MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE – DIRECTION INTERDEPARTEMENTALE DES ROUTES CENTRE-OUEST

D.I.R.C.O.

AUTOROUTE A20 – SECTEUR DES FALAISES DE PUYJARRIGE

SECTEUR 6 DU PR278+980 AU PR279+140 – COMMUNE DE BRIVE LA GAILLARDE (19)

ÉTUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION

G2PRO – DCE

SOCIETE ALPINE DE GEOTECHNIQUE
Agence Haute-Garonne
7 Rue de l'Industrie – Bâtiment B
31320 CASTANET TOLOSAN
05.61.54.05.70 / sage31@sage-ingenierie.com

n°RP	Ind.	Date	Commentaires	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
-S31-0986-j	A	02/04/2026	Établissement du rapport	R. HUYGHE	L.AUMARD	L. LORIER
-S31-0986-j	B	11/06/2026	Reprise suite à la réunion du 03/06/2026	R. HUYGHE	L.AUMARD	L. LORIER
-S31-0986-j	C	21/07/2026	Établissement du rapport version DCE	R. HUYGHE	L.AUMARD	L. LORIER

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 4
2. CONTEXTE GENERAL 6
2.1. DESCRIPTION DU SITE 6
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE 9
2.3. CONTEXTES HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE 9
2.4. RISQUES NATURELS 10
3. HISTORIQUE DU SITE 11
4. SYNTHESE DE LA G5/G2AVP 05/2015 12
5. SYNTHESE DE LA G5/G2AVP DE 2022 13
6. RESULTAT DE LA G5 SUR LA ZONE 6 DU 03/2024 14
6.1. OBSERVATION DE TERRAIN 14
6.2. MASSE SUD 15
6.3. MASSE CENTRALE 15
6.4. MASSE NORD 15
6.5. TRAVAUX PROPOSES - [REALISES/NON REALISE] A L'ISSUE DU DIAGNOSTIC (TRAVAUX D'URGENCE) 15
7. RESULTAT DE LA G5 SUR LA ZONE 6 DU 07/2025 16
7.1. OBSERVATION DE L'EBOULEMENT 16
7.2. CONCLUSION ET TRAVAUX A PREVOIR 16
8. OBSERVATIONS DE TERRAIN DU 10/2025 18
8.1. SECTEUR 6.1 - PR278+970 AU PR279+010 (40 ML) 18
8.2. SECTEUR 6.2 - PR279+010 AU PR279+100 (90 ML) 19
8.3. SECTEUR 6.3 - PR279+100 AU PR279+163 (63 ML) 21
8.4. SECTEUR 6.4 – PR279+163 AU PR279+215 (52 ML) 22
8.5. SECTEUR 6.5 – PR279+215 AU PR279+240 (25 ML) 23
8.6. AMONT DE LA PAROI ROCHEUSE 23
9. OBSERVATIONS DE TERRAIN DU 07/04/2026 25
9.1. OBSERVATION DE L'EBOULEMENT 25
9.1. CONCLUSION ET TRAVAUX A PREVOIR 27
10. INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES 28
10.1. SONDAGES DESTRUCTIFS GEOTEC 28
10.1.1. Résultats des sondages (GEOTEC) 28
10.1.2. Bilan des investigations GEOTEC 30
10.2. PANNEAUX ELECTRIQUES AVEC POLARISATION PROVOQUEE 31
10.2.1. Campagne de mesure 31
10.2.2. Résultats 32
10.2.3. interprétation 33
11. DIAGNOSTIC DES ALEAS DE DEPART 34
11.1. METHODOLOGIE D'ANALYSE DES RISQUES 34
11.2. INDICE DE MOUVEMENT 34
11.3. MORPHOLOGIE ET MECANISME D'INSTABILITES 34
11.4. RECENSEMENT DES INSTABILITES 34
12. HYPOTHESE ET CONCEPTION DES TRAVAUX DE SECURISATION 40
12.1. CRITERE DE CONCEPTION ET PRESENTATION DE LA SOLUTION RETENUE 40
12.2. HYPOTHESES GENERALES DE DIMENSIONNEMENT 41
12.3. GENERALITE SUR LES CONSTITUANTS ET SUR LES OUVRAGES 42
12.3.1. Terrassements / déblais rocheux 42
12.3.2. Ancrages 43
12.3.3. Caractéristiques coulis / acier / béton 44
12.3.4. Purges 44
12.4. DETAIL DES OUVRAGES 44
12.4.1. Dimension des terrassements 44
12.4.2. Nettoyage du banc en tête 45
12.4.3. Dimension du béton projeté anti-érosion pour le banc marneux dans les talus >3H/2V 46
12.4.4. Grillage pendu sur avaloir 46
12.5. ESSAIS SUR BOULON ET SUR COULIS/BETON 47

12.5.1. Essais de traction sur ancrages 47
12.5.2. Essais de contrôle sur coulis 47
12.5.3. Essais de contrôle sur béton (anti-érosion) 48
12.6. ENTRETIEN 48
13. GESTION DE L'EAU SOLUTION 49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des zones sur fond de plan IGN 6
Figure 2 : Vue aérienne du site 7
Figure 3 : Panorama du secteur 6 8
Figure 4 : Extrait de la carte géologique du BRGM - Feuille de BRIVE LA GAILLARDE 9
Figure 5 : Extrait des annexe 3 et 4 du rapport de 2015 12
Figure 6 : exemple d'atterrissement de matériaux de quelques litres 13
Figure 7 : Localisation des masses 14
Figure 8 : Schéma type du merlon provisoire 17
Figure 9 : sectorisation de la paroi 18
Figure 10 : observations de terrain du 10/25 19
Figure 11 : observations de terrain du 10/25 21
Figure 12 : observations de terrain du 10/25 22
Figure 13 : observations de terrain du 10/2025 23
Figure 14 : observations de terrain du 10/2025 23
Figure 15 : observations de terrain du 10/2025 24
Figure 16 : observations de terrain du 04/2026 27
Figure 17 : Implantation des sondages GEOTEC 28
Figure 18 : Sondage GEOTEC simplifiés sur le nuage de points de la paroi du secteur 6 30
Figure 19 : tableau des vitesses théoriques des ondes de volumes et modules mécaniques en fonction de différentes lithologie et fluides 31
Figure 20 : Résultats de la PP 32
Figure 21 : Instabilités sur les secteurs 1 à 5 de la zone 6 37
Figure 21 : profil type de la solution retenue 41
Figure 23 : Diagramme de CATERPILLAR 43
Figure 24 : Exutoires du drainage sur le secteur 6 49

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Plan d'implantation des sondages
Annexe 2 : Résultats de la polarisation provoquée et ses annexes 1, 2, 3, 4, 5 et 6
Annexe 3 : Localisation des instabilités
Annexe 4 : Planches de la solution de terrassement
Annexe 5 : Planches de l'anti-érosion
Annexe 6 : Planches travaux du déflecteur
Annexe 7 : Planches travaux de gestion des eaux
Annexe 8 : Classification des missions géotechniques selon la NF P 94-500
Annexe 9 : Conditions générales de vente et d'utilisation de la SAGE

1. INTRODUCTION

Client/demandeur :

Ministère de la transition écologique et solidaire
Direction Interdépartementale des Routes Centre-ouest
22, rue des Pénitents Blancs
87032 LIMOGES

Objet :

La **société SAGE** a été missionnée par la **DIRCO** pour réaliser une étude de conception phase projet sur une portion de falaise rocheuse en bordure de l'autoroute A20 entre le PR 278+980 et le PR 279+140 (zone 6 secteur de Puyjarrige d'après le rapport G5/G2 AVP de 2015), sur la commune de Brive la Gaillarde (19).

Une première version du rapport G2PRO avait été établie et proposait plusieurs solutions de travaux en restant ou non dans les emprises foncières appartenant à la DIRCO. La présente version du rapport ne conserve que la solution définitivement retenue par le MOA et pour laquelle il souhaite engager des travaux.

Cette étude a pour objectifs :

- de réaliser une synthèse des études et évènements précédents ;
- de présenter les contextes géotechnique et hydrogéologique du site sur la base des données existantes ;
- de proposer la solution de travaux retenue pour la sécurisation des instabilités ;
- de fournir les hypothèses à prendre en compte pour le dimensionnement des ouvrages ;
- de définir les préconisations techniques de réalisation des travaux.

Il s'agit d'une mission de type **G2 PRO** selon la classification de l'Union Syndicale Géotechnique (Annexe 8 : Classification des missions géotechniques selon la NF P 94-500).

Lexique - abréviations

TA = cote du terrain actuel TN = cote du terrain naturel

TF = cote du terrain fini après aménagement

ELS = état limite de service (terme Eurocodes) ELU = état limite ultime (terme Eurocodes)

Documents consultés :

- Banques de données générales
  - Carte IGN du secteur étudié au 1 / 25 000ème,
  - Carte géologique du BRGM *(feuille BRIVE-LA-GAILLARDE n°785N)* au 1 / 50 000ème.
  - Base de données géoscientifiques web du BRGM : site http://infoterre.brgm.fr
  - Base de données des risques sur le territoire : http://www.georisques.gouv.fr/

- Documents relatifs au projet :

Docs	Désignation	Origine	Référence	Date
[1]	Étude géotechnique phase G5/G2AVP	SAGE	S31-9086	IndA – 05/2015
[2]	MAJ Etude géotechnique phase G5/G2AVP	SAGE	S31-9086-f	IndA – 19/10/2022
[3]	Diagnostic suite à un éboulement	SAGE	S31-14135-c	indA – 03/07/2025
[4]	Relevé LiDAR	BRISSET VEYRIER MESURES	DIRCO-FALAISE-JARRIGES-SECTEUR6	28/11/2025

- Référentiels normatifs et guides

Désignation	Référence
Ouvrages de Soutènement de juillet 2009	EUROCODE 7 - NF P 94-270
Recommandations CLOUTERRE	1991 & additif 2002
Ancrages passifs en montagne : conception, réalisation, contrôle – mai 2004	Guide technique - Ministère EDD, centre expérimental de recherche du BTP, Cemagref
Dimensionnement et exécution des boulons	Projet de guide de protection contre les instabilités rocheuses - CEREMA, juin 2017.

Conditions d'utilisation du rapport et annexes associées

Cette étude est la propriété du client : D.I.R.C.O.. Elle ne peut être ni reproduite ni diffusée en dehors du consentement de ce dernier. Le rapport et ses annexes sont indissociables.

Nos conditions d'utilisation du rapport sont rappelées en annexe. En particulier :

- Ce document doit être transmis à l'ensemble des intervenants du projet. Toute modification apportée au projet ou à son environnement (aménagements de proximité, terrassements…) après l'étude nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission pour étudier leur impact.
- L'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou anthropiques, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension.
- Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution et non détectés lors de la mission d'origine (failles, remblais anciens, karsts, venues d'eau, hétérogénéités localisées…), ainsi que tout incident survenu au cours des travaux (éboulements, glissement…), pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport géotechnique G2 ou G3, doivent immédiatement être signalés aux bureaux d'études géotechniques en charge du suivi géotechnique des travaux (missions G3 et G4) afin qu'ils en analysent les conséquences sur les conditions d'exécution et la conception de l'ouvrage.

2. CONTEXTE GENERAL

2.1. Description du site

La portion de l'autoroute A20 étudiée a été réalisée au début des années 1990.

Au niveau du linéaire concerné par cette étude, l'autoroute traverse une zone vallonnée. Elle a donc nécessité la réalisation de déblais au niveau de chaque relief rencontré à l'origine des falaises faisant l'objet de la présente étude. Ces falaises d'une hauteur de 10 à 20 m présentent d'une manière générale un fruit de 20 à 25° et ont parfois été réalisées en redans lorsque l'emprise foncière le permettait. Les terrassements ont été effectués à l'explosif, comme en témoigne les forages de pré-découpage encore visibles au niveau de certaines parois rocheuses (les moins érodées).

