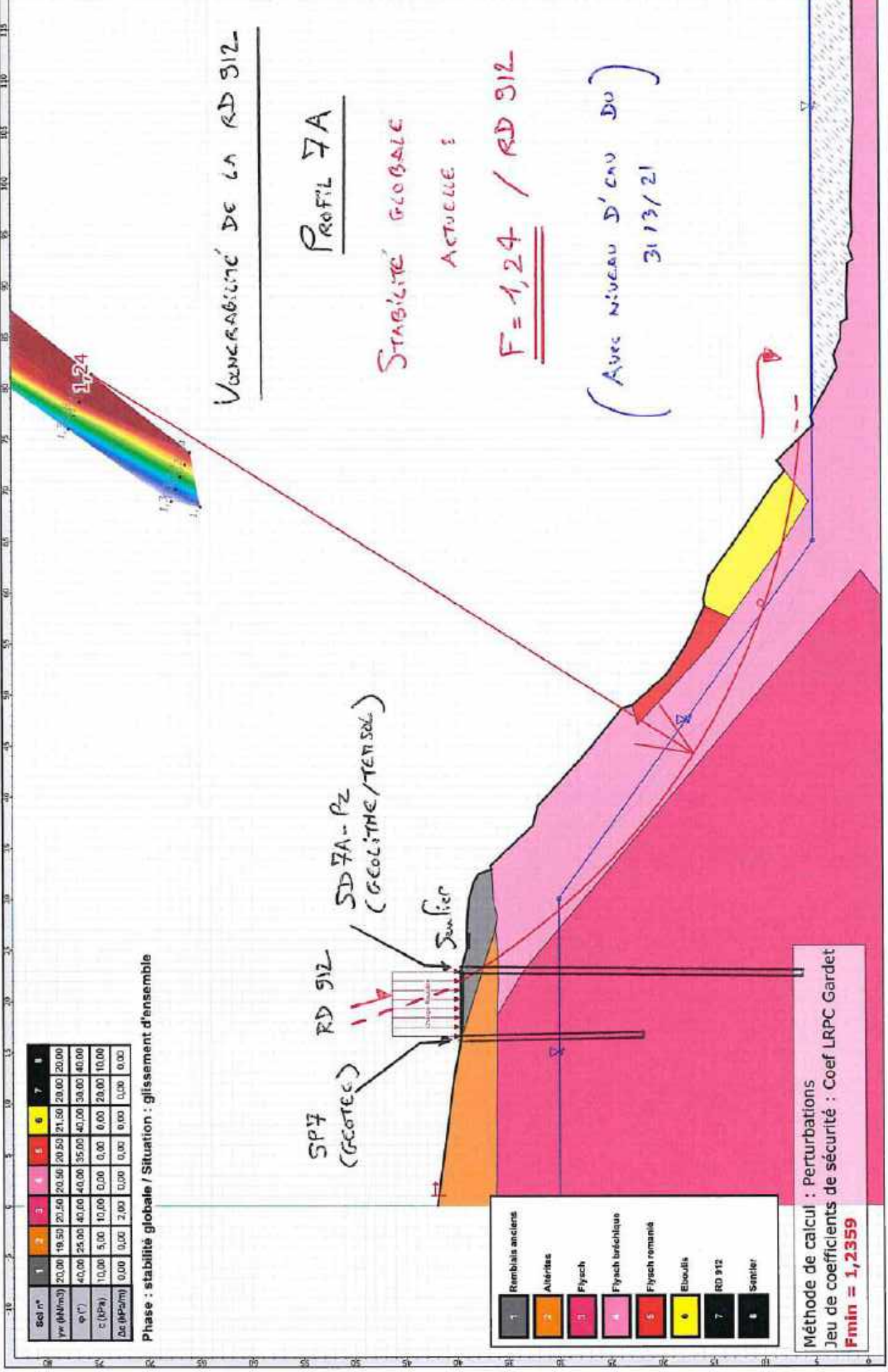
**Radargramme interprété
obtenu au droit de la ligne radar L7**

Profil radar sur falaise (L7)



ANNEXE 5

Calculs Talren

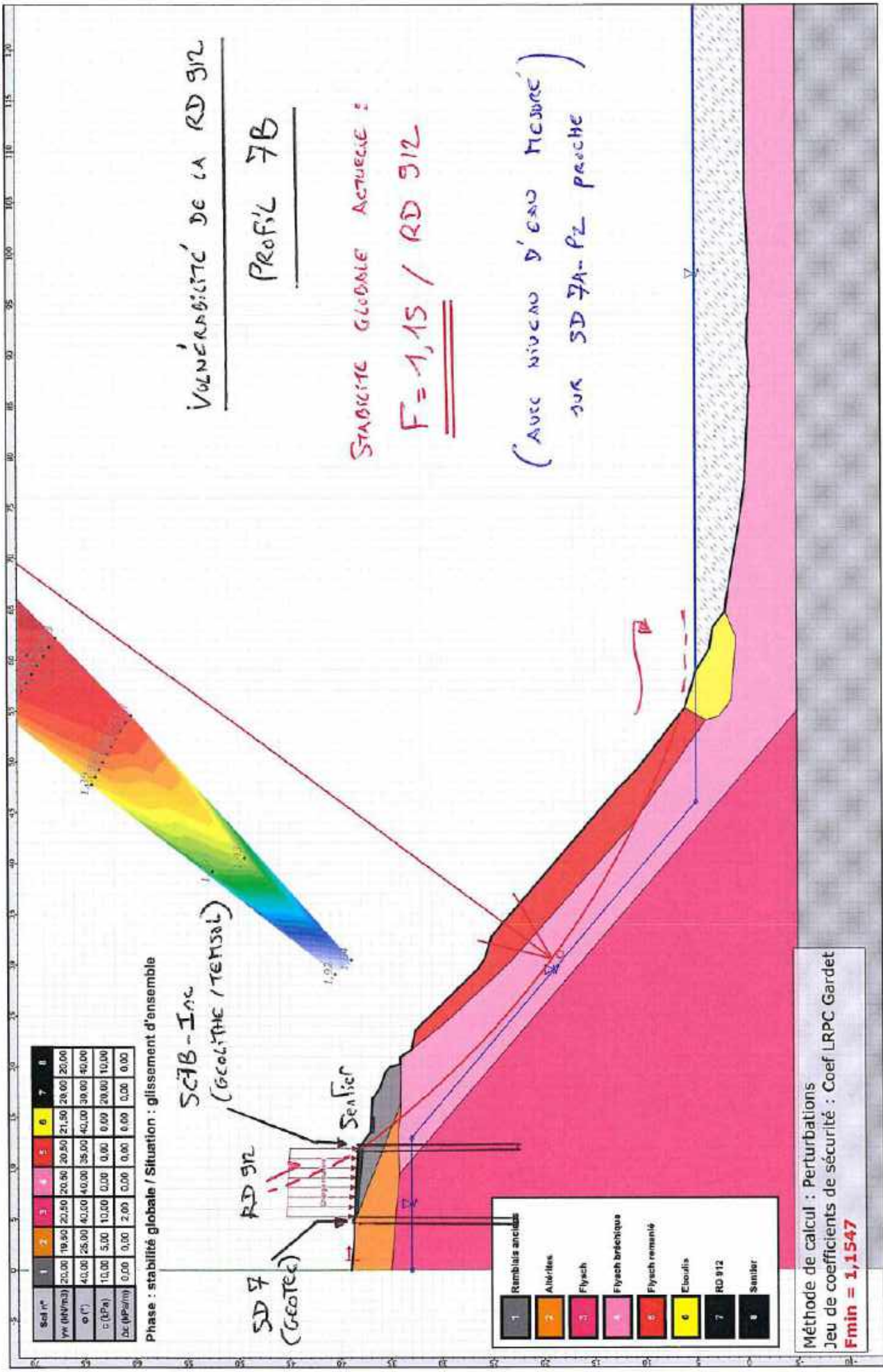


Projet : stab global 7A

Imprimé le : 17 mai 2021 08:52:28
Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Talren v5
v5.2.9





Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8
γ _m (kN/m ³)	20,00	19,50	20,50	20,90	20,50	21,50	20,00	20,00
φ (°)	40,00	25,00	40,00	40,00	35,00	40,00	30,00	40,00
c (kPa)	10,00	5,00	10,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00
dc (MPa/m)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : stabilité globale / Situation : glissement d'ensemble

SCAB-INC
(GEOLOGIE / TENSOL)

SD 7
(GEOtec)

Sanlier

- 1 Remblais anciens
- 2 Alluvions
- 3 Flysch
- 4 Flysch bréchique
- 5 Flysch remanié
- 6 Eboulis
- 7 RD 912
- 8 Sanlier

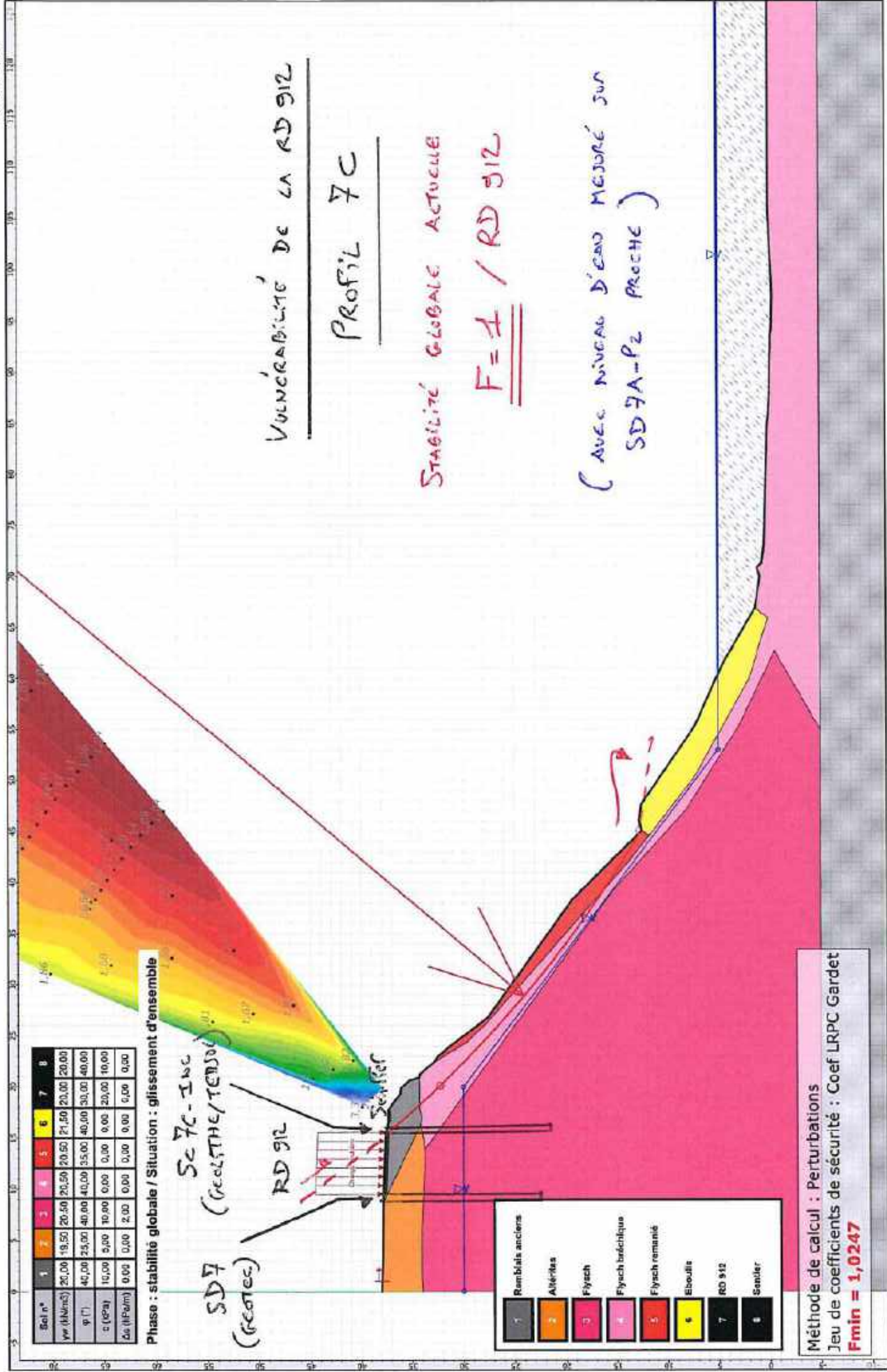
Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,1547

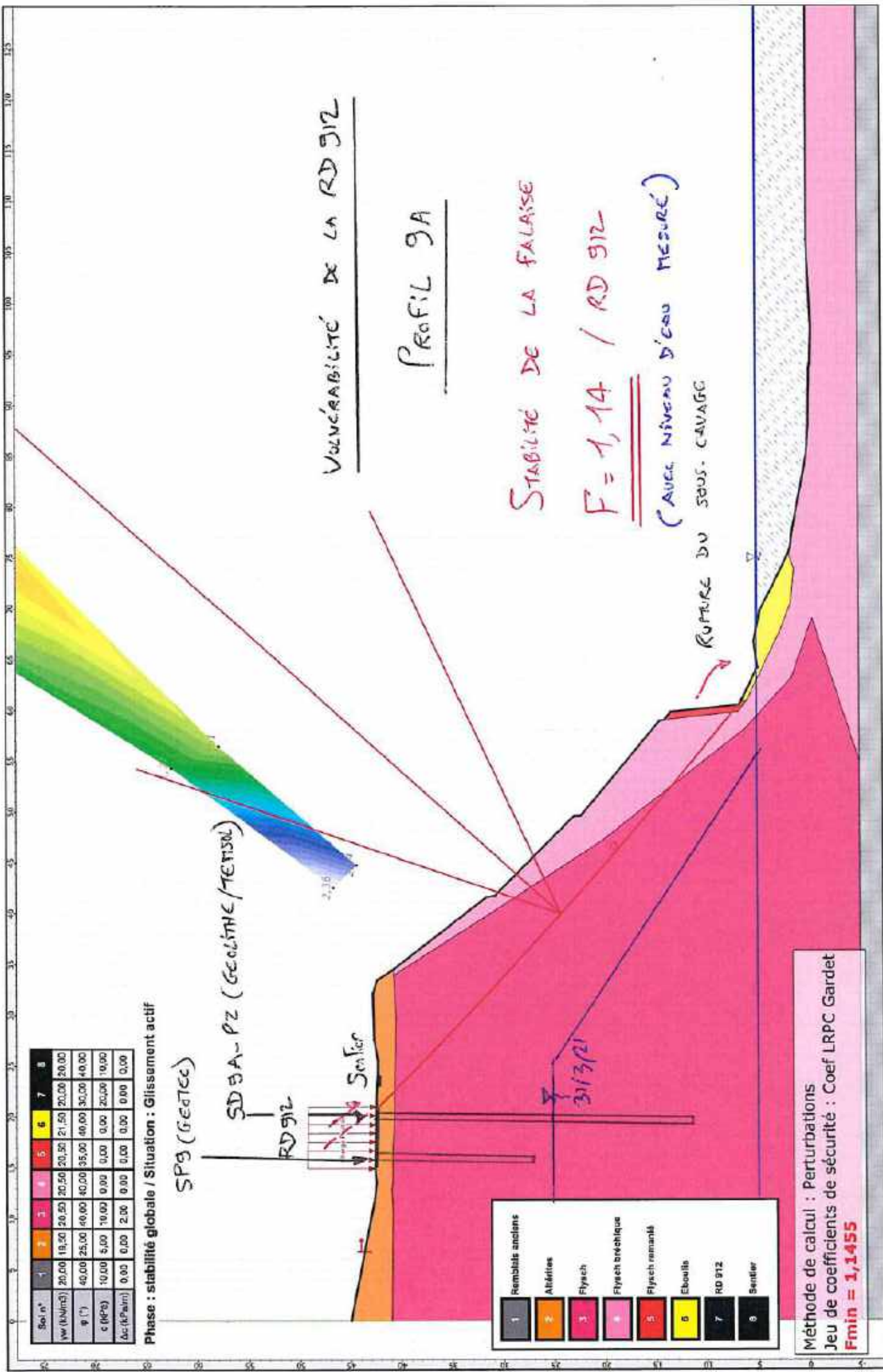
VULNÉRABILITÉ DE LA RD 912
PROFIL 7B

STABILITÉ GLOBALE ACTUELLE :

F = 1,15 / RD 912

(AVEC NIVEAU D'EAU MESURÉ)
 SUR SD 7A-PZ PROCHE





Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8
γw (kN/m³)	20,00	18,20	20,50	20,50	21,50	20,00	20,00	20,00
γ (kN/m³)	40,00	25,00	40,00	40,00	35,00	30,00	40,00	40,00
c (kPa)	10,00	5,00	10,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00
δc (kPa/m)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : stabilité globale / Situation : Glissement actif

SP9 (GERTCC)

SD 9A-PZ (GERTCC/TERTOL)