L'étude initiale [1] s'étend du PR277+500 au PR280+225 et couvre 7 secteurs de falaises distincts située de part et d'autre de l'autoroute (sens 1 = du nord vers le sud, sens 2 = du sud vers le nord). Dans ce rapport, nous nous intéresserons uniquement au secteur 6 (PR278+970 à 279+240) correspondant à une falaise de 270 ml du côté sens 1.

La falaise est de grande hauteur, constituée de grés avec des niveaux plus argileux en partie basse. Ces niveaux sont plus sujets à l'érosion et créent des sous-cavage des grés plus massif en amont.

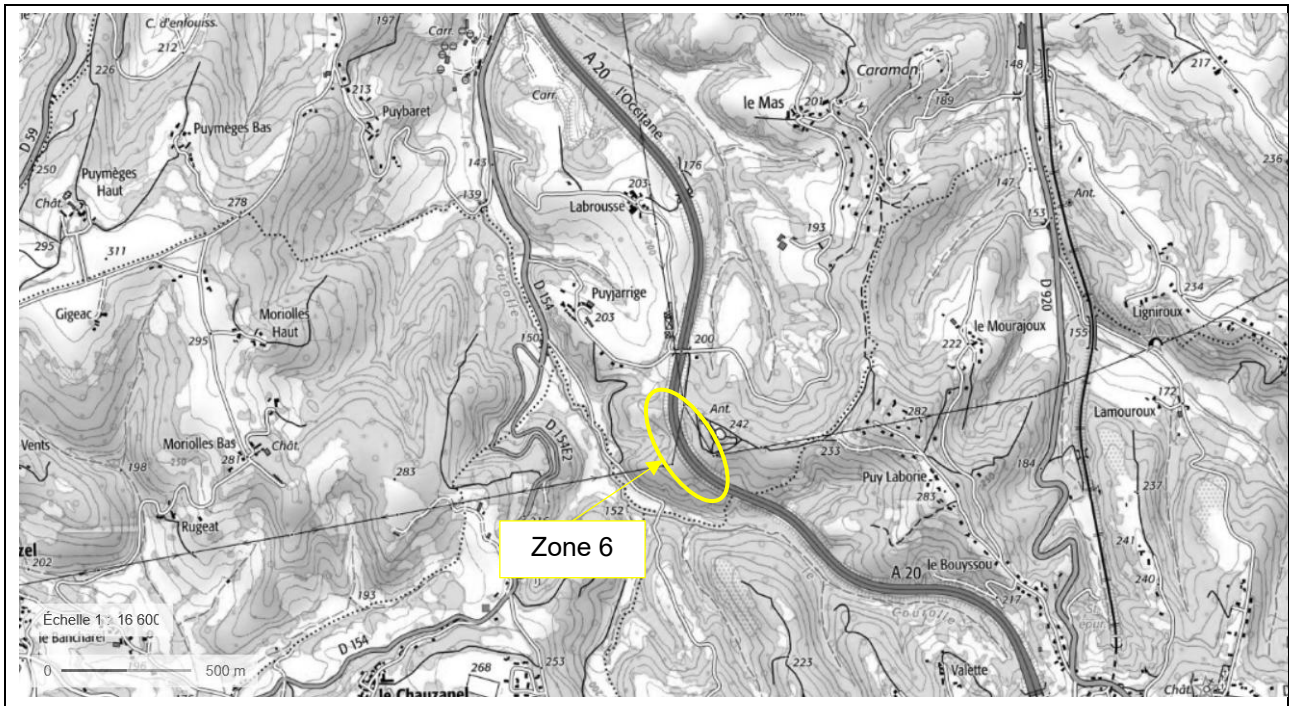


Figure 1 : Localisation des zones sur fond de plan IGN

Source : www.geoportail.gouv.fr



Figure 2 : Vue aérienne du site





Figure 3 : Panorama du secteur 6

2.2. Contexte géologique

D'après la carte géologique du BRGM, la zone d'étude est située au droit de terrains sédimentaires de l'Hettangien (noté l1 sur la carte) constitués de grés grossier. Cette formation est sus-jacente à une formation du trias (notée t sur la carte) constituée de grés blancs et bariolés.

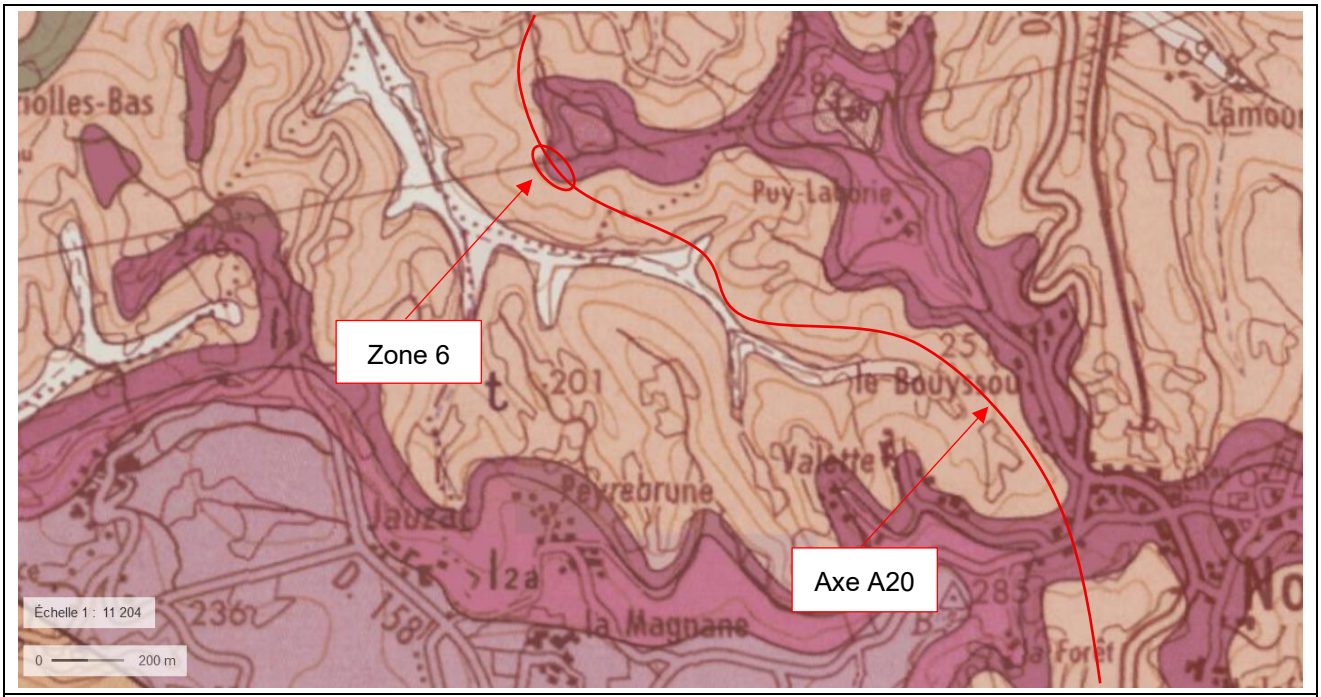


Figure 4 : Extrait de la carte géologique du BRGM - Feuille de BRIVE LA GAILLARDE

Source : http://infoterre.brgm.fr/

D'après le diagnostic de 2015, la formation de grés a été classée en plusieurs types ;

- Le grés de type 1, à la patine rougeâtre, faiblement argileux et sensible à l'érosion ;
- Le grés de type 2 à la patine beige clair, moins cimenté (friable) et sensible à l'érosion ;
- Le grés de type 3 à la patine grise, plus cimenté, sur lequel on constate encore la présence des forages de pré-découpage réalisés lors de la création de l'autoroute.

2.3. Contextes hydrologique et hydrogéologique

- Aucune résurgence n'a été mise en évidence sur la zone ;
- Le "bassin versant" de la falaise se limite à l'emprise de la piste qui passe en amont du secteur 6 ;
- La morphologie générale des terrains en amont favorise l'écoulement des eaux de ruissellement dans la direction opposée à la falaise.

2.4. Risques naturels

Une recherche bibliographique sur les bases de données publiques permet de retenir les informations suivantes sur la zone d'étude :

Type de risque	Réf doc / organisme	Informations concernant le site
Affaissement/effondrement de cavités	Banque de données nationale (BRGM)	Il existe une grotte naturelle à une centaine de mètre du site, du même côté de l'A20 mais aucune rencontrée au droit des affleurements de la zone 6
Tassements de terrain provoqués par les alternances de sécheresse et de réhydratation des sols	Cartographie du BRGM : exposition aux retrait-gonflements des sols argileux	Aléa moyen
Glissements de terrain	Géorisques.gouv.fr	Néant
Chutes de pierres et éboulements	Géorisques.gouv.fr	Des éboulements recensés le long de la tranchée pour l'A20
Sismique	Géorisques.gouv.fr	Zone 1 (très faible)
Potentiel radon	Carte de l'IRSN du potentiel radon des formations géologiques	Potentiel de catégorie 1

La commune ne dispose pas de PPRN.

3. HISTORIQUE DU SITE

Ce chapitre rappelle le bilan historique fait en 2015 et le complète avec les évènements et travaux réalisés :

Zone	Date	Évènements
6	03/2011	Chute de blocs
	06/2011	Chute d'arbres et de gravats sur chaussée + intervention entreprise
	05/2012	Abattage d'arbres en tête de falaise
	02/2014	Chute d'arbres et de gravats sur chaussée + intervention entreprise
	15/2014	Abattage d'arbres en tête de falaise
	10/2022 à 03/2023	Éboulement 1.0 à 1.5m^3
	2023/2024	Purge des produits de l'éboulement de 2022/2023
	2024	Observation d'instabilités imminentes, diagnostic SAGE puis écrêtage de la paroi en suivant
	06/2025	Éboulements 7 à 8 m^3
	2025	Mise en place d'un merlon de Big-Bags conformément au diagnostic SAGE de 2024

4. SYNTHESE DE LA G5/G2AVP 05/2015

Morphologie/géologie :

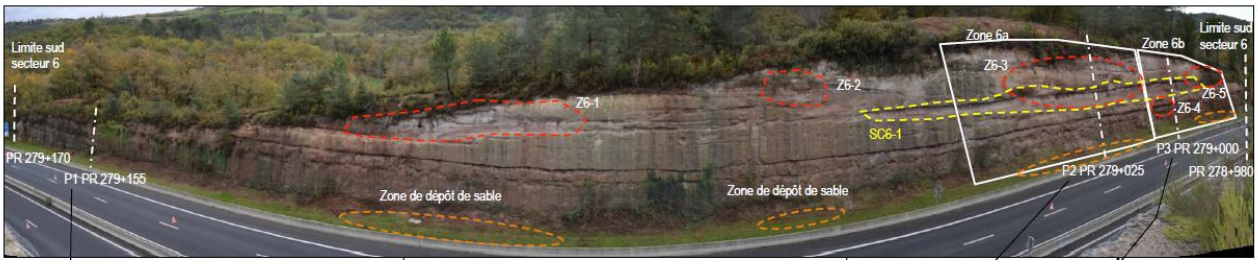
- La largeur entre le pied de falaise et la BAU varie de 5.5 à 6 m.
- La hauteur maximale de la falaise est de l'ordre 15 m pour un fruit de l'ordre de 15° ;
- Il y a une large zone de replat, voire légèrement inclinée dans la direction opposée à la falaise en amont de cette dernière ;
- La falaise est constituée de grès de type 1 à 3 et est recoupée par des bancs argileux à gréso-argileux sur l'ensemble du linéaire engendrant des sous-cavages important qui atteignent 1.0 m de profondeur.

Hydrogéologie/drainage :

- Aucune résurgence n'a été mise en évidence sur la zone.
- La morphologie des terrains en amont favorise l'écoulement des eaux de ruissellement dans la direction opposée à la falaise ;
- Aucun dispositif de drainage n'est présent amont ou en aval de la falaise.

Instabilités recensées :

- Elles sont situées en majorité sur la partie haute de la falaise affectée par un sous-cavage et par des phénomènes d'érosion importants liés à la présence de végétation et en particulier de grands arbres (pins). Il s'agit principalement d'écailles recensées présentant globalement des aléas de départ MOYEN à ELEVE.
- Sur cette zone, l'absence de protection grillagée permet de qualifier l'aléa de propagation comme étant ELEVE à TRES ELEVE pour les instabilités situées au niveau de la moitié supérieure de la falaise, excepté pour les phénomènes d'érosion progressive engendrant la libération de petits éléments s'accumulant en pied de falaise. En revanche, la présence de GBA permet de qualifier l'aléa de propagation comme étant FAIBLE pour les instabilités situées au niveau de la moitié inférieur de la falaise.
- **L'aléa résultant global sur le secteur est ELEVE.**



Zone 6	Z6-1	/	Zone montrant des traces d'érosion continue avec accumulation de sable en pied de falaise et une végétation importante et crête	Elevé		Faible		Faible	Elevé
	Z6-2	/	Zone montrant des traces d'érosion continue avec accumulation de sable en pied de falaise et une végétation importante et crête	Elevé		Faible		Faible	
	Z6-3	/	Zone montrant des traces d'érosion continue avec accumulation de sable en pied de falaise et une végétation importante et crête. Développement de fissures désolidarisant des écailles instables (cf. Z6-3a et Z6-3b) sous-cavées	Moyen	Elevé	Moyen	Elevé	Elevé	
	Z6-3a	3 à 5	Ecaille sous-cavée avec fissures inférieure et latérale droite marquées mais peu ouverte. Extension latérale gauche inconnue mais possible de l'ordre de 5 m. H=2,0 m L=5 m-e=0,5 m max	Moyen	Elevé	Elevé	Très élevé	Elevé	
	Z6-3b	1	Ecaille sous-cavée avec fissure périphérique marquée et décollement de 5 cm du côté gauche. H=1,0 m-L=3,0 m-e=0,5 m max	Elevé		Elevé	Très élevé	Elevé	
	Z6-4	3 à 4	Ecaille au niveau d'un banc gréseux inférieur sous-cavé par la présence d'un banc argilo-gréseux peu épais. Fissure latérale droite marquée. Extension latérale estimée à 3,5 m. H=3,0 m-L=3,5 m-e=0,5 m max .	Elevé		Faible		Faible	
	Z6-2	/	Zone montrant des traces d'érosion récentes avec accumulation de sable en pied de falaise et une végétation importante en crête	Elevé		Faible		Faible	
	SC6.1	/	Sous cavage engendré par la présence d'un banc argileux à gréso-argileux sensible à l'érosion	Moyen	Elevé	Elevé	Très élevé	Elevé	

Figure 5 : Extrait des annexe 3 et 4 du rapport de 2015

Source : rapport G5 du S31-9086 de 2015

5. SYNTHESE DE LA G5/G2AVP DE 2022

Quelques chutes de pierres de faible volume (<10 litres) plutôt récent car recouvrant la végétation présente au niveau de l'accotement (lors des observations de 2022).

Ces phénomènes sont liés à l'évolution superficielle du talus, ils ne présentent pas de danger pour l'autoroute de par leur volume limité, la présence d'un large accotement et d'une GBA.



Figure 6 : exemple d'atterrissement de matériaux de quelques litres

Source : SAGE

6. RESULTAT DE LA G5 SUR LA ZONE 6 DU 03/2024

A la suite d'un éboulement fin 2022/début 2023 et de nouvelles observations d'instabilités en crête de la paroi du secteur 6, la DIRCO a missionné la société SAGE pour réaliser un diagnostic géotechnique sur la portion de falaise rocheuse entre le PR278+980 et le PR279+140 (secteur 6 du rapport G5/G2AVP de 2015).

Les inspections se sont déroulées les 15 et 16 janvier 2024 à pied et sur cordes.

6.1. Observation de terrain

Les observations ont permis de mettre en évidence 3 ensembles présentant un aléa de départ ELEVE à TRES ELEVE en crête de falaise. Ces instabilités sont issues d'un banc fortement sous-cavé par l'érosion du banc sous-jacent moins compétant. De plus, le banc supérieur a été fortement altéré et déstabilisé par le système racinaire de la végétation qui avait colonisé la partie sommitale du talus. Lors des reconnaissances tous les arbres avaient été coupés mais on observe encore la présence de racines dans les fractures.



Figure 7 : Localisation des masses

Source : SAGE

6.2. Masse sud

Il s'agit d'une partie du banc supérieur, particulièrement fracturée et altérée. Cette écaille est bien visible depuis le bas du talus, en regardant direction Toulouse.

On constate la présence de souches d'arbres récemment abattus à proximité de la zone très altérée. Le plan arrière est fortement ouvert, on y observe des circulations d'eau et la présence d'une grosse racine.

Elle présente une largeur de 0.7 m pour une hauteur de 1 m et une profondeur de 0.3 m.

L'aléa de départ est jugé TRES ELEVE.

6.3. Masse centrale

Il s'agit d'un compartiment détaché du banc supérieur de la falaise, situé à 17 m par rapport à l'autoroute. Cet ensemble comprend un bloc central d'une hauteur de 0.8 m et d'une profondeur de 1 m. A l'arrière, sur un linéaire de 3.5 m, on observe une fissure très marquée, sondée jusqu'à 0.5 m de profondeur et ouverte de plus de 0.1 m. Un pont rocheux est encore présent à la base de surplomb côté Brive (ce qui explique que le bloc est encore en place) mais celui-ci est très altéré et érodable. Ce compartiment présente un aléa de départ TRES ELEVE A IMMINENT.

Ce bloc central se prolonge à la fois côté Brive sur 8 m linéaire et côté Toulouse sur 5 m linéaire. La fracture à l'arrière est ici moins prononcée mais on la distingue sur la couche végétale. L'aléa sur ces deux prolongements peut être estimé ELEVE à TRES ELEVE.

6.4. Masse nord

Il s'agit d'un ensemble d'écailles formant des becs très fracturées, avec des écailles plus argileuses.

Le volume global de l'ensemble avoisine 1 m^3 et présente un aléa de départ TRES ELEVE.

6.5. Travaux proposés - [réalisés/non réalisé] à l'issue du diagnostic (travaux d'urgence)

À l'issue du diagnostic de mars 2024, les travaux suivants ont été réalisés :

- Curage et aplanissement du pied de la falaise afin d'éviter l'effet tremplin vers l'autoroute et préparer l'assise du merlon [Réalisé] ;
- Mise en place d'un merlon en big-bags remplis de sable sur 2 m de haut et 25-30 m de long au plus proche de la glissière [non réalisé] ;
- Purge mécanique des trois ensembles de masses décrits ci-dessus [réalisé].

7. RESULTAT DE LA G5 SUR LA ZONE 6 DU 07/2025

A la suite d'un éboulement survenu dans la nuit du 23 au 24 juin 2025 aux environs de 5 h et dont des projections ont atteint la chaussée, la DIRCO a missionné la société SAGE pour réaliser un diagnostic géotechnique sur la portion de falaise rocheuse du secteur 6.

Les inspections se sont déroulées le 27 juin 2025 à pied sur le versant d'en face et en pied de paroi.

7.1. Observation de l'éboulement

Les observations ont permis de constater que l'éboulement s'est produit par rupture d'un surplomb à l'extrémité nord du sous-cavage SC6-1. Le volume de départ est estimé à 7-8 m^3 avec une cicatrice d'arrachement de 2.5 m de haut, 6.0 m de large et 0.5 m d'épaisseur.

Lors de l'effondrement, la masse s'est disloquée en éléments d'un volume maximal unitaire de 100 à 150 L. L'immense majorité des blocs s'est stockée à l'arrière de la GBA. D'après les informations recueillies, des éclats de grés se sont propagés jusque sur la voie rapide du sens descendant, sans créer de désordre ni d'incident pour l'exploitation.

La cicatrice d'arrachement fait apparaitre la présence d'un rideau de racine s'étalant sur un plan parallèle au front de la falaise et témoignant de la préexistence d'une fracture dans le banc gréseux.

L'hypothèse la plus probable est que cette fracture soit d'origine mécanique et se soit formée par fatigue du grés induite par l'accentuation progressive du sous-cavage présent à la base de l'écaille.

A noter que des terrassements à la fraise hydraulique ont été réalisés sur la crête de la paroi et ont permis de reculer la crête en créant des talus en tête de la paroi sur environ 2 m de haut. Ces terrassements ont permis de supprimer les instabilités **Z6-1**, **Z6-2** et **Z6-5**.

7.2. Conclusion et travaux à prévoir

Les principales instabilités sont en lien avec le sous-cavage SC6-1 présent sur une grande partie de la falaise et qui à force de régression génère des ruptures de surplomb qui peuvent avoir lieu sur tout le linéaire.

Les préconisations de travaux à court terme sont les suivantes :

- Curage de la fosse en pied de falaise ;
- Mise en place d'un merlon provisoire constitué de big-bags remplis de sable sur une hauteur de 2 m permettant ainsi d'arrêter les potentiels éclats de blocs. Pour couvrir l'ensemble de la zone du sous-cavage SC6-1, il sera nécessaire d'étendre ce merlon sur un linéaire d'environ 70-75 m. Afin de maximiser les volumes de stockage, on veillera à conserver une bande en pied de falaise la plus large possible (4-5 m) entre le parement amont du merlon et le pied de falaise.

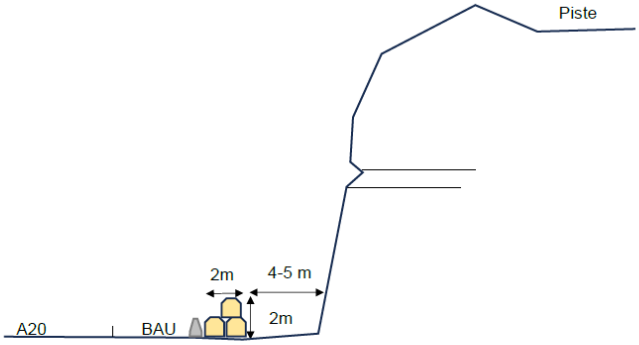


Figure 9 : Schéma type du merlon provisoire

Figure 8 : Schéma type du merlon provisoire

Source : SAGE

8. OBSERVATIONS DE TERRAIN DU 10/2025

Dans le cadre de la présente étude, de nouvelles observations de terrains ont été réalisée en octobre 2025. Pour faciliter la compréhension nous avons réutilisé la même nomenclature des sous cavages et instabilités observés. Nous avons réalisé un zonage en fonction de la géomorphologie de la paroi.

A noter que les observations ont été réalisées sur l'ensemble de la paroi rocheuse du secteur 6 soit 270 ml.