RD 912

Sen Fer

- 1 Remblais anciens
- 2 Alluvies
- 3 Flysch
- 4 Flysch brecheux
- 5 Flysch remanié
- 6 Eboullis
- 7 RD 912
- 8 Sentier

Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,1455

VOLVÉRABILITÉ DE LA RD 912

PROFIL 9A

STABILITÉ DE LA FALAISE

F = 1,14 / RD 912

(Avec Niveau d'eau mesuré)

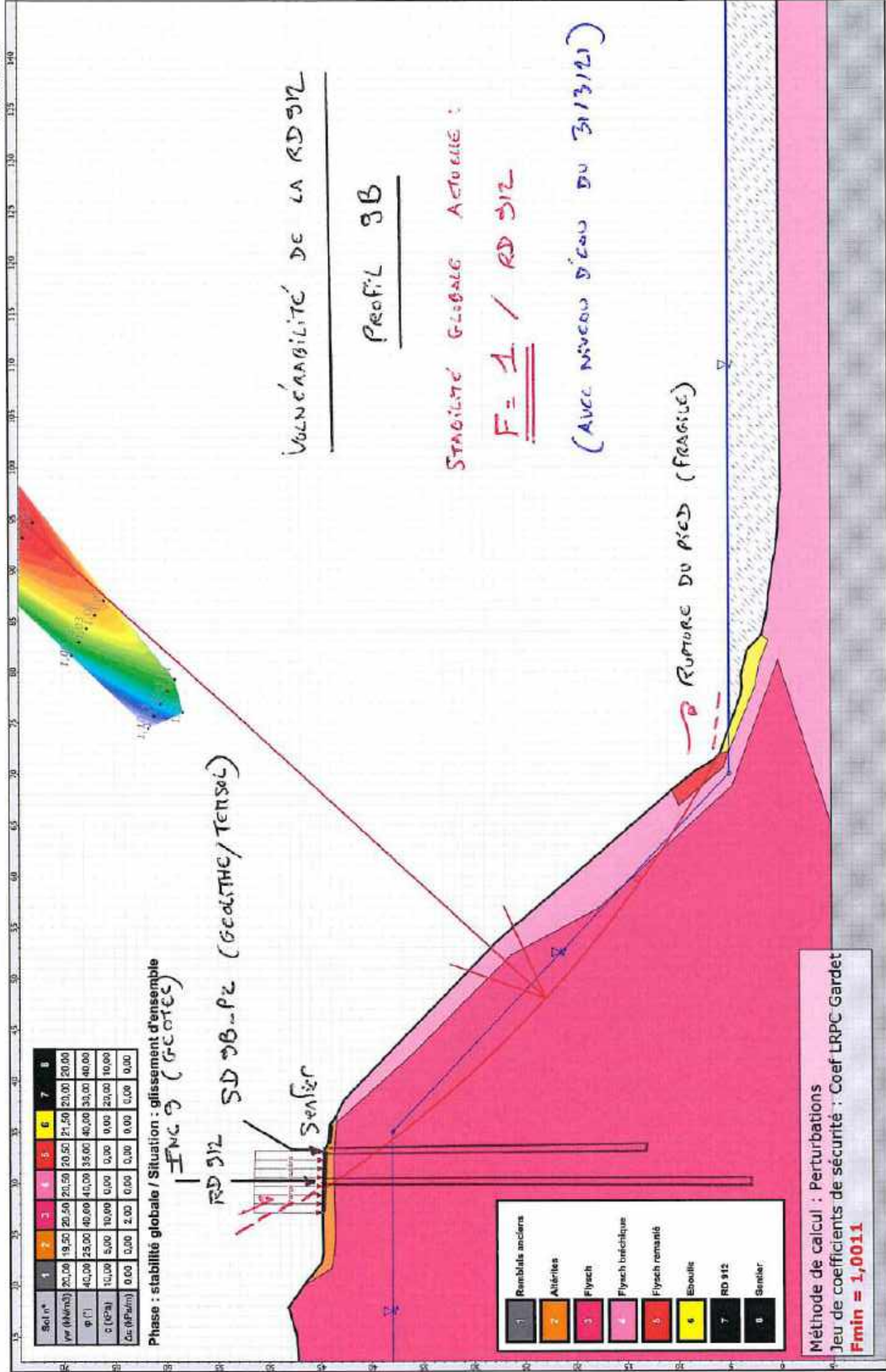
RUPURE DU SOUS-CAVAGE

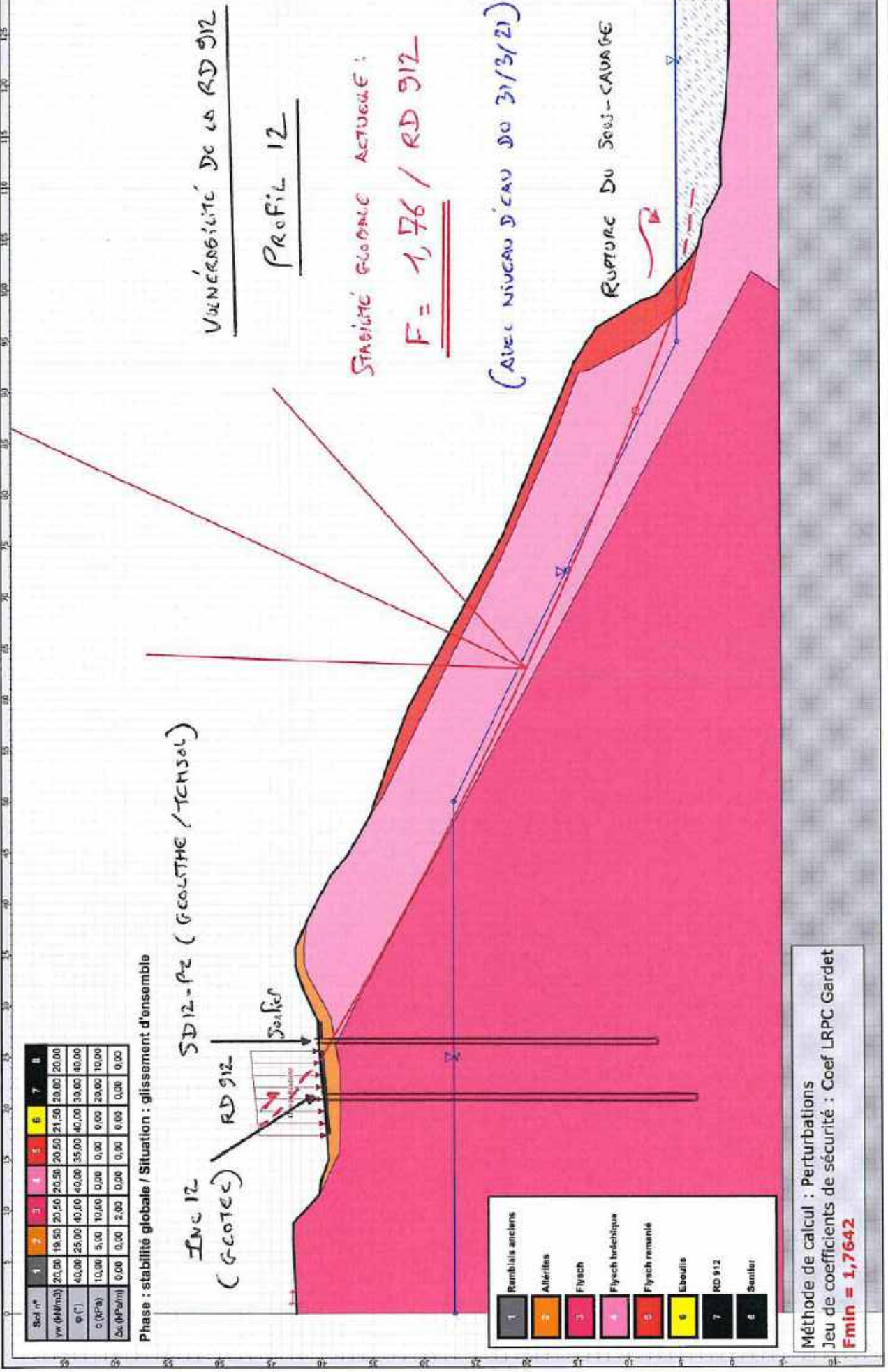


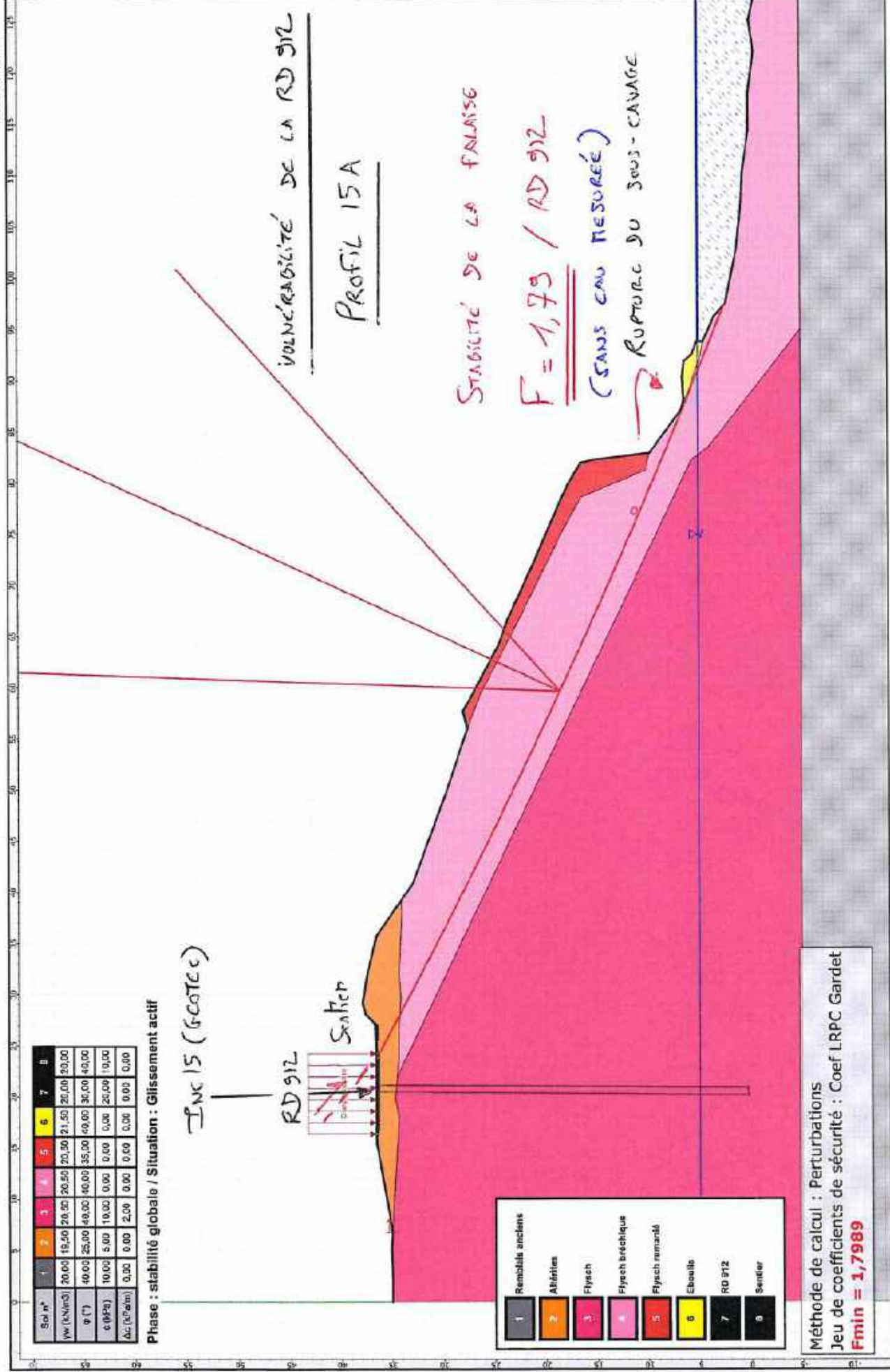
Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 10 mai 2021 17:19:40
 Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Projet : sab global 9A







Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
γw (kNm ⁻³)	20,00	19,20	20,50	20,30	21,50	20,00	20,00	20,00	20,00
φ (°)	40,00	25,00	40,00	40,00	35,00	40,00	30,00	40,00	40,00
c (kPa)	10,00	5,00	10,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00	0,00
Δic (kPa/m)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : stabilité globale / Situation : Glissement actif

INC 15 (GOTEC)

RD 912

SARTEP

- 1 Remblais anciens
- 2 Alluvions
- 3 Flysch
- 4 Flysch bréchique
- 5 Flysch remanié
- 6 Ebouille
- 7 RD 912
- 8 Sentier

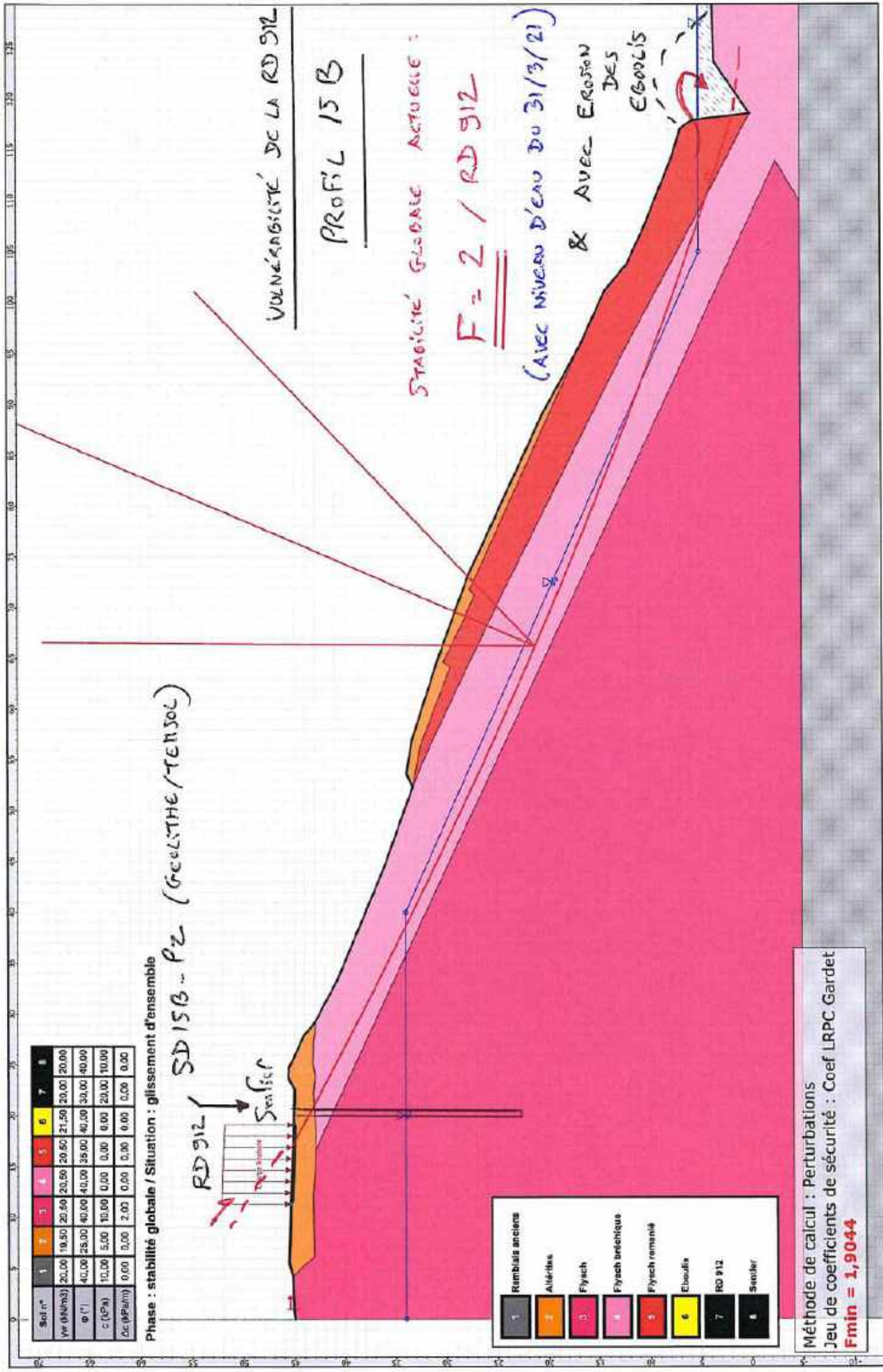
Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,7989



Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 10 mai 2021 17:37:13
 Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Projet : sab global 15A