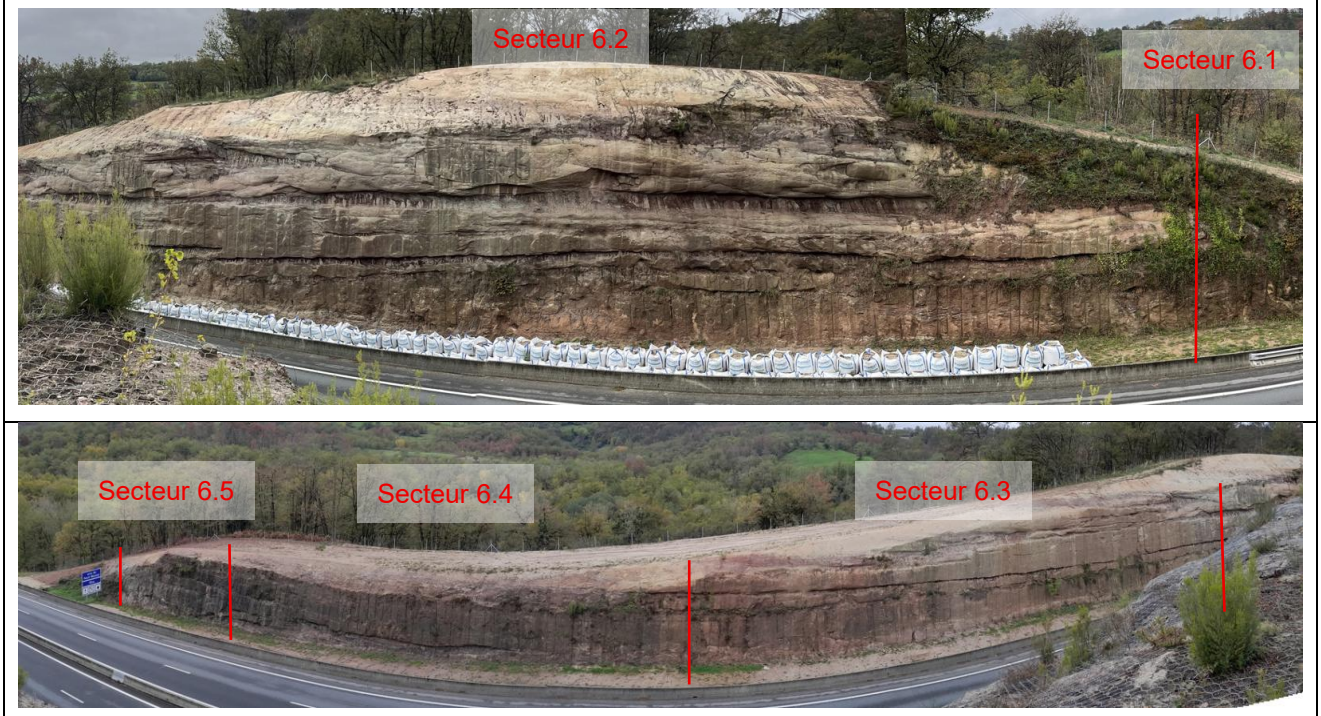


Figure 9 : sectorisation de la paroi

Source : SAGE

8.1. Secteur 6.1 - PR278+970 au PR279+010 (40 ml)

Le secteur 6.1 est constitué d'une paroi rocheuse compacte et recouverte de végétation de 0 à 7.5 m de haut, croissante en direction du sud. La pente du talus est de 50 à 60° en début et se verticalise au fil du secteur. Au PR278+990, une ancienne niche d'arrachement est observable de 1.5 (h) x 3.0 (l) x 2.0 m (ep) soit 9 m^3. Au PR279+005 un rognon de grés est observable en tête de paroi de 2.0 x 3.5 x 0.5 m soit 3.5 m^3. A ce niveau, un début de sous-cavage est observable en tête de paroi de 0.5 m de haut et fortement végétalisé. Un replat de 3.0 m de large se situe en pied de paroi jusqu'à la glissière de sécurité.





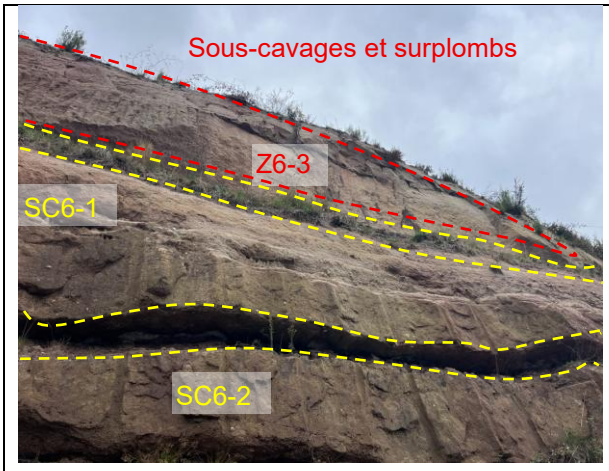


Figure 10 : observations de terrain du 10/25

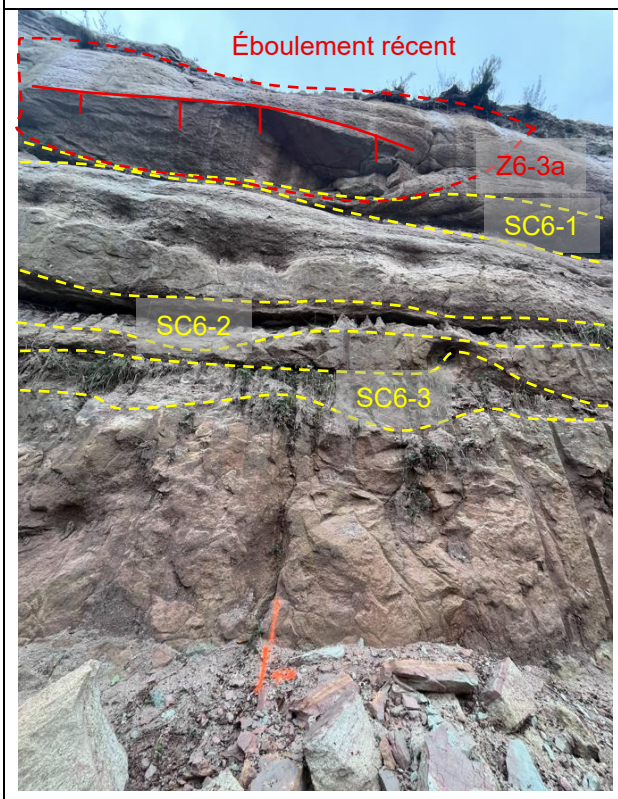
Source : SAGE

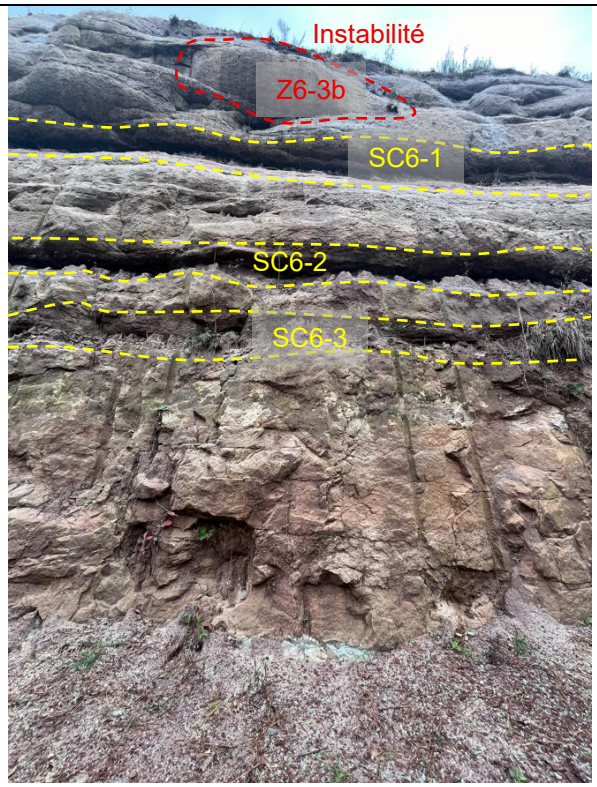
8.2. Secteur 6.2 - PR279+010 au PR279+100 (90 ml)

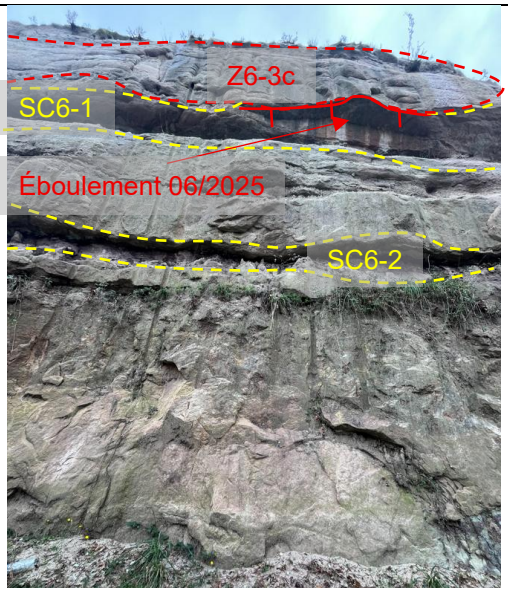
Le secteur 6.2 est constitué d'une paroi rocheuse assez compacte dont la hauteur est croissante et passe de 7.5 m de haut (PR279+010) à 15 m (PR279+060). Des big-bags ont été placés en pied de paroi le long de la glissière de sécurité à la suite d'un éboulement en juin 2025 sur 90 ml. Sur cette paroi, 3 sous-cavages sont observables et séparent des bancs de grés compactes avec la relique des minages lors de la création de la tranchée autoroutière. Les deux sous-cavages inferieurs sont de faible ampleur (h= 0.2/0.4 m et ep ≈ 0.3 m) contrairement au sous-cavage supérieur (h = 1.0 m et ep ≈ 0.5 m). Un éboulement a eu lieu récemment entre la pose des big-bags et notre visite. Il est situé au PR279+080 et concerne le 4ème banc de grés situé en tête de la paroi fracturé et lité. Ce banc a des alternances argilo-sableuses et une rupture de surplomb s'est produite en amont du sous-cavage jusqu'à un des litages plus argileux. L'éboulement a concerné un compartiment d'environ 1.5 m^3 qui s'est rescindé en blocs de 2 à 100 L en pied de paroi. Des projections se sont produites jusqu'au au premier niveau de big-bags soit 1.0 m de haut. Sur la totalité de ce secteur, le dernier banc de grés est en surplomb par rapport au reste de la paroi et a une forme arrondie. Il a été sujet aux éboulements récents, dont le mécanisme est toujours similaire, une chute d'un compartiment en surplomb.


Sous-cavages et surplombs
Z6-3
SC6-1
SC6-2


Produits de l'éboulement


Éboulement récent
Z6-3a
SC6-1
SC6-2
SC6-3


Instabilité
Z6-3b
SC6-1
SC6-2
SC6-3


Z6-3c
SC6-1
Éboulement 06/2025
SC6-2

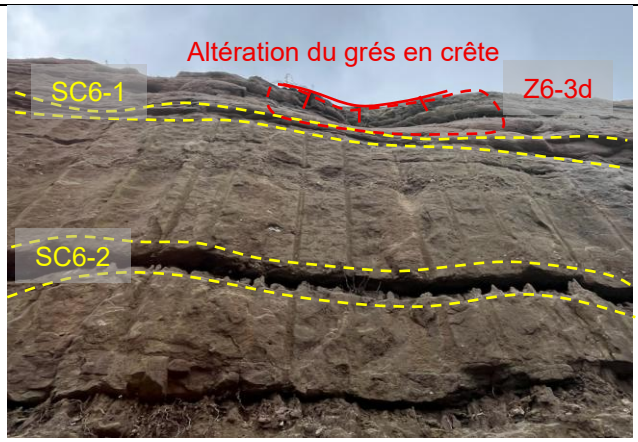

Altération du grés en crête
SC6-1
Z6-3d
SC6-2





Figure 11 : observations de terrain du 10/25

Source : SAGE

8.3. Secteur 6.3 - PR279+100 au PR279+163 (63 ml)

Le secteur 6.3 est constitué d'une paroi rocheuse compacte de 11.2 m de haut qui diminue vers le sud jusqu'à 7.3 m de haut. Les 3 sous-cavages observés sur les autres secteurs sont toujours observables mais avec la différence que celui de tête est plus diffus. Il s'agit d'une alternance de grés et d'argile créant des sous-cavages de faibles ampleurs à répétition. Le banc de grés sommital s'amincie vers le sud jusqu'à disparaitre vers PR279+140, tout comme le sous-cavage de tête. Au PR279+103, une colonne a été identifiée. Elle se situe entre les sous-cavages du milieu et celui du haut et mesure 3.7 m de haut, une largeur de 0.5 à 1.0 m et une épaisseur de 0.4 à 0.5 m. Cette colonne est délimitée en rives gauche et droite par d'anciens forages de minage. On note une fissuration en rive gauche qui semble récente (pas terreuse ou végétalisée) qui individualise nettement cette instabilité.