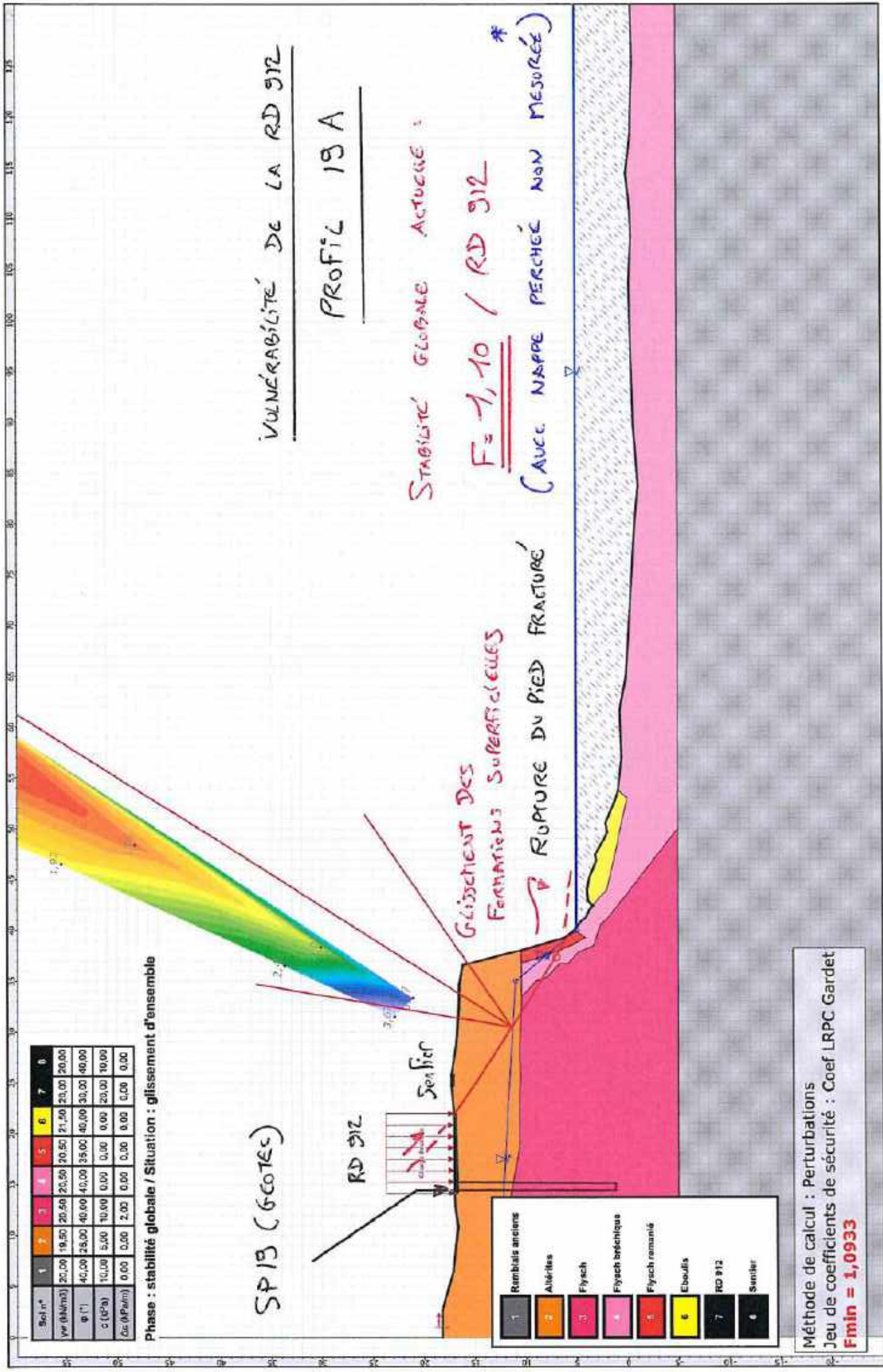


Projet : stab global 15B

Imprimé le : 17 mai 2021 09:32:16
Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Talren v5
v5.2.9





Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8
w (dM/m3)	20,00	19,50	20,50	20,50	20,50	21,50	20,00	20,00
φ (°)	40,00	28,00	40,00	40,00	35,00	40,00	30,00	40,00
c (kPa)	10,00	5,00	10,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00
γc (kN/m³)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : stabilité globale / Situation : glissement d'ensemble

SP19 (6COTES)

PROFIL 19A

STABILITE GLOBALE ACTUELLE :

$F = 1,10$ / RD 912
 (Avec nappe perchée non mesurée) *

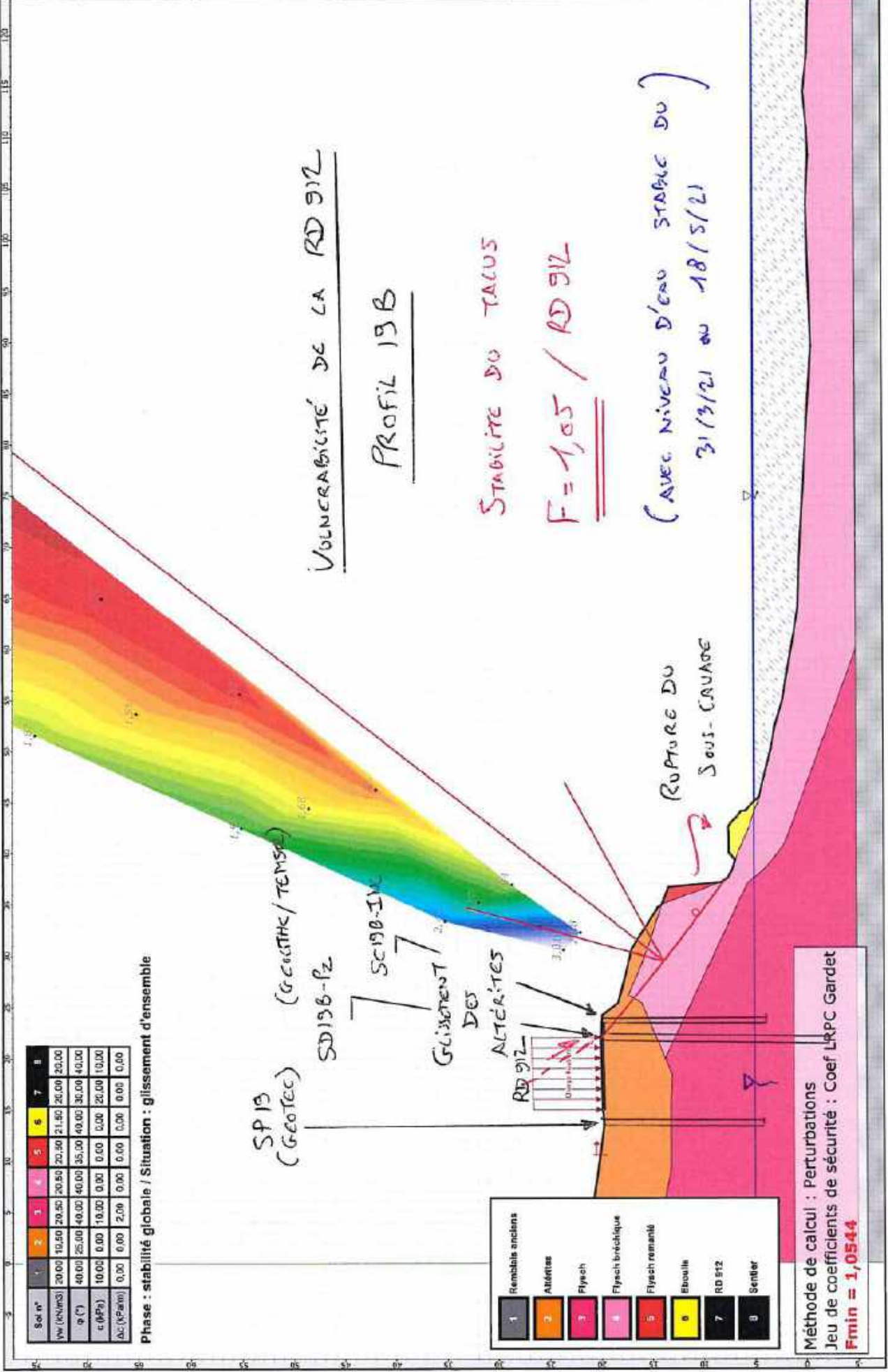
GLISSEMENT DES FERRAIRES SUPERFICIELLES

RUPURE DU PIED FRACTURE

- 1 Remblais anciens
- 2 Alluvions
- 3 Flysch
- 4 Flysch bréchique
- 5 Flysch remanié
- 6 Ebouffis
- 7 RD 912
- 8 Sentier

Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,0933

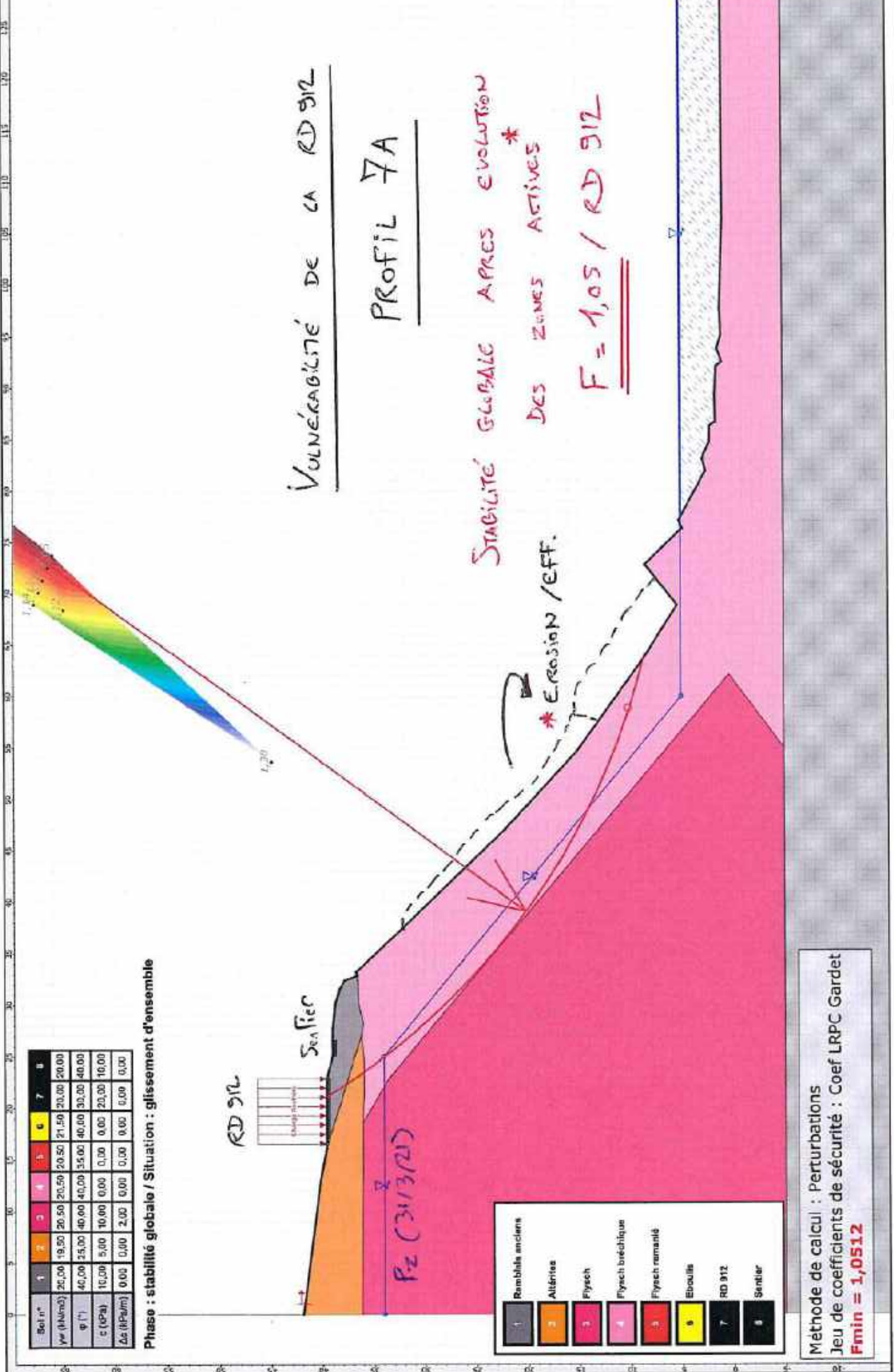
VULNERABILITE DE LA RD 912



Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 10 mai 2021 17:57:56
Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Projet : stab global 19B

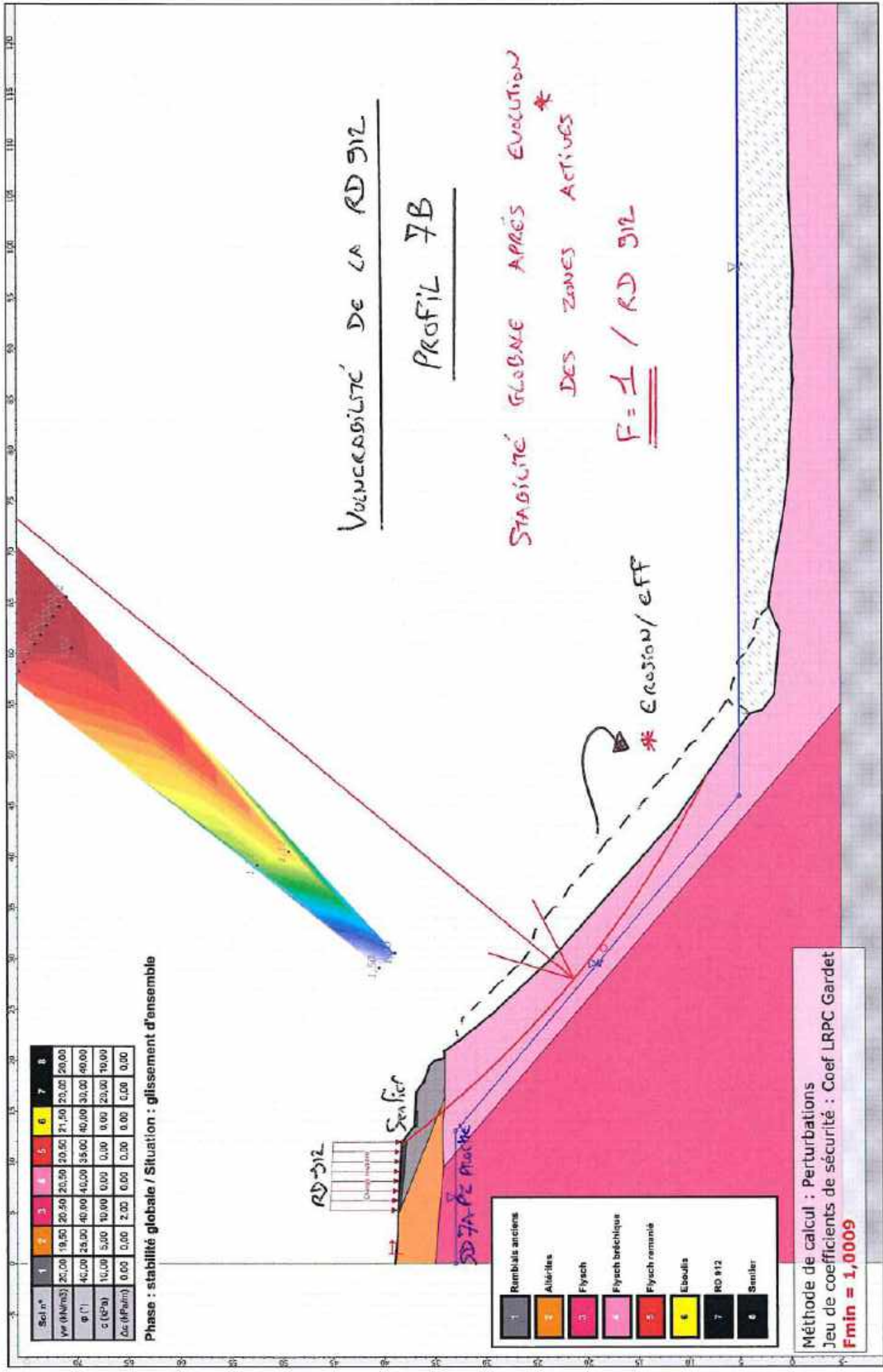


Projet : stab global 7A

Imprimé le : 23 août 2021 16:45:20
 Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Talren v5
 v5.2.9

setec



Voieabilité de la RD 912

PROFIL 7B

STABILITÉ GLOBALE APRÈS ÉVOLUTION
DES ZONES ACTIVES

$$F = \underline{\underline{1}} / RD 912$$

* Erosion/eff

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Wp (H/m3)	20,00	19,50	20,50	20,50	20,50	21,50	20,00	20,00
φ (°)	40,00	25,00	40,00	40,00	35,00	40,00	30,00	40,00
c (kPa)	10,00	5,00	10,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00
Δc (MPa/m)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : stabilité globale / Situation : glissement d'ensemble

- 1 Remblais anciens
- 2 Alluvions
- 3 Flysch
- 4 Flysch bréchique
- 5 Flysch remanié
- 6 Eboulis
- 7 RD 912
- 8 Sentier