Une écaille dont la formation est semblable à cette colonne est observable au PR279+120. Celle-ci fait 2.7 m de haut, 0.6 m de large et environ 0.4 m d'épaisseur. L'écaille, tout comme la colonne, est délimitée en tête et en pied par 2 sous cavages. Le banc de gré situé entre le sous-cavage inférieur et moyen est très altéré et crée des instabilités en surplombs.

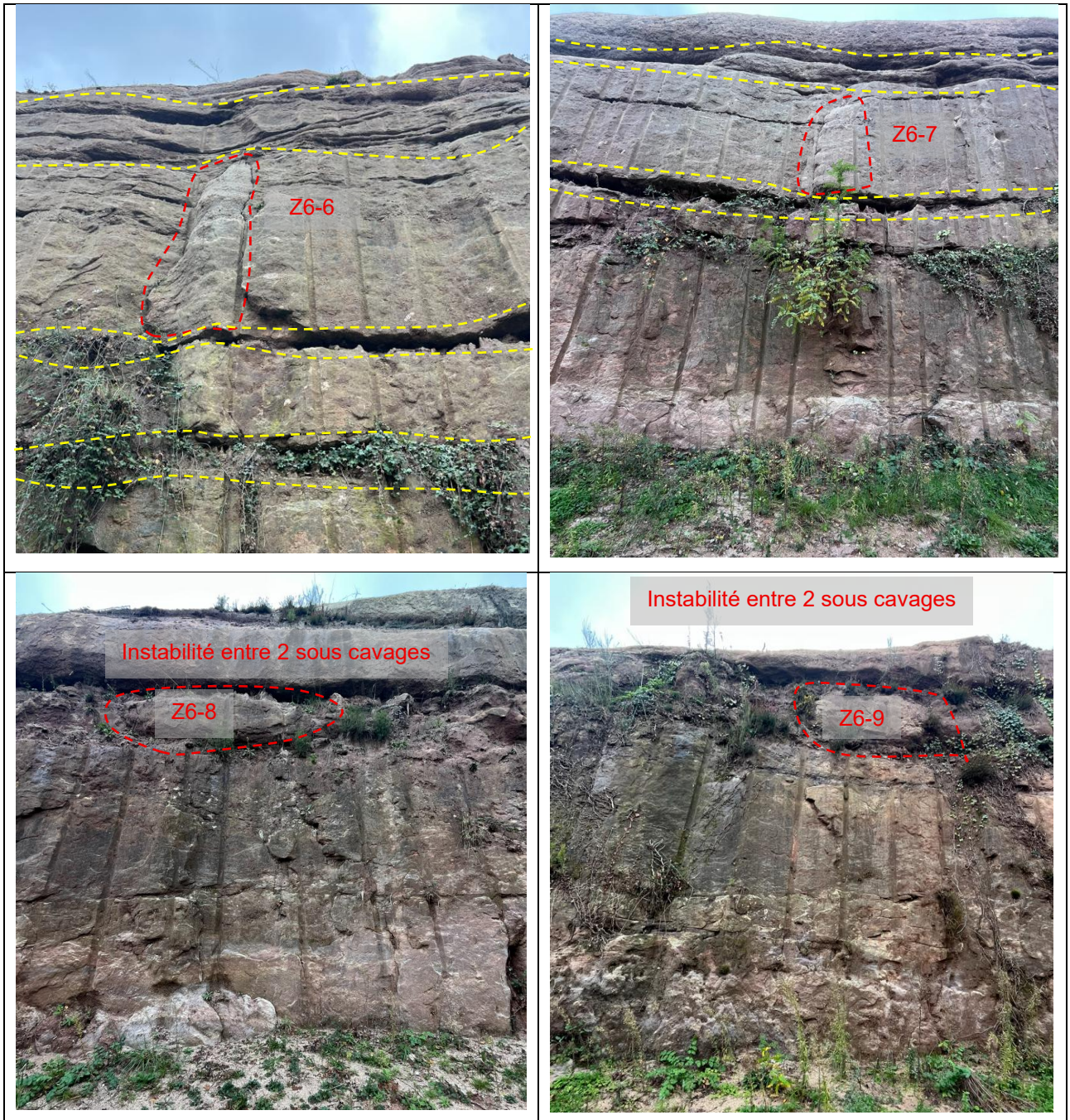


Figure 12 : observations de terrain du 10/25

Source : SAGE

8.4. Secteur 6.4 – PR279+163 au PR279+215 (52 ml)

Le secteur 6.4 est constitué d'une paroi rocheuse de 6.9 m de haut. Sur cette paroi, les sous cavages observés sur les autres secteurs ne sont plus observables (car situés en amont). Deux nouveaux sous-cavages sont observables, l'un en pied et en milieu de paroi, de 1.0 m de haut, 0.3/0.4 m d'épaisseur et 21 m de long et l'autre en milieu de paroi, de 0.2/0.3 m de haut, 0.2 m d'épaisseur 12 m de long. Le reste de la paroi est globalement compacte avec un banc plus altéré en crête de paroi sur 1.0 m d'épaisseur au PR279+200 jusqu'au PR279+210 (10 ml).

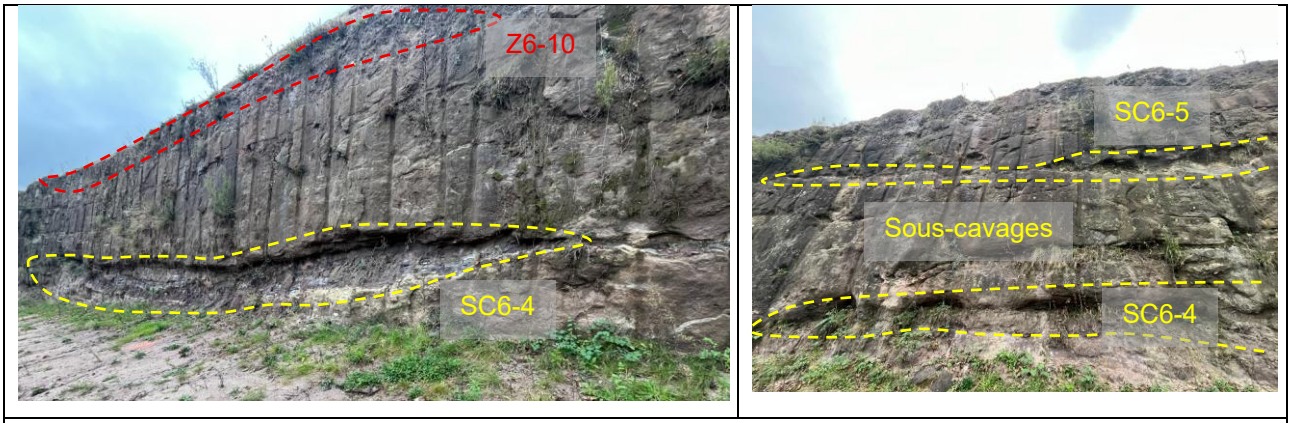


Figure 13 : observations de terrain du 10/2025

Source : SAGE

8.5. Secteur 6.5 – PR279+215 au PR279+240 (25 ml)

Le secteur 6.5 est constitué d'une paroi rocheuse de 5.0 m de haut qui diminue vers le sud jusqu'à la hauteur de la plateforme autoroutière. La paroi est inclinée d'environ 70° et végétalisée. Le rocher affleurant est un grés que l'on peut apercevoir au PR279+215 puis rapidement recouvert d'un remblai mis en place pour élargir l'accès en tête.



Figure 14 : observations de terrain du 10/2025

Source : SAGE

8.6. Amont de la paroi rocheuse

Un replat se situe en amont de la paroi rocheuse. Il s'agit d'une piste aménagée en déblais et très ponctuellement à l'extrémité sud en remblais de 5 à 10 m de large. Des traces de ravinements sont observables notamment sur la pente nord de la piste. Lors des travaux de 2025, des cordons de gravillons ont été mis en place pour dévier les eaux pluviales vers le versant à l'opposé de la paroi rocheuse. A l'arrière de cette piste vers l'Ouest, on retrouve le versant naturel en pente vers l'Ouest. La pente est variable le long de la tranchée rocheuse, plus raide au sud qu'au nord. La direction du versant change légèrement en devenant nord-ouest aux abords du talweg délimitant le secteur 6 côté nord.







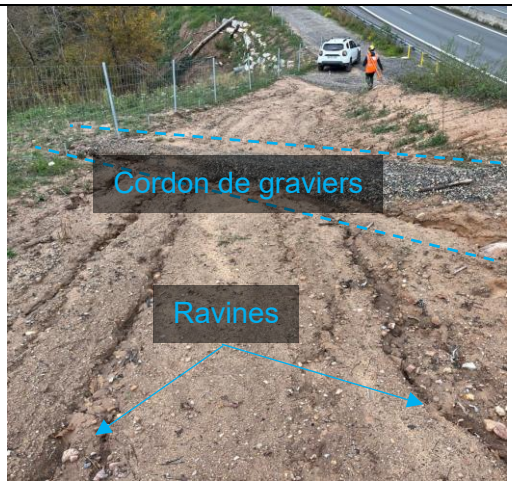


Figure 15 : observations de terrain du 10/2025

Source : SAGE

9. OBSERVATIONS DE TERRAIN DU 07/04/2026

A la suite de plusieurs éboulements survenus sur l'instabilité Z6-3 durant l'hiver 2025-2026, la DIRCO a missionné la société SAGE pour donner un avis géotechnique sur la portion de falaise rocheuse du secteur 6.

Depuis la mise en place d'un merlon de big-bags, le piège à cailloux à l'arrière s'est localement bien rempli et l'exploitant de la DIRCO souhaiterait le curer de sorte à regagner du volume de stockage de matériaux et éviter les risques de lobes en cas de nouvelle chute.

Les inspections se sont déroulées le 07 Avril 2026 à pied et en pied de paroi.