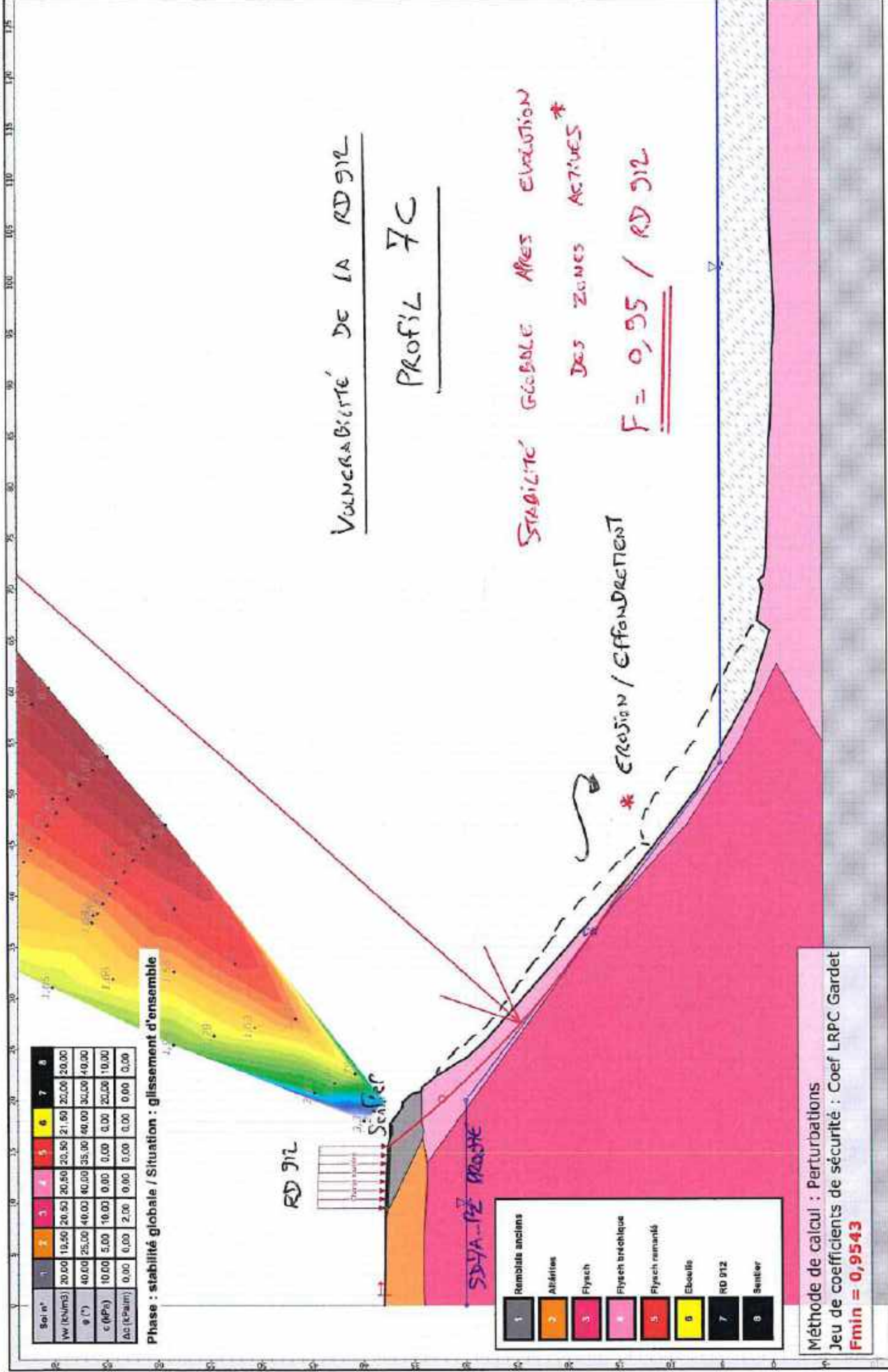
Méthode de calcul : Perturbations
Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,0009

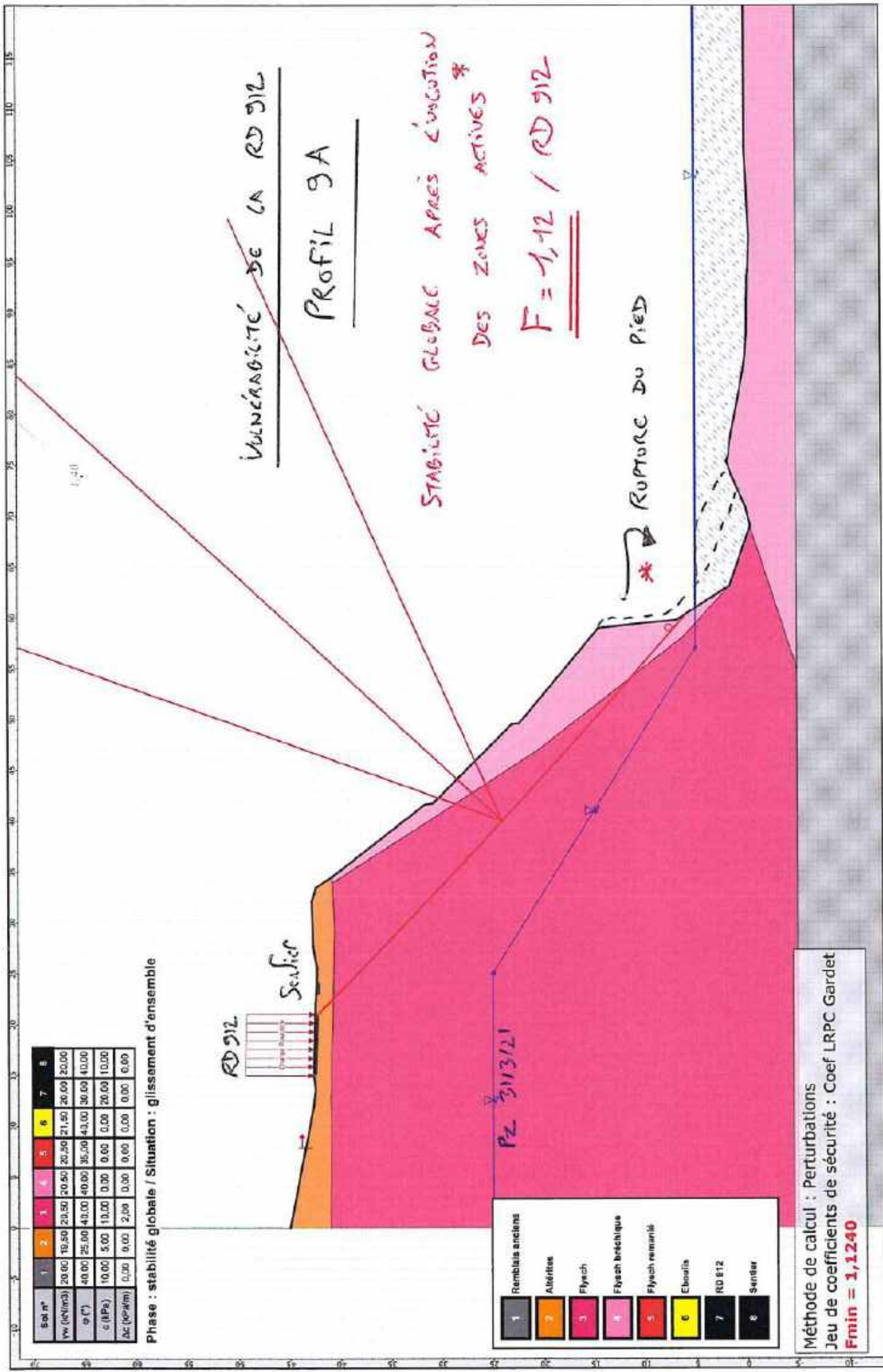


Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 23 août 2021 16:47:31
Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Projet : stab global 7B





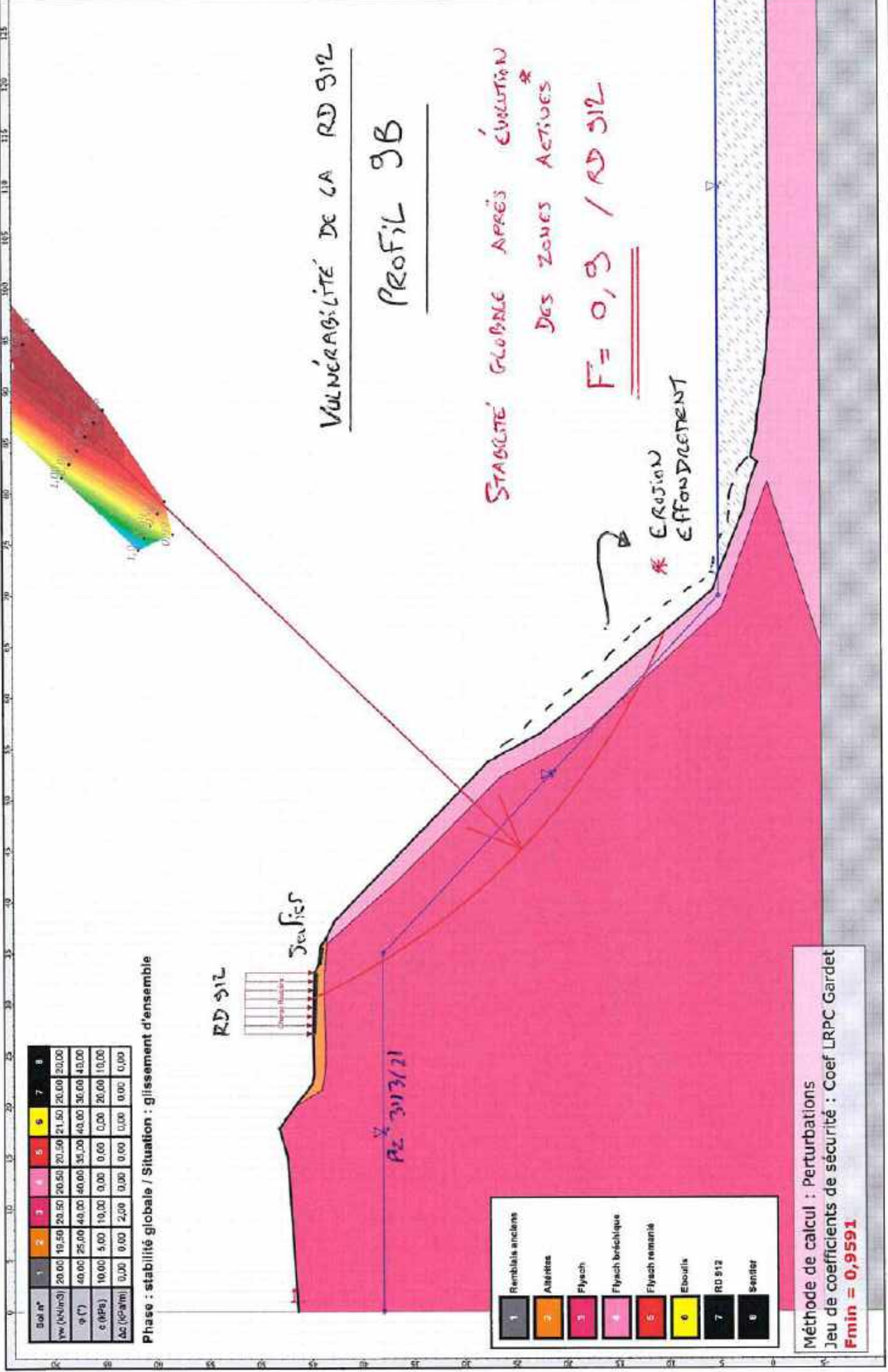
Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,1240



Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 24 août 2021 09:02:12
 Calcul réalisé par : CEREMA DterSO

Projet : stab global 9A



Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8
γ_w (kN/m ³)	20,00	19,50	20,50	20,50	20,50	21,50	20,00	20,00
ϕ (°)	40,00	25,00	40,00	40,00	30,00	40,00	30,00	40,00
c (kPa)	10,00	5,00	10,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : stabilité globale / Situation : glissement d'ensemble

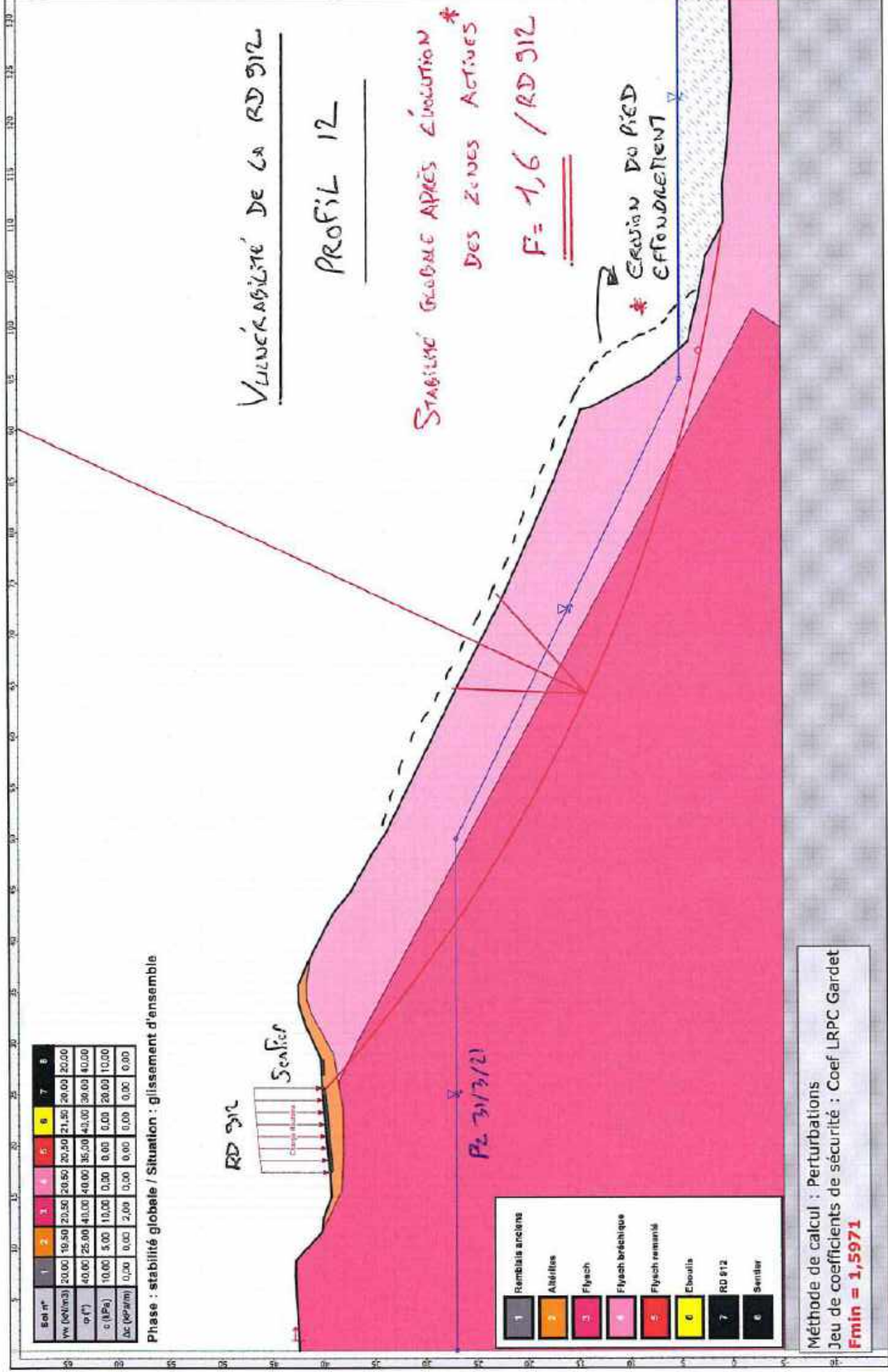
- 1 Remblais anciens
- 2 Allègres
- 3 Flysch
- 4 Flysch bréchique
- 5 Flysch remanié
- 6 Eboulis
- 7 RD 912
- 8 Sensier

Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 0,9591

VULNERABILITE DE LA RD 912
PROFIL 9B

STABILITE GLOBALE APRES EVOLUTION
 DES ZONES ACTIVES
F = 0,9 / RD 912

* EROSION
 EFFONDREMENT



Str n°	1	2	3	4	5	6	7	8
γ _m (KN/m ³)	20,00	19,50	20,50	20,50	20,50	21,50	20,00	20,00
α (°)	40,00	25,00	40,00	40,00	35,00	45,00	30,00	40,00
c (kPa)	10,00	5,00	10,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : stabilité globale / Situation : glissement d'ensemble

- 1 Remblais anciens
- 2 Arbères
- 3 Flysch
- 4 Flysch bréchique
- 5 Flysch remaniés
- 6 Eboulis
- 7 RD 912
- 8 Sentier

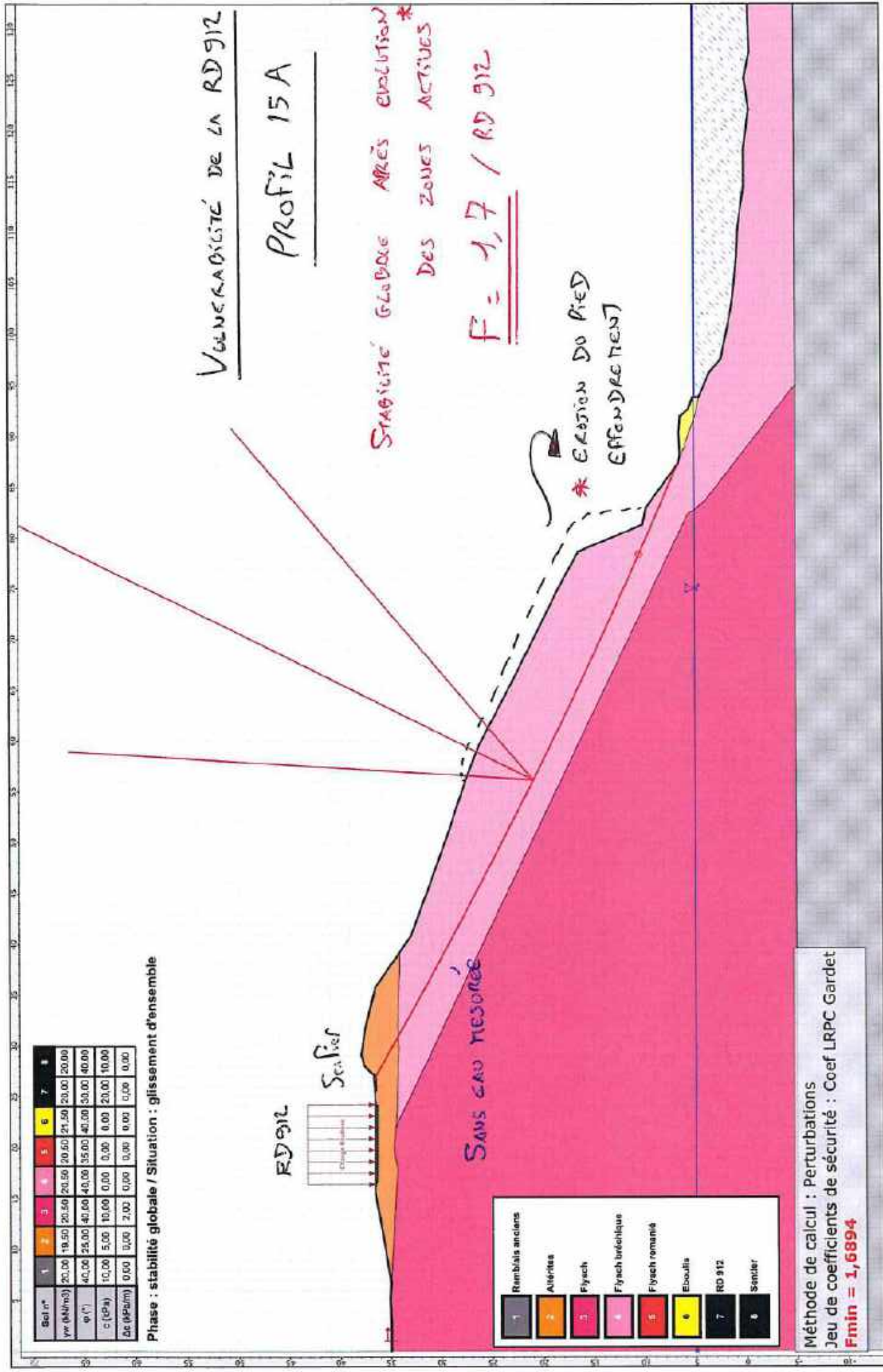
Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,5971



Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 23 août 2021 18:10:08
 Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Projet : stab global 12



VULNERABILITE DE LA RD 912
 PROFIL 15A

STABILITE GLOBALE APRES EVOLUTION*
 DES ZONES ACTIVES
F = 1,7 / RD 912

* EROSION DU PIED
 EFFONDREMENT

SANS CAU RESERVE



Bed n°	1	2	3	4	5	6	7	8
γ _v (kN/m ³)	20,00	19,50	20,50	20,50	20,50	21,50	20,00	20,00
φ (°)	40,00	25,00	40,00	40,00	35,00	40,00	30,00	40,00
c (kPa)	10,00	5,00	10,00	0,00	0,00	0,00	20,00	10,00
Δε (kPa/m)	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : stabilité globale / Situation : glissement d'ensemble

- 1 Remblais anciens
- 2 Alluvions
- 3 Flysch
- 4 Flysch bréchique
- 5 Flysch remanié
- 6 Eboulis
- 7 RD 912
- 8 Sentier

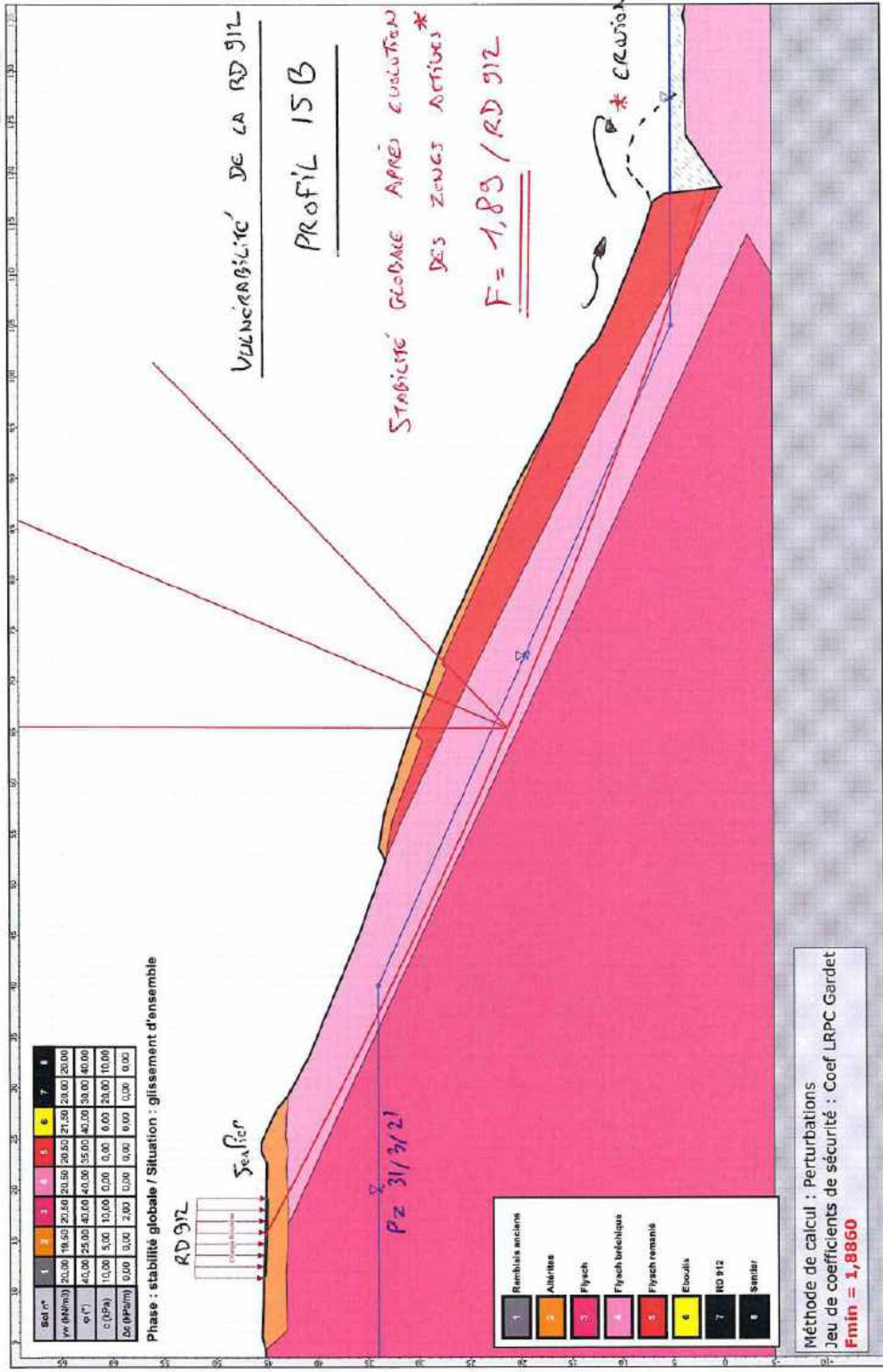
Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
F_{min} = 1,6894



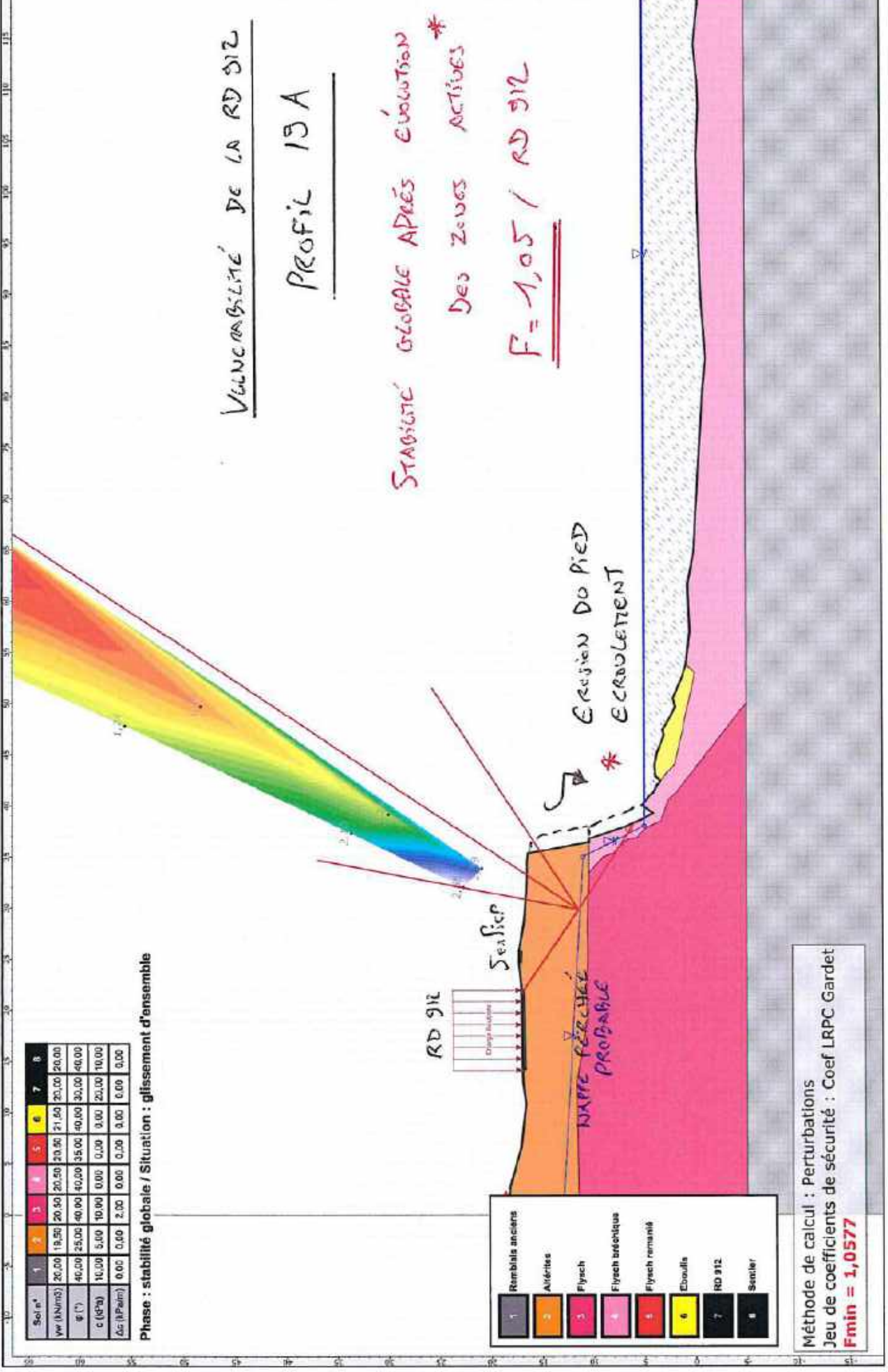
Talren v5
 v5.2.9

Imprimé le : 23 août 2021 18:18:08
 Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Projet : stab global 15A



Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,8860



VULNERABILITÉ DE LA RD 912
PROFIL 19A

STABILITÉ GLOBALE APRÈS ÉVOLUTION
 DES ZONES ACTIVES *

F = 1,05 / RD 912

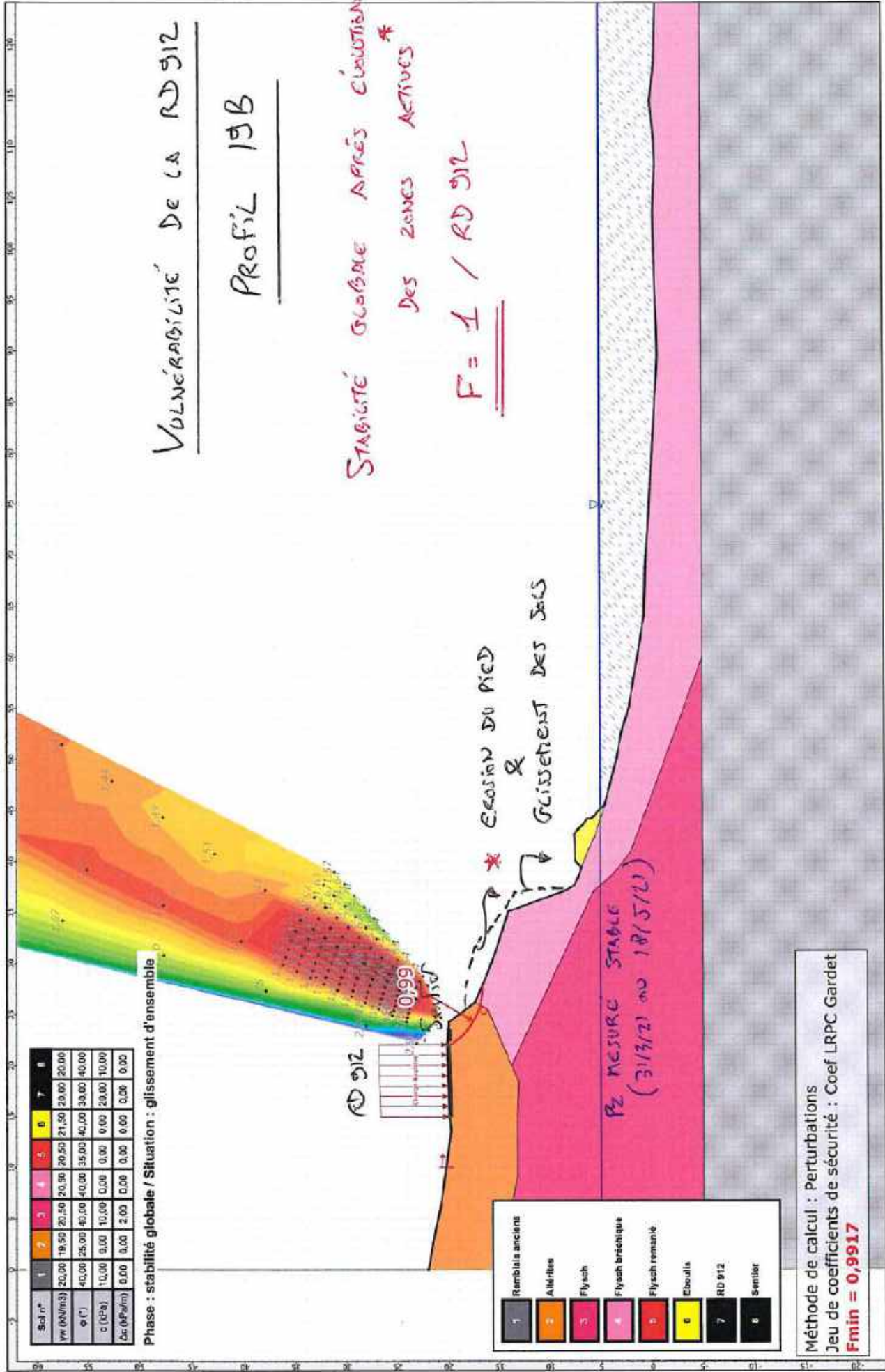
Méthode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de sécurité : Coef LRPC Gardet
Fmin = 1,0577



Talren v5
 v5.2.9

Imprimé le : 23 août 2021 16:31:40
 Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Projet : siab global 19A



VULNERABILITE DE LA RD 912
 PROFIL 19B

STABILITE GLOBALE APRES CROUPLON *
 DES ZONES ACTIVES
F = 1 / RD 912

* EROSION DU PIED
 &
 GLISSEMENT DES SACS

PZ MESURE STABLE
 (31/3/21 au 18/5/21)

Methode de calcul : Perturbations
 Jeu de coefficients de securite : Coef LRPC Gardet
Fmin = 0,9917



Tairen v5
 v5.2.9

Imprimé le : 24 août 2021 09:27:27
 Calcul réalisé par : CEREMA DTERSO

Projet : stab global 19B

ANNEXE 6

**Compte-rendu de visite du
glissement survenu le 29/10/2020**

SUD-OUEST

Compte rendu de visite

Mouvement de terrain du 29 octobre 2020 à Urrugne (tronçon 14)

Le Cerema est intervenu le vendredi 6 novembre 2020 pour procéder à l'expertise d'un éboulement rocheux de taille significative le long de la route de la corniche à Urrugne. Cette expertise a été menée sur site, en partie avec le BRGM (M. Garnier) missionné par l'OCA.