9.1. Observation de l'éboulement

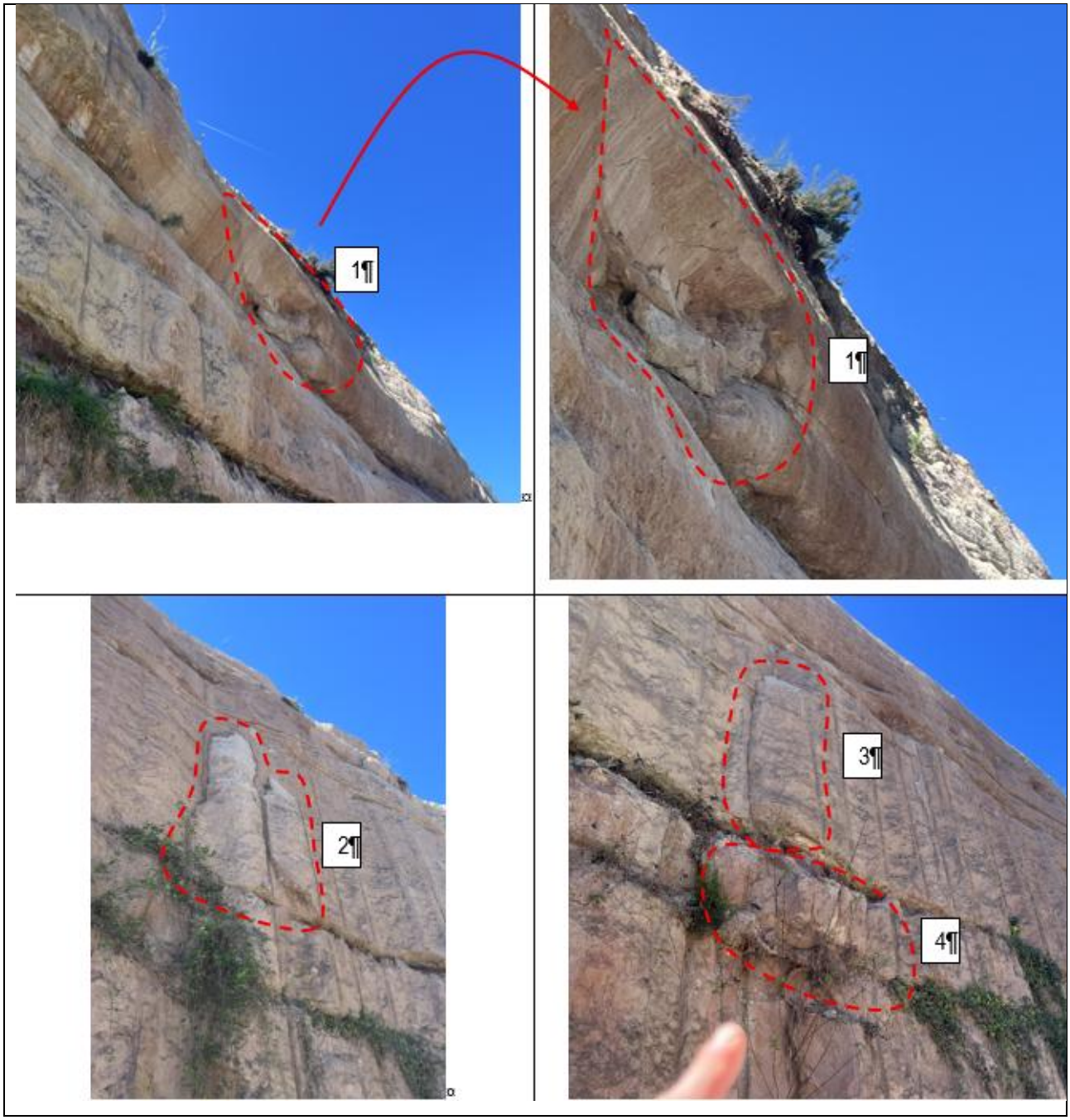
Il a été observé un amas de blocs de grés et de sable à l'arrière des big-bags. Certains blocs ont atteint le premier niveau des big-bags probablement par rebond sur les éboulis des chutes de blocs précédentes.

Ces blocs proviennent de l'instabilité n°1 (cf. photos ci-après) en surplomb et au-dessus d'un sous-cavage qui perd petit à petit sa partie basse. Actuellement, des pierres et blocs sont encore solidaires de la paroi mais des plans ouverts à l'arrière ou sur les côtés sont bien visibles.

Trois autres instabilités ont été observées notamment l'instabilité 2 et 3, assez similaire, en forme de colonne sans pied. Ces instabilités peuvent basculer et projeter des éclats de pierres sur l'A20.

La dernière instabilité se situe sous la colonne n°3. Elle est délimitée en tête et en pied par 2 sous-cavages. Cette dernière ne semble pas être un aléa élevé pour l'A20 mais semble peu stable et pourrait bloquer le passage d'engin en pied.




1¶
1¶
2¶
3¶
4¶

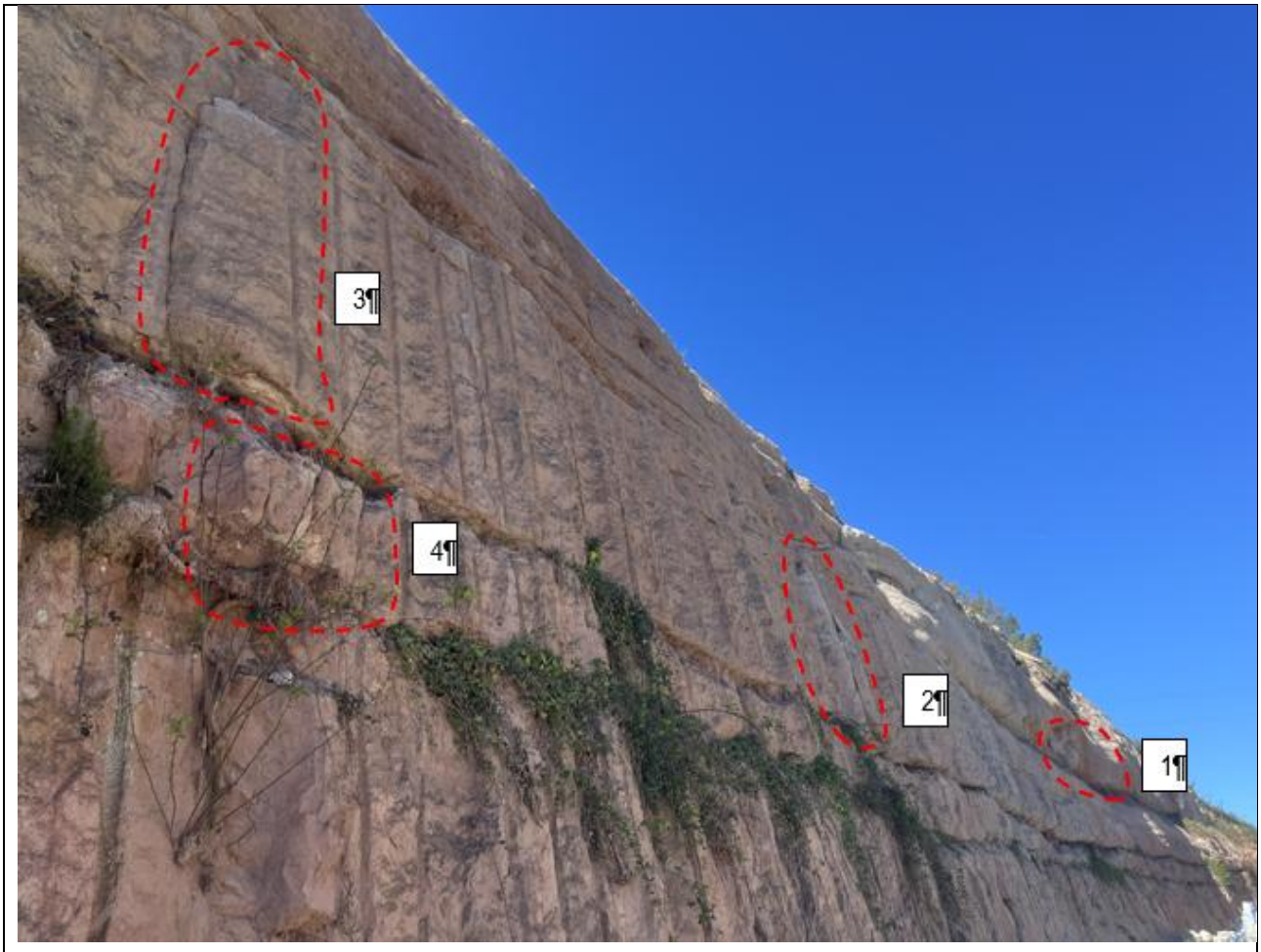


Figure 16 : observations de terrain du 04/2026

Source : SAGE

Les pierres et petits blocs présents en pied de l'instabilité i1 présentent un niveau d'aléa de départ Très Élevé à échéance très courte voire imminente, il n'est donc pas acceptable en l'état de curer l'espace à l'arrière des big bag sans travaux préalables.

Les autres instabilités i2, i3 et i4 présentent un aléa de départ Élevé à très courte échéance mais compte tenu de la nécessité d'engager des travaux de traitement, sur i1, il est pertinent de prévoir leur traitement lors d'une même opération.

9.1. Conclusion et travaux à prévoir

Ainsi, les instabilités observées sur le secteur 6, notamment les pierres et petits blocs à la base de l'instabilité i1 et les i2, i3 et i4 sont à traiter pour pouvoir permettre le curage du piège à caillou à l'arrière du merlon. Le traitement proposé est le suivant :

- **Purge manuelle des instabilités** (canne à purge ou coussin). Ce traitement devra être réalisé par 1 ou 2 équipes de cordistes et sous la protection d'un bouchon mobile ou d'une neutralisation de voie.

Nota : l'entreprise devra tester le reste du surplomb de l'instabilité 1 pour s'assurer que celle-ci est encore stable.

Une fois ces travaux réalisés il sera possible de réaliser le curage des matériaux à l'arrière des big-bags. Ces travaux devront être réalisés rapidement et par beau temps pour limiter l'exposition de l'entreprise.

10. INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

Les reconnaissances géotechniques réalisées sur le site ont été les suivantes :

- 14 sondages destructifs avec imagerie de paroi optique (OPTV), ultrasonique (BHTV) et Full Wave Sonic (FWS) réalisés par GEOTEC ;
- 3 panneaux électriques avec polarisation provoquée (78.75 m x 3) réalisés par SAGE.

10.1. Sondages destructifs GEOTEC

La campagne de sondage comprend un total de 14 sondages destructifs s'étalant sur un linéaire d'environ 120 m.

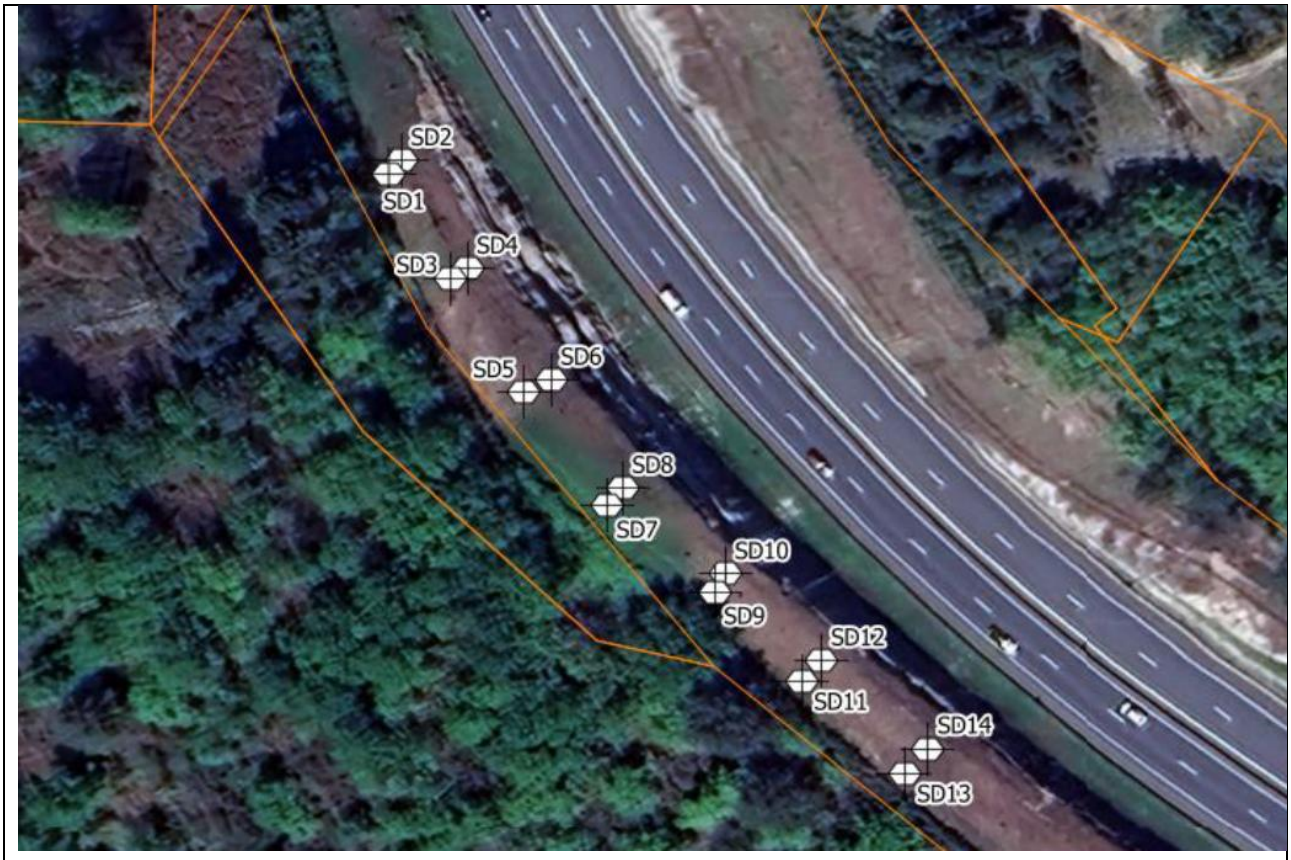


Figure 17 : Implantation des sondages GEOTEC

Source : rapport GEOTEC

10.1.1. Résultats des sondages (GEOTEC)

Les sondages sont réalisés par couple avec pour chaque profil les sondages impaires réalisés côté amont de la piste et les sondages paires côté aval de la piste. Les résultats sont présentés sous la forme d'un tableau de synthèse :