Déclenché le **jeudi 29 octobre 2020** en fin d'après-midi sur le tronçon 14 (rapport BRGM RP57301-FR) de manière concomitante avec la tempête Alex, ce phénomène a fait l'objet d'une analyse dans l'objectif :

- ✓ de décrire succinctement le mouvement de terrain,
- ✓ d'identifier la configuration initiale de la falaise, notamment géomorphologique,
- ✓ de définir les paramètres impliqués dans le déclenchement et la cinématique de l'instabilité,
- ✓ d'identifier le(s) mécanisme(s) en jeu et son(leur) évolution potentielle,
- ✓ de comparer le site éboulé aux autres profils dimensionnant étudiés.

Cette note est complémentaire de celle réalisée par le BRGM pour l'OCA (NT-BDX-2020-020) et se focalise plus spécifiquement sur l'analyse des mécanismes en jeu.

✓ *Le mouvement de terrain constaté et les reculs associés*

Le mouvement constaté correspond à un écroulement banc sur banc de dalles calcaires. Selon les secteurs, une à trois dalles (flysch) sont impliquées. L'épaisseur de la dalle superficielle est comprise entre 70 et 80 cm, celle de la dalle sous-jacente de 30 à 40 cm (la troisième dalle a une épaisseur estimée à 50 cm environ). Présentant un pendage de l'ordre de 28° (Lidar OCA 2018), les flyschs déstabilisés occupaient une surface d'environ 1 500 m² (55 m de linéaire X 30 m de hauteur) et un **volume** approximativement compris entre **2000 et 2 500 m³**.

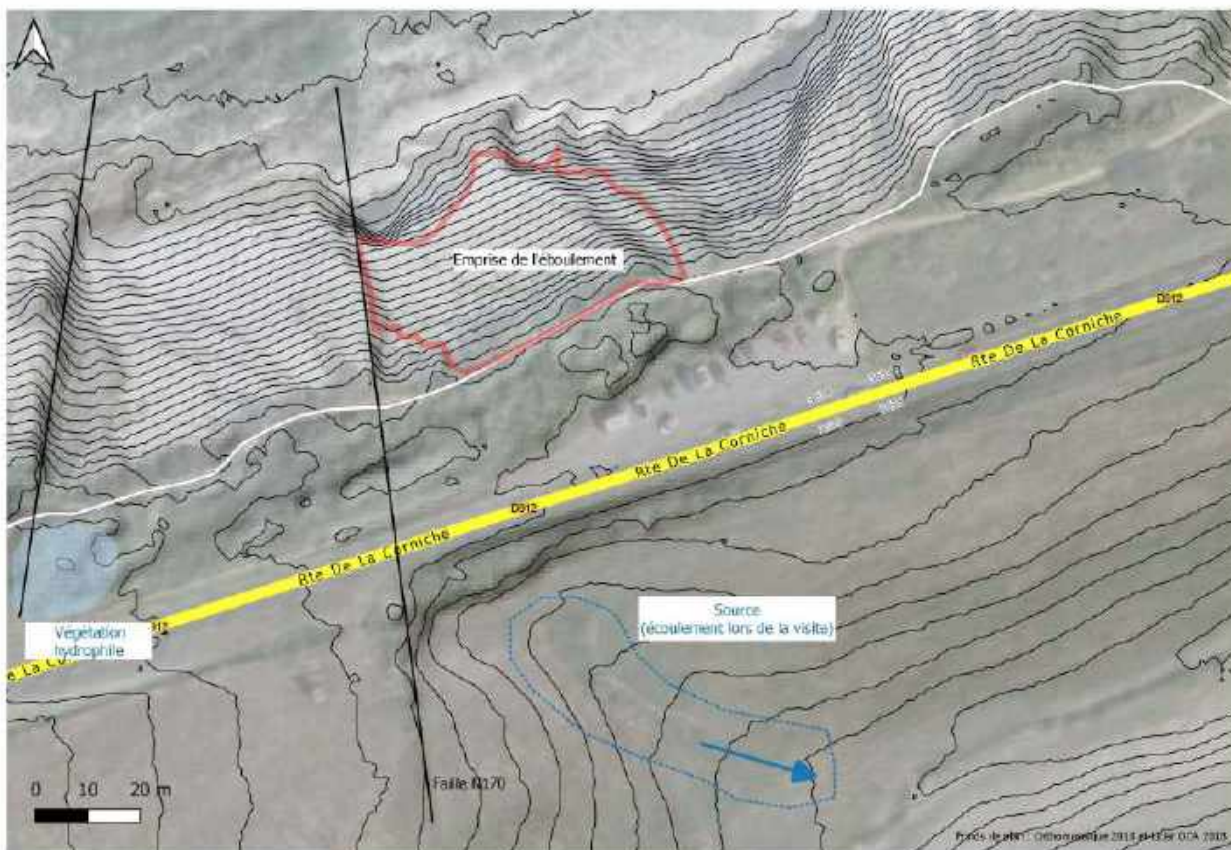


Figure 1 : Emprise du glissement banc sur banc et contextes topographique et hydrologique de la zone (source Lidar OCA 2018)

Dans un premier temps (29/10/20), seule la dalle superficielle de 80 cm s'est détachée depuis la crête (en générant un déplacement d'au moins 20 m – cf photo 10 de l'annexe 2) ; cela correspond à un **recul (théorique) de l'ordre de 2,80 m** si on considère une épaisseur de sol de l'ordre de 50 cm (en tenant compte d'un pendage à 28°).

Ensuite (entre le 02 et le 06/11/20) et principalement sur la partie Est de la zone, 2 nouvelles dalles calcaires ont rompu (déplacement d'au moins 5 m de la dalle intermédiaire– cf photo 8 et 9 de l'annexe 2 et un écartement d'au moins 50 cm de la dalle inférieure); cela a généré un recul supplémentaire dans cette zone Est se traduisant par la chute du sentier littoral (surface de rupture située environ 1 m en amont de la position initiale du sentier) : **recul théorique supplémentaire de 2,60 m.**

Au total, le recul constaté est compris entre 2,80 m (partie ouest) et 5,40 m (partie est ;figure 2).

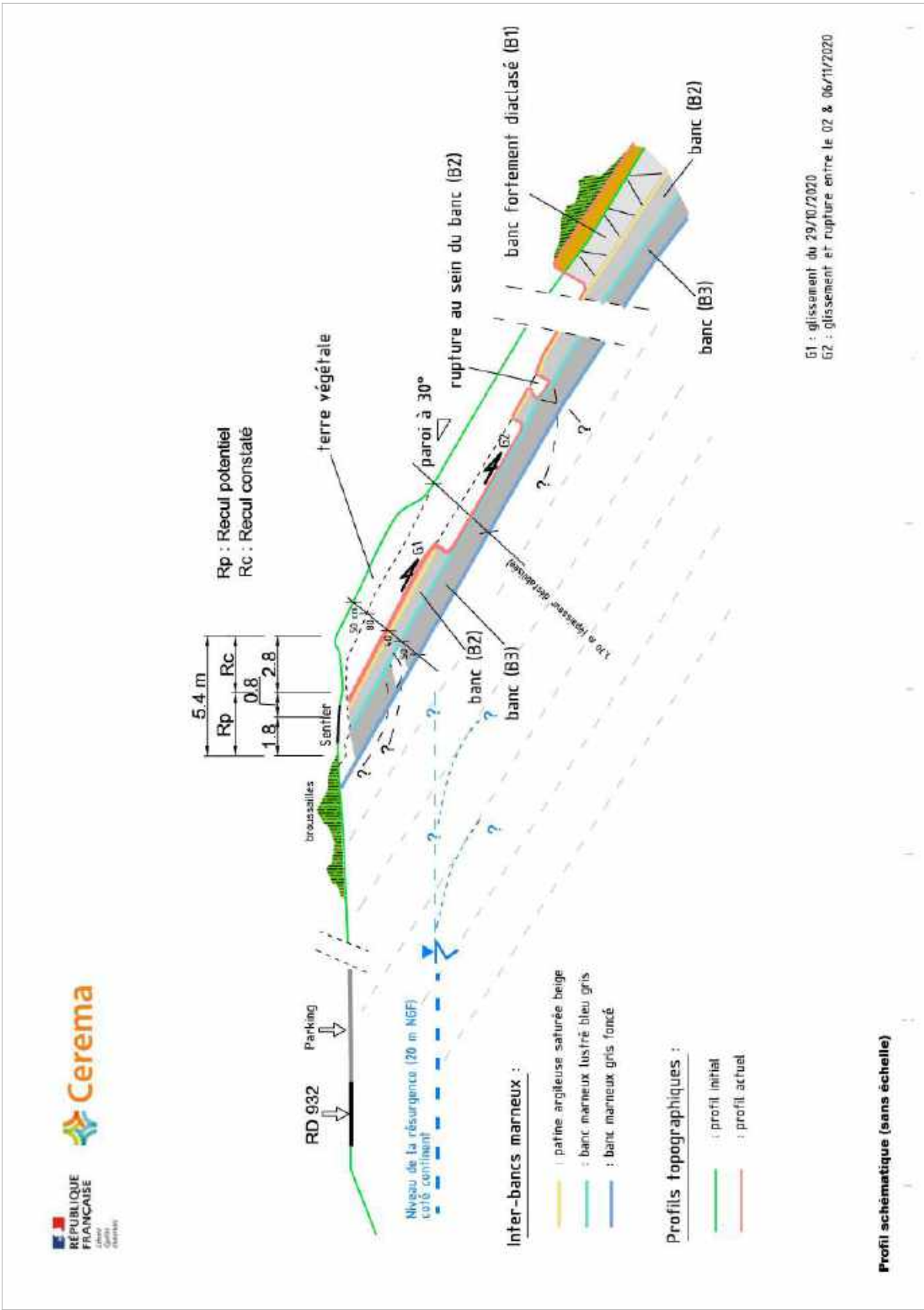


Figure 2 : Morphologie des bancs de flysch en tête de falaise, ruptures et reculs théoriques associés

✓ Configuration initiale du site

Le secteur 14 présentait, en pied de falaise et dans sa configuration initiale, **deux larges sous-cavages reliés par une étroite pile** (largeur < 5 m) elle-même sous-cavée (érosion différentielle inter-banc ; cf ombrage sur photographies figure 3). Cette pile a perdu, par ablation latérale, près de 1/4 de sa largeur entre 2015 et 2016 (prise de vue oblique aérienne de l'OCA).

Le glissement expertisé s'est déclenché au droit du sous-cavage le plus à l'ouest (dimensions du sous-cavage : environ 4 m de haut (épaisseur stratigraphique) ; 15 m de linéaire (de haut en bas) ; 28 m de largeur maximale ; 13 de largeur au cœur). Soit une surface de sous-cavage maximale de l'ordre de 400 m².

Cette configuration morphologique est particulièrement défavorable car une partie des dalles calcaires de la falaise n'avaient soit plus de butée en pied (au droit du sous-cavage) soit un appui très fragile (pile située entre les deux sous-cavages).

L'ensemble de la dalle de surface présentait, sur photographies aériennes obliques, **une fracturation (diaclasses) très marquée**, semblant découper la dalle en blocs compris entre 1 et 3 m². Cela concerne également la pile reliant les deux sous-cavages connexes.

Plusieurs failles géologiques découpent également le secteur, dont la principale, d'orientation N170, qui délimite l'extrémité ouest de l'écroulement.

D'un point de vue historique, on constate ces dernières années de nombreuses chutes de portions de dalles pré-fracturées, notamment au niveau des sous-cavages préexistants (figure 3).

D'un point de vue hydrologique, une seule arrivée d'eau (peu significative) a été constatée au sein de la zone glissée (figure 5), dans la partie est, à mi-pente.

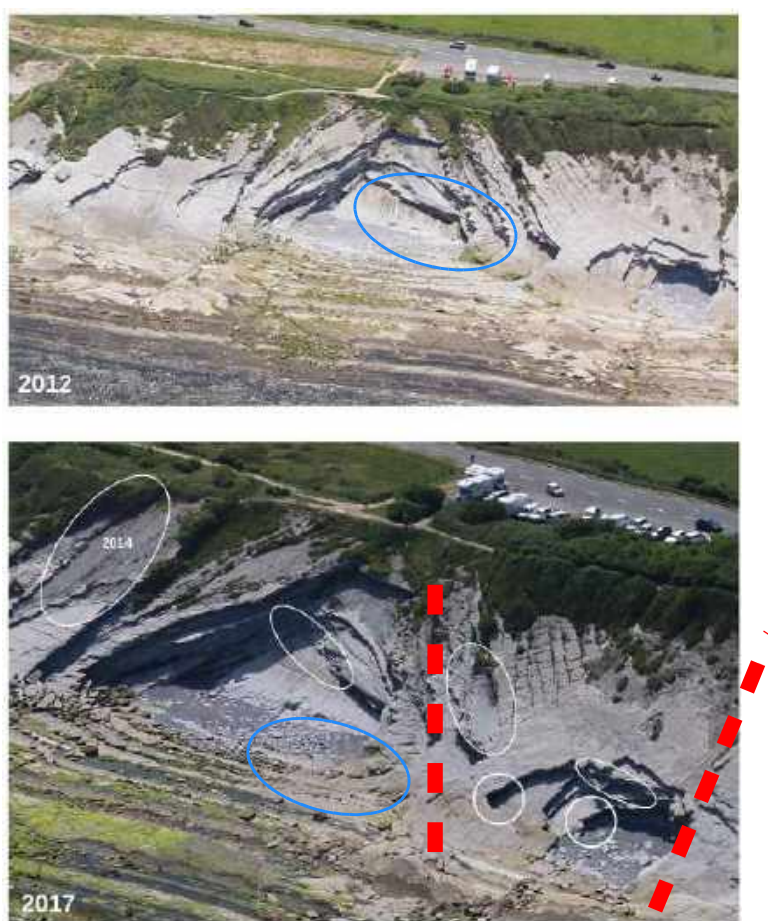


Figure 3 : Illustrations de quelques chutes de (portions de) dalle calcaire en 5 ans (cerclage blanc) et arrivées d'eau continues (cerclage bleu) ; extension de l'écroulement en rouge (photographies OCA 2012-2017)



Inter-banc marno-argileux à la base des dalles calcaires
(ici dalle superficielle de 80 cm d'épaisseur)



Arrivée d'eau ponctuelle sur la bordure est du glissement



Arrivées d'eau sur l'ensemble de l'inter-banc marneux (hors glissement)

Figure 4 (haut), Figure 5 (milieu) et Figure 6 (bas)

En revanche, des écoulements continus sont relevés au sein du sous-cavage non affecté par le glissement (celui de l'Est), au sein des inter-bancs marneux (Figures 3 et 6) ; difficile, en l'état de donner avec certitude l'origine de ces écoulements : continentale (météoritique) ou marine (re-

essuyage post-marée-haute). Néanmoins, les marques d'altération (en surface de la dalle superficielle) et le flux d'écoulement laissent supposer des arrivées d'eau continentales humidifiant voire saturant les inter-bancs marneux, comme ce qui a été constaté au niveau de la zone glissée. Une zone humide (à végétation hygrophile) est aussi constatée environ 100 m à l'est de la zone glissée, en tête de falaise (entre le sentier et la route ; cf figure 1). Cette zone est probablement déconnectée des circulations d'eau au sein du glissement expertisé mais indique néanmoins la présence d'eau en tête de falaise, probablement à la faveur de petite(s) nappe(s) perchée(s) et/ou d'exutoire(s) des eaux d'assainissement routier.