Sondage	Prof (m)	OPTV/BHTV	FWS
SD1	12.0	Aucun défaut structurel Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale voire 5-10° NE	2000 m/s entre 4.5 et 5.0m, 1500 à 1800 m/s entre 6.5 et 7.5 m, 1750 à 2500 m/s entre 7.5 et 8.6m, 1500 et 2000 m/s entre 8.5 et 9.4 m,

			3000 m/s entre 9.4 m et 11.95 m.
SD2	12.0	Aucun défaut structurel Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale voire 10-20° NE à 10-15° SE	2000 m/s entre 3.9 et 7.5 m 2000 à 2300 m/s entre 7.5 et 8.5 m 1650 à 1900 m/s entre 8.5 et 8.9 m 2150 m/s de 9.4 à 9.8 m 3000 m/s de 9.8 à 10.5 m
SD3	14.0	2 fractures sur les 1er 40 cm Aucun défaut structurel Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale voire jusqu'à 20°E	2200 m/s de 6.0 à 6.6 m 2500 m/s de 6.6 à 11.4 m 2900 m/s de 12.4 à 14.0 m
SD4	14.0	Zone déstructurée en surface 2 fractures à 0.45 et 12.22 m Aucun défaut structurel Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale voire jusqu'à 20°E	1850 à 2500 m/s entre 6.2 et 7.3 m 2500 m/s entre 7.3 et 8.3 m 2250 m/s entre 8.3 et 10.4 m 2500 et 2600 m/s entre 10.4 et 11.2m 2000 m/s entre 11.2 et 12.6 m
SD5	14.0	Boue de 0.0 à 9.0 m Aucun défaut structurel Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale	1750 à 2500 m/s entre 6.4 et 7.5 m 2500 m/s entre 7.5 et 9.8 m 2250 m/s entre 9.8 et 12.0 m
SD6	16.0	Aucun défaut structurel 2 zones déstructurées : 2.9 et 14.0 m Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale voire jusqu'à 20°E	2250 m/s entre 3.3 et 7.4 m 2650 m/s entre 7.4 et 14.0 m 2250 m/s entre 14.0 et 14.8 m
SD7	16.0	Aucun défaut structurel 2 zones déstructurées en surface à 2.4 et 3.75 m 3 fractures dont 1 ouverte à 0.78, 2.89 et 2.43 m Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale	1750 m/s entre 5.2 et 5.8 m 2250 à 2750 m/s entre 8.0 et 9.9 m 1950 à 2750 m/s entre 9.9 et 12.4 m 1750 à 2500 m/s entre 12.9 et 14.7 m
SD8	18.0	Aucun défaut structurel Zone déstructurée à 2.2 m Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale	2250 à 2750 m/s entre 5.95 et 8.6 m 2200 à 2500 m/s entre 9.75 et 13.4
SD9	12.0	Aucun défaut structurel 3 zones déstructurées à 0.65, 1.7 et 2.2 m 1 fracture à 0.59 m Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale + quelques plans entre 20 et 30° vers SE	2150 à 2650 m/s entre 4.7 et 6.2 m 1650 à 2250 m/s entre 6.2 et 9.6 m 2250 m/s entre14.0 et 14.8 m
SD10	14.0	Aucun défaut structurel 1 zone déstructurée à 2.1m Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale voire jusqu'à 20°W-SO	NR
SD11	10.0	Aucun défaut structurel 1 zone déstructurée à 2.1 m Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontal	1500 m/s (non saturés) entre 4.5 et 6.3 m/s 1500 à 2250 m/s entre 6.3 et 7.2 m
SD12	12.0	Aucun défaut structurel Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification subhorizontale + inclinés entre 30° SO	NR*
SD13	8.0	Aucun défaut structurel	2200 à 3250 m/s entre 5.9 et 6.9 m

		2 zones déstructurées entre 0.35 et 0.95 m + 5.53 et 5.75 m 4 fractures dont 2 vers 2.5 m et 2 vers 5.65 m Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification inclinée à 20° NNE et SSO	
SD14	10.0	Aucun défaut structurel Variation lithologique (alternance sombre et claire) Stratification inclinée à 20°SO	NR*

*NR : Non Réalisé

Dans la figure ci-dessous sont représentés les 14 sondages GEOTEC simplifiés (la lithologie simplifiée correspond au grés sain, grés altéré, grés décalcifié et argile) sur le nuage de points du LiDAR du secteur 6. Cette image permet de corréler les formations observées lors des carottages et de l'OPTV avec les sous-cavages observables sur la paroi rocheuse.

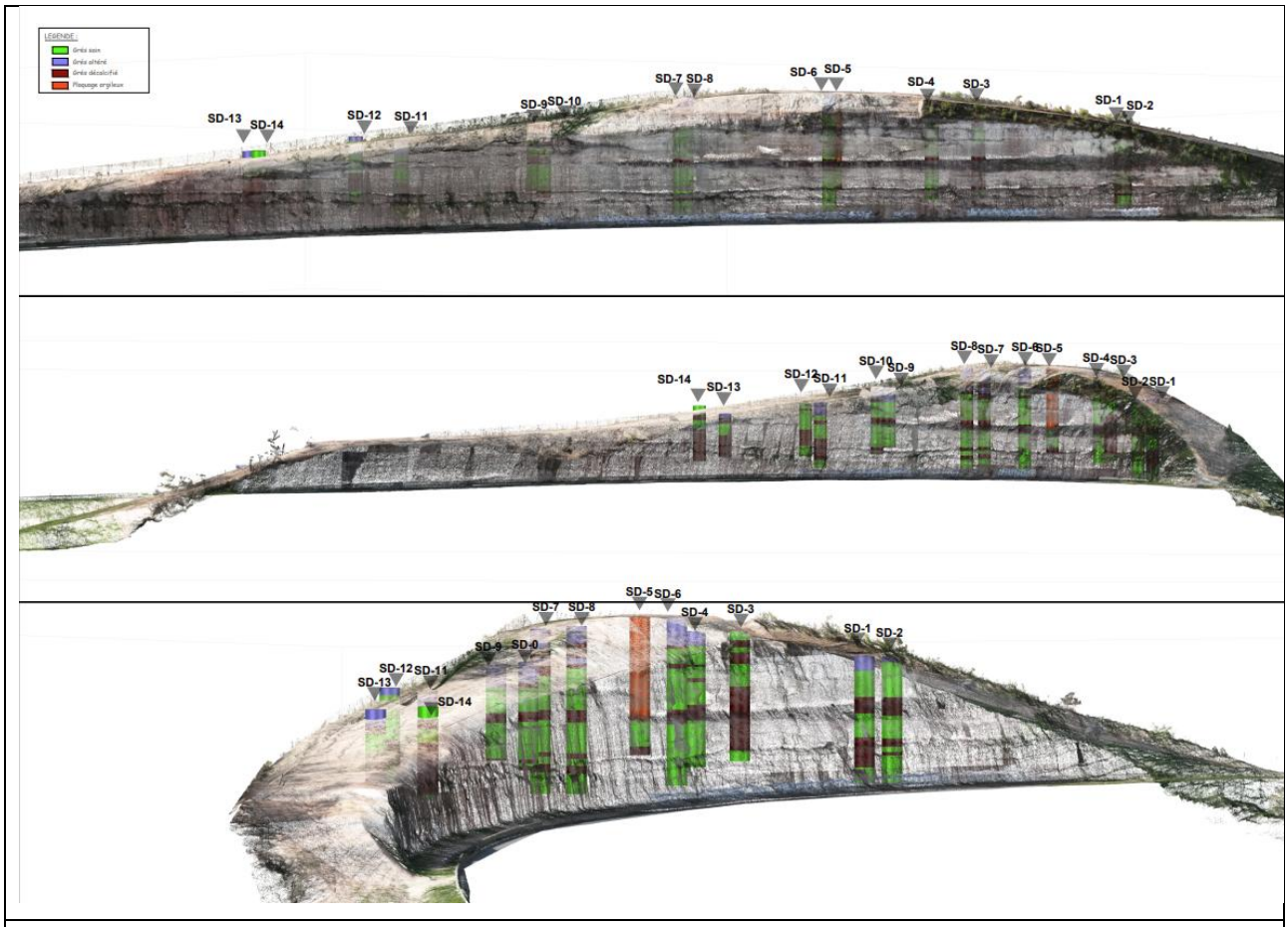


Figure 18 : Sondage GEOTEC simplifiés sur le nuage de points de la paroi du secteur 6

Source : SAGE

10.1.2. Bilan des investigations GEOTEC

Les diagraphies d'imagerie de paroi réalisées dans ces sondages ont permis une analyse visuelle structurale détaillée des terrains au droit des sondages.

Très peu voire aucun désordre structurel majeur n'a été observé. La majorité des fractures et zones déstructurées présentes se trouvait le long des deux premiers mètres des forages. Les fractures sont isolées et non regroupées au sein d'une même famille.

Les formations traversées sont très hétérogènes avec beaucoup de figures sédimentologiques planaire et non planaires qui n'ont pas été pointées. Sur l'ensemble des structures pointées, une tendance générale des structures subhorizontales se dégage avec des pendages dépassants rarement les 20°. La direction majoritaire des pendages est SE à E.

Concernant la lithologie, les couches marron foncées à taches verdâtres peuvent être corrélées aux niveaux gréso-marneux décalcifiés, les couches blanches voire beige correspondent aux grés sain, massif, les couches beiges à marron claires correspondent au grés tendre.

Les diagraphies FWS ont permis de déterminer la vitesse des ondes de pression au droit des sondages investigués. Les vitesses calculées au sein des différents sondages varient entre **1500 et 3250 m/s**. Aucune corrélation franche a pu être identifiée avec les variations lithologiques mais reste cohérente avec la nature hétérogène des formations. La majorité des linéaires couverts se trouve dans un intervalle de vitesse compris entre **1800 et 2600** m/s et correspond aux plages de vitesses théoriques des lithologies rencontrées et pouvant correspondre aux catégories ci-dessous "sable humide", "série argilo gréseuses saturées" ou "grés poreux et saturés".