De même, une **résurgence** (figures 1 et 6) présentant un débit continu de quelques litres par minutes au moins (le jour de la visite, le 06 novembre) est constatée côté continent : altitude NGF d'environ 20 m et distance à la route d'environ 20 m. Cette résurgence est marquée dans le paysage (érosion initiant un thalweg visible sur les orthophotos) ce qui confirme l'écoulement régulier ; L'eau rejoint un réseau hydrographique dont l'exutoire (l'océan) est situé plus à l'est, au niveau de la plage des Viviers. Cette résurgence confirme la présence de nappe(s) perchée(s) au sein de la partie haute des flyschs (au moins sur ce tronçon 14). L'absence d'information sur l'épaisseur d'altérites sur ce tronçon ne permet cependant pas d'établir d'extension possible de cette nappe perchée.

En l'état actuel des connaissances, difficile d'affirmer si cette nappe perchée alimente les falaises, coté océanique. Néanmoins, cette résurgence étant située à quelques mètres de la faille géologique bordant le glissement, une connexion hydraulique avec la falaise étudiée ne peut être exclue.








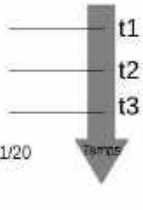
Figure 6 : Résurgence coté continent

D'un point de vue stratigraphique, les dalles calcaires se superposent et sont séparées par des inter-bancs marneux d'épaisseur faible (de l'ordre de 5 à 7 cm) ; c'est ce matériau, souvent (très) humide, à patine beige ou grise, d'aspect parfois gréseux, parfois argileux à limoneux, qui constitue la surface de glissement (inclinée à 30°) parfaitement plane (surface lisse et lustrée).

3- Cinématique, paramètres impliqués et mécanismes en jeu

Au moins deux (peut-être trois) phases ont affecté la falaise, comme décrit dans la note du BRGM pour l'OCA citée précédemment ; dans un premier temps, rupture de la dalle superficielle, puis dans un deuxième temps rupture des deux dalles sous-jacentes (figures 7 et 8).



-  Rupture et déplacement (~ 15 m) de la dalle superficielle (~ 0,8 m d'épaisseur) : 29/10/20
 -  Rupture et déplacement (~ 5 m) de la dalle sous-jacente (~ 0,4 m d'épaisseur) : entre 29/10/20 et 06/11/20
 -  Zone fracturée sur au moins 2 épaisseurs de dalles (~ 1 m de profondeur) : entre 29/10/20 et 06/11/20
 -  Zone fracturée et glissée sur au moins 2 épaisseurs de dalles (~ 1,5 m d'épaisseur) : entre 29/10/20 et 06/11/20
 -  Arrivées d'eau (inter-banc)
- 

t1
t2
t3
temps

Figure 7 : Schéma synthétique du mouvement de terrain



Figure 8 : planche-photos du glissement depuis le sentier littoral

En absence de témoignage lors du mouvement de terrain, difficile de donner la dynamique précise de son déclenchement ; néanmoins, la concomitance du mouvement de terrain avec un niveau de mer élevé (aggravé par la houle de la tempête Alex) favorise l'hypothèse d'une **rupture de la pile sur laquelle se reportaient une partie de la masse des deux sous-cavages (effet voûte)**. Cette hypothèse ne peut néanmoins pas être confirmée sur site en raison de l'amas important d'éboulis en pied de falaise. Étroite et fragilisée par des inter-bancs largement érodés, cette pile a probablement emmené dans sa chute la dalle superficielle de 80 cm environ.

En glissant, cette dalle a fortement choqué et fragilisé les dalles sous-jacentes, probablement déjà diaclasées et fragilisées dans la partie ouest du glissement, provoquant quelques jours après le premier glissement, un deuxième glissement (banc sur banc) suite à la rupture de la dalle sous-jacente sur toute la largeur de l'écroulement initial.

Par ailleurs, le pendage des flyschs (et donc de la falaise) d'environ 28-30° favorise probablement la mise en place de circulations d'eau plus pénalisantes que sur les secteurs plus pentés. En effet, l'impact de la houle y est ici intuitivement plus fort, se traduisant par des chocs mécaniques plus érosifs et par des infiltrations plus profondes notamment au sein des bancs marneux

✓ *Un mouvement de terrain de référence ?*

Au regard des volumes impliqués et du recul (constaté et prévisible à court terme), ce mouvement de terrain constitue un événement majeur qui peut être **qualifié d'événement de référence**. En l'absence d'événement historique récent documenté, le phénomène expertisé constitue un événement conforme aux mouvements redoutés le long de la corniche (glissement banc sur banc).

Impliquant jusqu'à trois dalles calcaires de manière quasi-simultanée : 2 à 3 ruptures en moins de 7 jours. Dans sa partie amont, le mouvement semble toujours actif d'après le dispositif de mesure mis en place par le BRGM.

Un événement d'une telle intensité reste relativement rare à l'échelle de la route de la corniche ; à titre informatif, sa période de retour pourrait être estimée en première approche entre 10 et 20 ans (statistiquement sur les 50 dernières années). Pour améliorer cette estimation, une étude statistique est nécessaire ; celle-ci pour inclure la recherche d'une éventuelle **corrélation entre les événements significatifs et les tempêtes** ayant sévi sur le littoral basque au cours du dernier siècle.

Concernant (1) les facteurs de prédisposition et de déclenchement et (2) l'éventuelle extrapolation aux tronçons étudiés par le Cerema, les éléments suivants peuvent être apportés :

Facteurs de prédisposition

La *configuration géomorphologique* initiale du site (double sous-cavage et pile centrale étroite) constitue un facteur de prédisposition assez défavorable ; cette configuration est spécifique à ce tronçon 14 et semble peu rencontrée ailleurs. Néanmoins les profils 9A du secteur 9 et 15A du secteur 15, situés au droit de sous-cavages présentent des configurations affichant des similitudes.

Quant au *pendage des flyschs* (< 30° ici), il semble qu'il soit plutôt favorable au déclenchement de glissements bancs sur banc en favorisant l'imprégnation des inter-bancs marneux (plus faible gradient hydraulique). De même, les instabilités récemment constatées sur ces flyschs peu inclinés impliquent des bancs calcaires plutôt épais (entre 0,5 et 1m) ; cela peut traduire un impact de la masse calcaire sur la consistance et sur le comportement de l'inter-banc marneux. La *combinaison pendage faible/dalle calcaire épaisse* apparaît ainsi particulièrement défavorable (statistiquement au moins).

Parmi les facteurs de prédisposition, il faut également citer la *fracturation des dalles calcaires* (fracturation intrinsèque et altéritique ; a minima de la dalle supérieure et de la pile centrale) et la

présence d'inter-bancs marneux lustrés et très humides qui constituent des surfaces de glissement privilégiées. Ces deux facteurs ne sont pas spécifiques au tronçon 14.

Facteurs déclenchant

Les facteurs déclenchant impliqués semblent en lien avec l'hydrodynamisme du tronçon 14 :

- impact de la houle en pied de falaise en lien avec la tempête Alex : impact mécanique et hydrodynamique (à l'origine probable de la rupture de la pile) ; cet impact est a priori homogène à l'échelle du linéaire de la route de la corniche (à confirmer néanmoins) ;
- rôle des circulations d'eau en tête de falaise ; le tronçon présente en tête des indices de circulation d'eau via la présence très probable de (petites?) nappes perchées redistribuant l'eau en excès coté continent mais peut être aussi côté océan (humidification des inter-bancs marneux). La forte pluviométrie des semaines précédentes le glissement a probablement eu pour conséquence une mise en charge des petites nappes perchées situées en tête de falaise et réactivé des sous-écoulements à l'origine de la saturation des inter-bancs marneux.

Extrapolation aux autres secteurs étudiés par le Cerema

Le site expertisé cumule des facteurs de prédisposition assez spécifiques que l'on rencontre sur le profil 15A du tronçon 15 : sous-cavage, pendage $< 30^\circ$ et dalles calcaires diaclasées et relativement épaisses.

Parmi les facteurs déclenchant, l'intensité de la houle (tempête) semble celui ayant eu le plus d'impact ; cet impact étant a priori identique sur l'ensemble des tronçons, nous le retrouvons de manière systématique ; L'inconnu concerne le rôle des eaux météoritiques en tête de falaises, suspectées sur le tronçon 14 (nappe perchée, résurgence) mais non observées ailleurs.

Annexe 1 : coupe schématique au droit du mouvement de terrain

Annexe 2 : note BRGM (NT-BDX-2020-020)

Emeric VEDIE
Cyril RESPAUD

Le 27 novembre 2020

ANNEXE 1

Coupe schématique au droit du mouvement de terrain

ANNEXE 7

Résultats des suivis inclinométriques et piézométriques du Cerema

CARACTERISTIQUES DU TUBE

2DA+A-

101

NOM DU CHANTIER :	RD912 Route corniche	COTE NGF DU FOND DU TUBE :	0,00 m
N° DOSSIER :	14.64.G630A	N° DE LA SONDE :	51397
NOM DU FORAGE :	01	DATE DE LA MESURE INITIALE :	
DATE DU FORAGE :	15/02/2021		
PROFONDEUR DU FORAGE :	15,00 m		

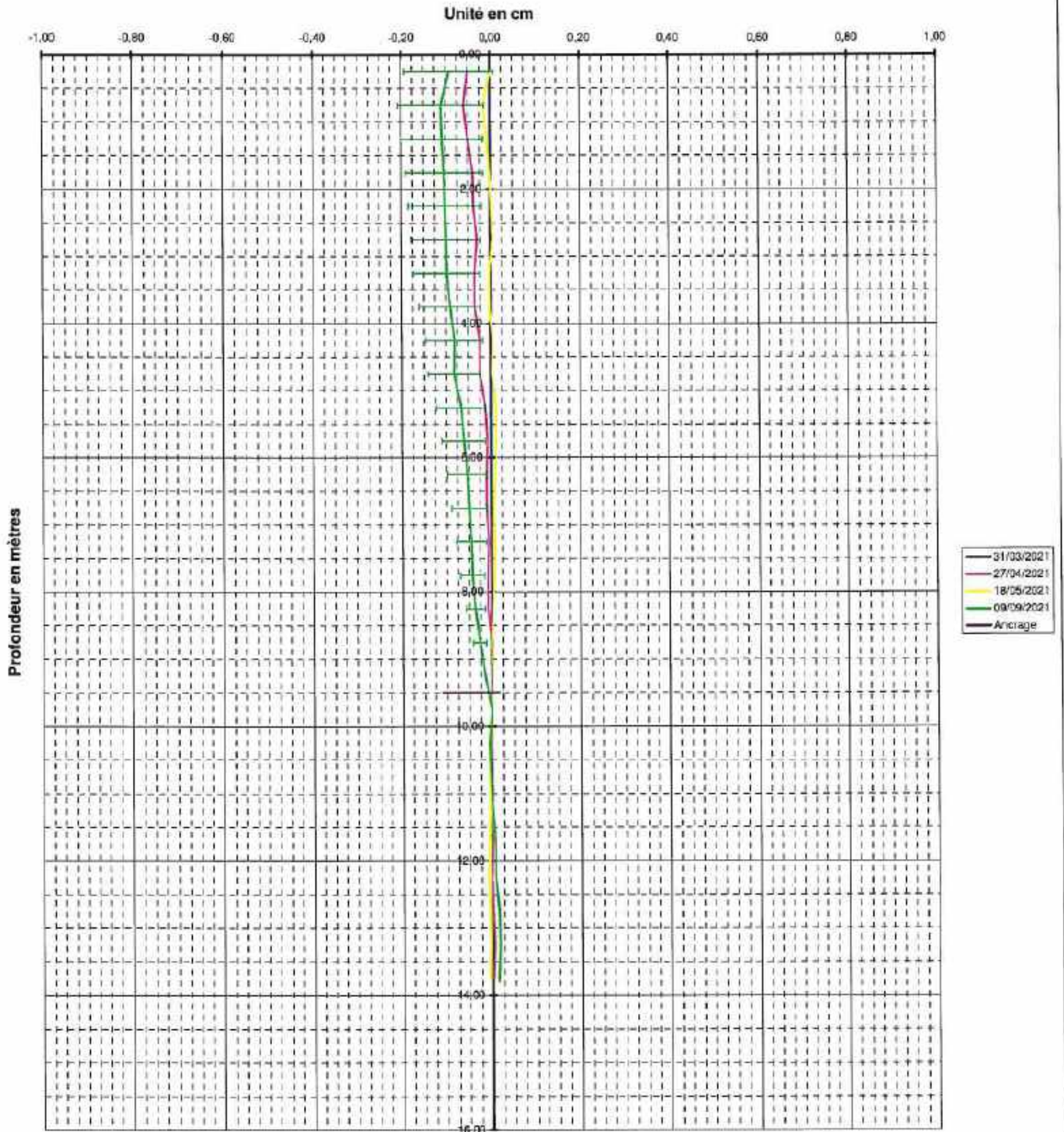
Mesure de référence

Date: 31/03/2021

Mesure ponctuelle

Date: 09/09/2021

DEPLACEMENTS CUMULES



Cumulés 2DA+A-

CARACTERISTIQUES DU TUBE					2DA+A-				i01	
NOM DU CHANTIER : RD912 Route corniche										
N° DOSSIER : 14.64.G630A										
NOM DU FORAGE : i01					COTE NGF DU FOND DU TUBE : 0					
DATE DU FORAGE : 15/02/2021					N° DE LA SONDE : 51397					
PROFONDEUR DU FORAGE : 15					DATE DE LA MESURE INITIALE : 31/03/2021					
Mesure de référence				Date :	Mesure ponctuelle				Date :	Intervalle de
				31/03/2021					09/09/2021	confiance
Profondeur ajustée	Variations angulaires corrigées				Déplacements corrigés				à 98 %	
	31/03/2021	27/04/2021	18/05/2021	09/09/2021	31/03/2021	27/04/2021	18/05/2021	09/09/2021		
0,25	0,00	20,00	33,89	36,11	0,00	-0,05	0,00	-0,09	0,10	
0,75	0,00	-20,00	-16,11	-3,89	0,00	-0,06	-0,01	-0,11	0,09	
1,25	0,00	-20,00	-11,11	-8,89	0,00	-0,05	-0,01	-0,11	0,09	
1,75	0,00	-5,00	-6,11	-3,89	0,00	-0,04	0,00	-0,10	0,09	
2,25	0,00	-15,00	-6,11	-3,89	0,00	-0,04	0,00	-0,10	0,08	
2,75	0,00	10,00	13,89	-3,89	0,00	-0,03	0,00	-0,10	0,08	
3,25	0,00	0,00	-1,11	-13,89	0,00	-0,04	0,00	-0,10	0,07	
3,75	0,00	-20,00	-11,11	-18,89	0,00	-0,04	0,00	-0,09	0,07	
4,25	0,00	0,00	3,89	1,11	0,00	-0,03	0,00	-0,08	0,06	
4,75	0,00	-25,00	-21,11	-28,89	0,00	-0,03	0,00	-0,08	0,06	
5,25	0,00	-10,00	-1,11	-13,89	0,00	-0,01	0,01	-0,07	0,05	
5,75	0,00	5,00	3,89	-13,89	0,00	-0,01	0,01	-0,06	0,05	
6,25	0,00	0,00	8,89	-8,89	0,00	-0,01	0,01	-0,05	0,04	
6,75	0,00	-10,00	-6,11	-8,89	0,00	-0,01	0,01	-0,05	0,04	
7,25	0,00	5,00	3,89	-3,89	0,00	0,00	0,01	-0,04	0,03	
7,75	0,00	0,00	8,89	-13,89	0,00	-0,01	0,01	-0,04	0,03	
8,25	0,00	-20,00	3,89	-18,89	0,00	-0,01	0,00	-0,04	0,02	
8,75	0,00	0,00	-1,11	-23,89	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,01	
9,25	0,00	5,00	3,89	-28,89	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	
9,75	0,00	0,00	3,89	11,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10,25	0,00	5,00	3,89	-3,89	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	
10,75	0,00	-5,00	-1,11	-8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11,25	0,00	-5,00	3,89	-13,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11,75	0,00	5,00	3,89	1,11	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,00	
12,25	0,00	-5,00	-6,11	-13,89	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,00	
12,75	0,00	-5,00	-1,11	-3,89	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
13,25	0,00	5,00	3,89	6,11	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	
13,75	0,00	5,00	-11,11	26,11	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,00	
	0,00				0,00					

Profondeur de l'ancrage

9,50

CARACTERISTIQUES DU TUBE**2DA+A-****102**

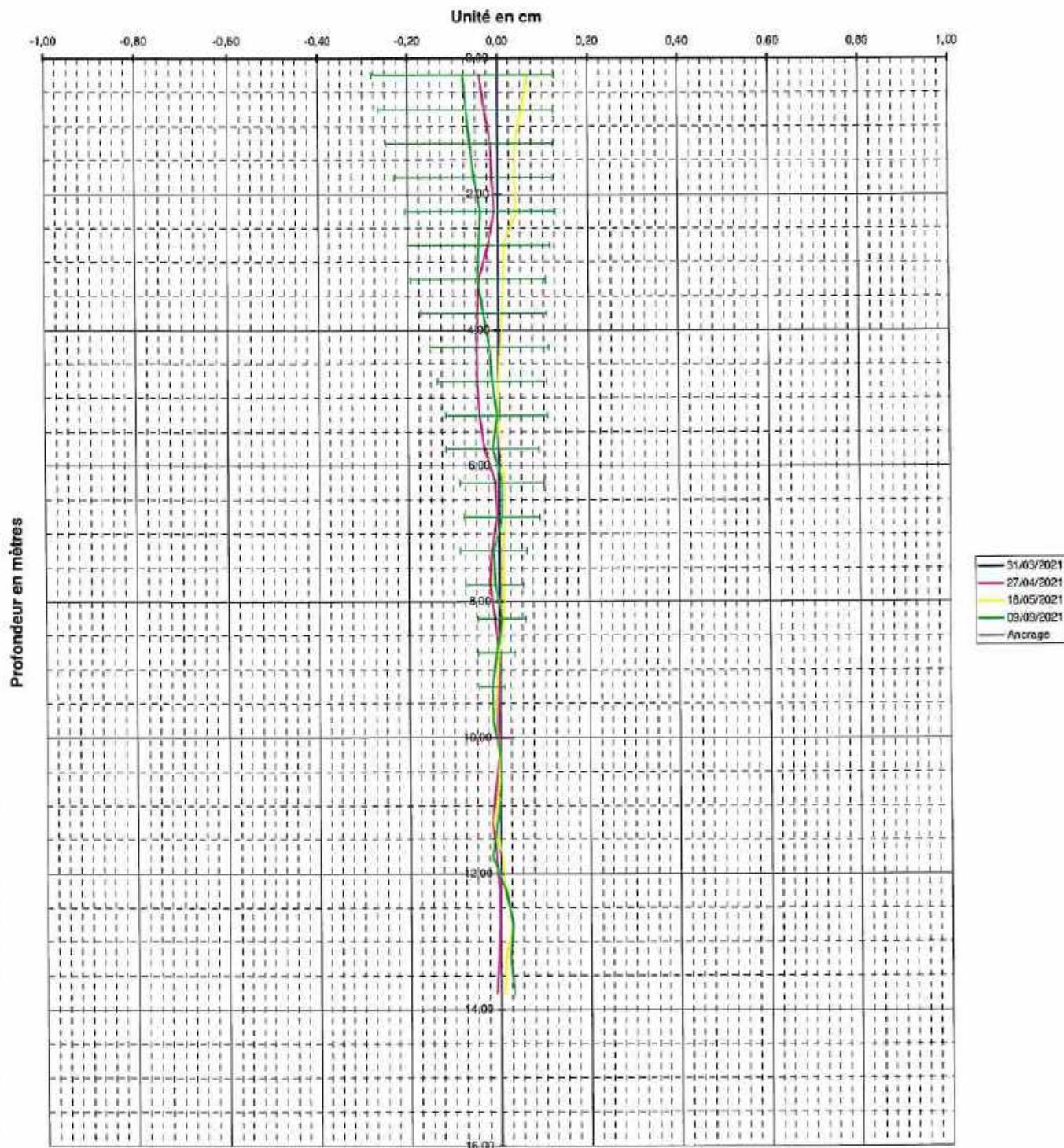
NOM DU CHANTIER :	RD912 Route corniche	COTE NGF DU FOND DU TUBE :	0,00 m
N° DOSSIER :	14.64.G630A	N° DE LA SONDE :	51397
NOM DU FORAGE :	102	DATE DE LA MESURE INITIALE :	
DATE DU FORAGE :	15/02/2021		
PROFONDEUR DU FORAGE :	14,50 m		

Mesure de référence

Date: 31/03/2021

Mesure ponctuelle

Date: 09/09/2021

DEPLACEMENTS CUMULES

Cumulés 2DA+A-

CARACTERISTIQUES DU TUBE					2DA+A-				i02		
NOM DU CHANTIER : RD912 Route corniche											
N° DOSSIER : 14.64.G630A											
NOM DU FORAGE : i02					COTE NGF DU FOND DU TUBE : 0						
DATE DU FORAGE : 15/02/2021					N° DE LA SONDE : 51397						
PROFONDEUR DU FORAGE : 14.5					DATE DE LA MESURE INITIALE : 31/03/2021						
Mesure de référence			Date : 31/03/2021		Mesure ponctuelle				Date : 09/09/2021		Intervalle de confiance à 98 %
Profondeur ajustée	Variations angulaires corrigées				Déplacements corrigés						
	31/03/2021	27/04/2021	18/05/2021	09/09/2021	31/03/2021	27/04/2021	18/05/2021	09/09/2021			
0,25	0,00	-21,25	26,88	-15,63	0,00	-0,04	0,07	-0,06		0,20	
0,75	0,00	-26,25	31,88	-15,63	0,00	-0,03	0,06	-0,07		0,19	
1,25	0,00	-6,25	1,88	-15,63	0,00	-0,02	0,04	-0,06		0,18	
1,75	0,00	-11,25	-8,13	-30,63	0,00	-0,01	0,04	-0,05		0,18	
2,25	0,00	28,75	56,88	9,38	0,00	-0,01	0,04	-0,04		0,17	
2,75	0,00	38,75	1,88	4,38	0,00	-0,02	0,01	-0,04		0,16	
3,25	0,00	8,75	6,88	-25,63	0,00	-0,04	0,01	-0,04		0,15	
3,75	0,00	3,75	11,88	-25,63	0,00	-0,05	0,01	-0,03		0,14	
4,25	0,00	-1,25	6,88	-10,63	0,00	-0,05	0,00	-0,02		0,13	
4,75	0,00	-11,25	1,88	-20,63	0,00	-0,05	0,00	-0,01		0,12	
5,25	0,00	-21,25	-8,13	19,38	0,00	-0,04	0,00	0,00		0,11	
5,75	0,00	-46,25	-23,13	-40,63	0,00	-0,03	0,00	-0,01		0,10	
6,25	0,00	-6,25	-3,13	-0,63	0,00	-0,01	0,01	0,01		0,09	
6,75	0,00	23,75	11,88	39,38	0,00	0,00	0,02	0,01		0,08	
7,25	0,00	8,75	-3,13	-5,63	0,00	-0,02	0,01	-0,01		0,07	
7,75	0,00	-21,25	1,88	-30,63	0,00	-0,02	0,01	-0,01		0,06	
8,25	0,00	-16,25	26,88	24,38	0,00	-0,01	0,01	0,01		0,05	
8,75	0,00	-1,25	6,88	19,38	0,00	0,00	0,00	-0,01		0,04	
9,25	0,00	8,75	11,88	-0,63	0,00	0,00	-0,01	-0,02		0,03	
9,75	0,00	-11,25	-23,13	-30,63	0,00	-0,01	-0,01	-0,02		0,03	
10,25	0,00	18,75	6,88	-5,63	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	
10,75	0,00	13,75	21,88	19,38	0,00	-0,01	0,00	0,00		0,00	
11,25	0,00	-16,25	-38,13	19,38	0,00	-0,02	-0,01	-0,01		0,00	
11,75	0,00	-11,25	-18,13	-55,63	0,00	-0,01	0,00	-0,02		0,00	
12,25	0,00	-1,25	-28,13	-30,63	0,00	0,00	0,01	0,01		0,00	
12,75	0,00	3,75	31,88	9,38	0,00	0,00	0,03	0,03		0,00	
13,25	0,00	8,75	1,88	-15,63	0,00	0,00	0,01	0,02		0,00	
13,75	0,00	-16,25	21,88	59,38	0,00	-0,01	0,01	0,03		0,00	
	0,00				0,00						

Profondeur de l'ancrage

10,00

CARACTERISTIQUES DU TUBE

2DA+A-

103

NOM DU CHANTIER :	RD912 Route corniche		
N° DOSSIER :	14.64.G630A		
NOM DU FORAGE :	103	COTE NGF DU FOND DU TUBE :	0,00 m
DATE DU FORAGE :	15/02/2021	N° DE LA SONDE :	51397
PROFONDEUR DU FORAGE :	15,00 m	DATE DE LA MESURE INITIALE :	

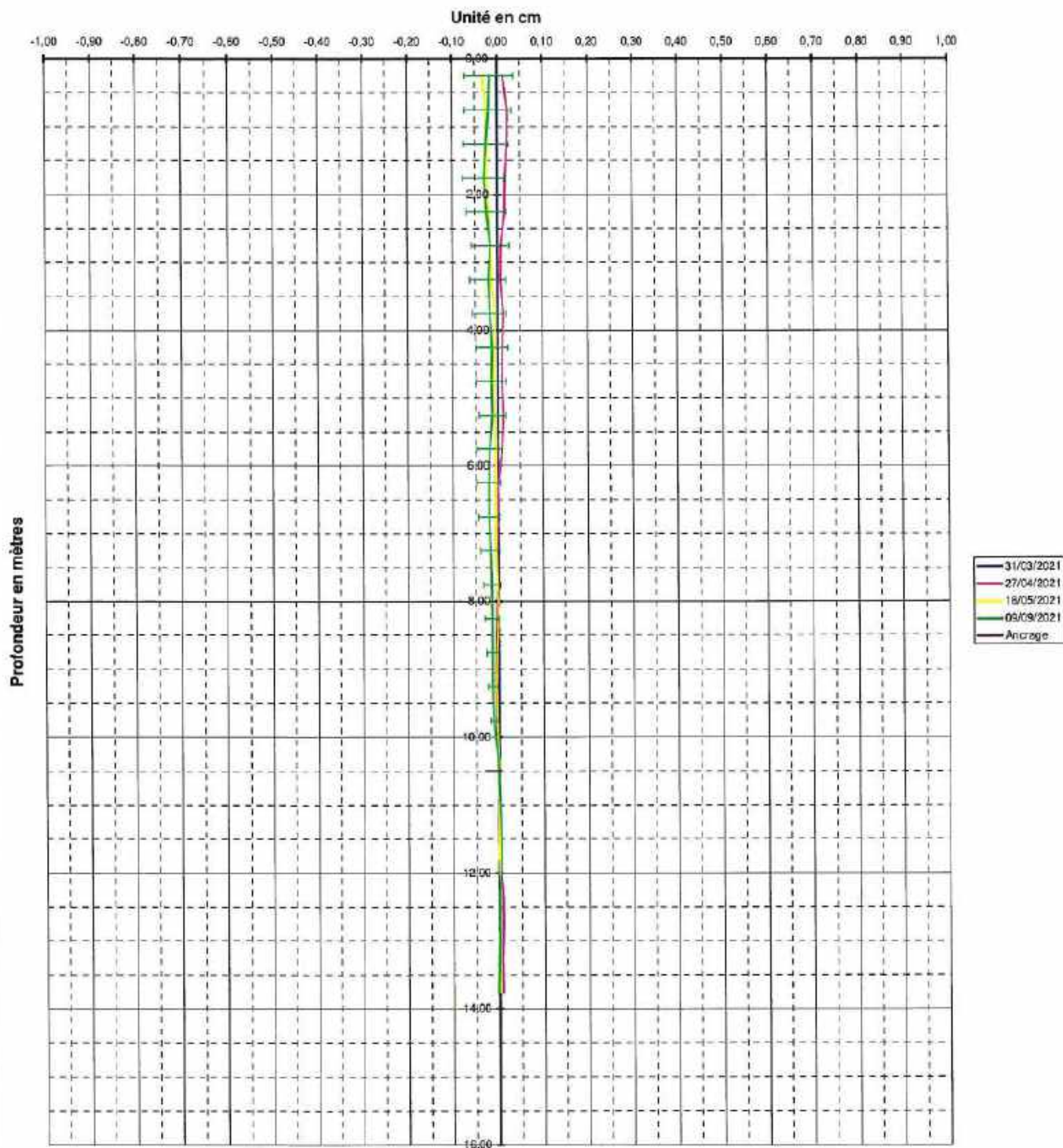
Mesure de référence

Date: 31/03/2021

Mesure ponctuelle

Date: 09/09/2021

DEPLACEMENTS CUMULES



Cumulés 2DA+A-

CARACTERISTIQUES DU TUBE					2DA+A-				i03		
NOM DU CHANTIER : RD912 Route corniche											
N° DOSSIER : 14.64.G630A											
NOM DU FORAGE : i03					COTE NGF DU FOND DU TUBE : 0						
DATE DU FORAGE : 15/02/2021					N° DE LA SONDE : 51397						
PROFONDEUR DU FORAGE : 15					DATE DE LA MESURE INITIALE : 31/03/2021						
Mesure de référence			Date : 31/03/2021		Mesure ponctuelle				Date : 09/09/2021		Intervalle de confiance à 98 %
Profondeur ajustée	Variations angulaires corrigées				Déplacements corrigés						
	31/03/2021	27/04/2021	18/05/2021	09/09/2021	31/03/2021	27/04/2021	18/05/2021	09/09/2021			
0,25	0,00	-22,14	-17,86	4,29	0,00	0,01	-0,03	-0,02		0,05	
0,75	0,00	2,86	-2,86	9,29	0,00	0,02	-0,02	-0,02		0,05	
1,25	0,00	7,86	2,14	9,29	0,00	0,02	-0,02	-0,02		0,05	
1,75	0,00	2,86	-7,86	-10,71	0,00	0,02	-0,02	-0,03		0,05	
2,25	0,00	17,86	-7,86	-15,71	0,00	0,02	-0,02	-0,02		0,04	
2,75	0,00	2,86	-7,86	9,29	0,00	0,01	-0,02	-0,02		0,04	
3,25	0,00	-12,14	-12,86	-5,71	0,00	0,01	-0,01	-0,02		0,04	
3,75	0,00	2,86	2,14	-10,71	0,00	0,01	-0,01	-0,02		0,04	
4,25	0,00	2,86	2,14	4,29	0,00	0,01	-0,01	-0,01		0,04	
4,75	0,00	-7,14	-2,86	-5,71	0,00	0,01	-0,01	-0,01		0,03	
5,25	0,00	7,86	-2,86	14,29	0,00	0,01	-0,01	-0,01		0,03	
5,75	0,00	17,86	2,14	4,29	0,00	0,01	0,00	-0,02		0,03	
6,25	0,00	2,86	-2,86	-0,71	0,00	0,00	-0,01	-0,02		0,03	
6,75	0,00	2,86	2,14	-5,71	0,00	0,00	0,00	-0,02		0,03	
7,25	0,00	-2,14	-7,86	-5,71	0,00	0,00	-0,01	-0,02		0,02	
7,75	0,00	2,86	-2,86	-0,71	0,00	0,00	0,00	-0,01		0,02	
8,25	0,00	2,86	7,14	-0,71	0,00	0,00	0,00	-0,01		0,02	
8,75	0,00	2,86	2,14	-0,71	0,00	0,00	0,00	-0,01		0,01	
9,25	0,00	-2,14	-2,86	-5,71	0,00	-0,01	0,00	-0,01		0,01	
9,75	0,00	-7,14	-2,86	-15,71	0,00	0,00	0,00	-0,01		0,01	
10,25	0,00	-2,14	-2,86	-5,71	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	
10,75	0,00	2,86	-2,86	-5,71	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	
11,25	0,00	-2,14	2,14	-5,71	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	
11,75	0,00	-17,14	-2,86	9,29	0,00	0,00	0,00	0,01		0,00	
12,25	0,00	-2,14	2,14	-0,71	0,00	0,01	0,00	0,00		0,00	
12,75	0,00	2,86	-2,86	4,29	0,00	0,01	0,00	0,00		0,00	
13,25	0,00	-2,14	2,14	4,29	0,00	0,01	0,00	0,00		0,00	
13,75	0,00	17,86	2,14	-5,71	0,00	0,01	0,00	0,00		0,00	
0,00					0,00						

Profondeur de l'ancrage

10,50

	Fond sonde	Fond réel	Lg sondage
1 Pz SD 7A	28,3	28,4	30
2 Pz SD 9A	31,19	31,29	30
3 Pz SD 9B	31,5	31,6	30
4 Pz SD 12	31,71	31,81	30
5 Pz SD 15B	21,15	21,25	20
6 Pz SD 19B	21,22	21,32	20

Lg Totale	165,67	160
-----------	--------	-----

	31/03/2021	27/04/2021	18/05/2021	09/09/2021	+ haut	+bas	Variation mini-maxi
	9,57	9,76	5,90	10,73	5,80	10,73	4,93
	16,22	17,61	18,03	18,05	16,22	18,05	1,83
	6,31	8,36	4,81	8,82	4,81	8,82	4,01
	13,19	13,53	9,93	12,85	9,93	13,53	3,60
	10,28	10,94	11,30	11,92	10,28	11,92	1,64
	15,13	15,12	15,11	15,12	15,11	15,13	0,02

Zones

7	9	12	15	19
Giratoire	Ht Pentle	Fin glissière Ext Glissière	Acc. avant courbe	Piots de chantier
Pz	Pz	Pz	Pz	Inclino
Inclino	Pz			Pz
Inclino				

RD 912 - Route de la Corniche
Suivi piézométrique