Nature des terrains	Vitesse P m/s		Vitesse S m/s		Masse vol. g/cm³		Coeff. Poisson		Coeff. Lamé μ GPa		Coeff. Lamé λ GPa		Module Young GPa		Mod. incomp. K GPa		Mod. Elast. P GPa	
Eboulis, terre végétale	300	700	100	300	1.7	2.4	0.438	0.388	0.017	0.216	0.119	0.744	0.049	0.599	0.130	0.888	0.153	1.176
Sables secs	400	1200	100	500	1.5	1.7	0.467	0.395	0.015	0.425	0.210	1.598	0.044	1.186	0.220	1.881	0.240	2.448
Sables humides	1500	2000	400	600	1.9	2.1	0.462	0.451	0.304	0.756	3.667	6.888	0.889	2.193	3.870	7.392	4.275	8.400
Argiles saturées	1100	2500	200	800	2.0	2.4	0.483	0.443	0.080	1.536	2.260	11.928	0.237	4.433	2.313	12.952	2.420	15.000
Marnes	2000	3000	750	1500	2.1	2.6	0.418	0.333	1.181	5.850	6.038	11.700	3.350	15.600	6.825	15.600	8.400	23.400
Série argilo-gréseuse saturée	1500	2200	500	750	2.1	2.4	0.438	0.434	0.525	1.350	3.675	8.916	1.509	3.872	4.025	9.816	4.725	11.610
Grés poreux et saturés	2000	3500	800	1800	2.1	2.4	0.405	0.320	1.344	7.776	5.712	13.848	3.776	20.532	6.608	19.032	8.400	29.400
Calcaires	3500	6000	2000	3300	2.4	2.7	0.258	0.283	9.600	29.403	10.200	38.394	24.145	75.457	16.600	57.996	29.400	97.200
Craie	2300	2600	1100	1300	1.8	2.3	0.352	0.333	2.178	3.887	5.166	7.774	5.888	10.365	6.618	10.365	9.522	15.548
Sel	4500	5500	2500	3100	2.1	2.3	0.277	0.267	13.125	22.103	16.275	25.369	33.516	56.018	25.025	40.104	42.525	69.575
Anhydrite	4000	5500	2200	3100	2.9	3.0	0.283	0.267	14.036	28.830	18.328	33.090	36.021	73.067	27.685	52.310	46.400	90.750
Dolomie	3500	6500	1900	3600	2.5	2.9	0.291	0.279	9.025	37.584	12.575	47.357	23.304	96.122	18.592	72.413	30.625	122.525
Granite	4500	6000	2500	3300	2.5	2.7	0.277	0.283	15.625	29.403	19.375	38.394	39.900	75.457	29.792	57.996	50.625	97.200
Basalte	5000	6000	2800	3400	2.7	3.1	0.272	0.264	21.168	35.836	25.164	39.928	53.833	90.558	39.276	63.819	67.500	111.600
Gneiss	4400	5200	2700	3200	2.5	2.7	0.198	0.195	18.225	27.648	11.950	17.712	43.668	66.092	24.100	36.144	48.400	73.008
Charbon	2200	2700	1000	1400	1.3	1.8	0.370	0.316	1.300	3.528	3.692	6.066	3.561	9.287	4.559	8.418	6.292	13.122
Eau	1450	1500			1.0	1.0	0.500				2.103	2.250			2.103	2.250	2.103	2.250
Glace	3400	3800	1700	1900	0.9	0.9	0.333	0.333	2.601	3.249	5.202	6.498	6.936	8.664	6.936	8.664	10.404	12.996
Huile	1200	1250			0.6	0.9	0.500				0.864	1.406			0.864	1.406	0.864	1.406

Figure 19 : tableau des vitesses théoriques des ondes de volumes et modules mécaniques en fonction de différentes lithologie et fluides

Source : extrait du rapport GEOTEC

10.2. Panneaux électriques avec polarisation provoquée

Les résultats de la prospection géophysique sont disponibles en Annexe 2.

10.2.1. Campagne de mesure

Trois profils électriques et de polarisation provoquée de 160ml au total (PP01, PP02 et PP03) avec un espacement de 2.5m entre les électrodes ont été réalisés sur le site d'étude. La localisation des profils est donnée en Annexe 1.

La méthode de polarisation provoquée consiste à évaluer la capacité d'un sol à stocker de manière réversible des charges électriques. La variable mesurée est appelée chargeabilité et est exprimée en mV/V. On peut aussi choisir de représenter la chargeabilité dite normalisée exprimée en mS/m qui est notamment reliée à la teneur en argiles des sols dans le cas de matériaux exempts de particules métalliques. La polarisation provoquée vient ici compléter la méthode de tomographie électrique standard afin d'apporter des informations complémentaires.

Lors de l'acquisition de profils de polarisation provoquée, on utilise un protocole spécifique permettant de séparer les câbles utilisés pour l'injection de ceux utilisés pour mesurer le potentiel afin de minimiser l'importance des différentes sources de bruit sur les données telles que les

couplages électromagnétiques entre les dipôles d'injection et de mesure ou les couplages électromagnétiques au sein des câbles.

Le résistivimètre utilisé pour les mesures est un Terrameter LS2 (ABEM), branché sur une batterie 12V. Les électrodes utilisées sont des électrodes en inox de 40cm de longueur et 1cm de diamètre.

10.2.2. Résultats

Ci-dessous les résultats de la chargeabilité (mV/V) et de la résistivité (Ohm.m) sur le profil topographique avec la lithologie des sondages et notamment des zones de sous-cavages.

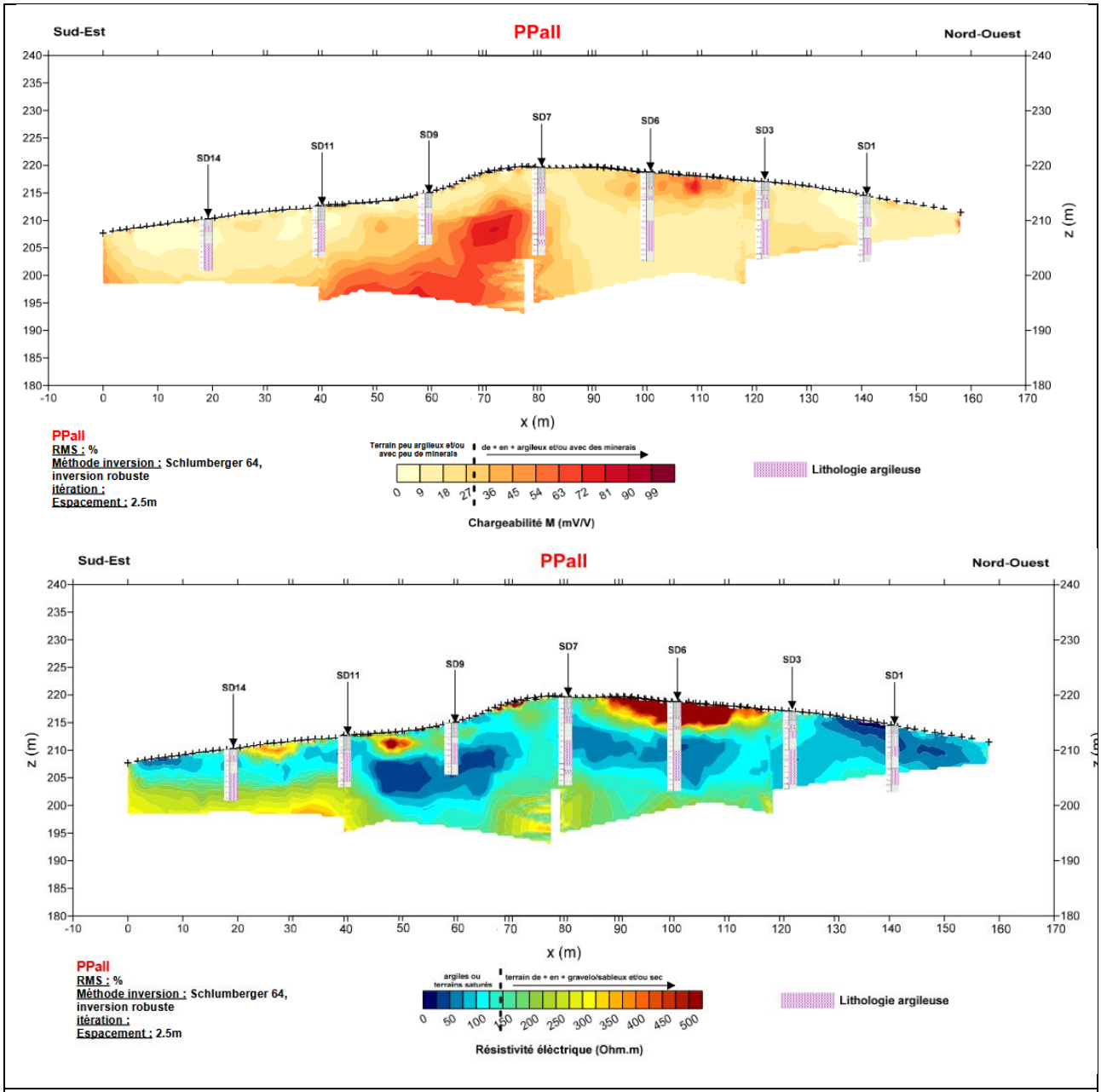


Figure 20 : Résultats de la PP

Source : SAGE

Les valeurs de la chargeabilité normalisée varient entre 0.5 et 90 mS/m. On constate que globalement les chargeabilités normalisées sont plus faibles aux extrémités du profil (entre 0.5 et

30 mS/m) que dans la partie centrale ou 2 zones, l'une en surface et l'autre en profondeur, montre des chargeabilités normalisées plus importantes (30 à 90 mS/m).

Les valeurs de résistivité varient entre 20 et >500 Ohm.m. Les valeurs les plus faibles de moins de 100 Ohm.m sont observées à mi-hauteur dans la paroi. La résistivité augmente en profondeur pour atteindre 150 à 350 Ohm.m.

En surface, les valeurs de la résistivité sont variables entre 20 et >500 Ohm.m avec une zone plus résistive en milieu de paroi entre 80 et 120 m sur le profil.

10.2.3. interprétation

D'après le contexte géologique et nos observations sur site, il s'agit d'un grés de couleur lit de vain probablement ferrugineux. Des minéraux métalliques sont probablement existant au sein de cette formation. La résistivité et la chargeabilité normalisée peuvent donc ici être perturbé par ces éléments ferrugineux et par la teneur en particules fines ou argileuses et de la teneur en eau.

Les profils mettent en évidence un niveau à mi-hauteur dans la paroi avec des résistivité faibles (inférieur à 100 Ohm.m) pouvant être corrélé aux niveaux décalcifiés et argileux (sous-cavages). On note également qu'entre 40 et 80 m sur le profil, de 195 à 210 m NGF (entre 5-10 m de profondeur par rapport au TA), au sein de ces niveaux décalcifiés et argileux mais également jusqu'en pied de paroi, la chargeabilité normalisée est plus importante qu'ailleurs. Cette dernière peut alors signifiée qu'il s'agit soit d'une zone de plus en plus argileuse soit de plus en plus minéralisée. La stratigraphie étant subhorizontale (léger anticlinal à l'échelle du secteur 6), on pourrait s'orienter vers une zone ou la minéralisation est plus importante que sur le reste du secteur.

11. DIAGNOSTIC DES ALEAS DE DEPART

11.1. Méthodologie d'analyse des risques

Notre analyse des risques consiste à estimer un **aléa résultant** placé sur une échelle à 5 niveaux (*Très Faible (TF), Faible (F), Moyen (M), Elevé (E) et Très Elevé (TE*)) traduisant la « menace » que représente une instabilité pour la voie. Il résulte d'une combinaison des deux facteurs suivants :

- l'**aléa de départ**, estimé qualitativement pour une durée de 30 ans, en se basant sur une échelle à 5 niveaux : **TRES FAIBLE (TF), FAIBLE (F), MOYEN (M), ELEVE (E) et TRES ELEVE (TE**) :
  - **TF** : aléa très faible (*la probabilité de départ du bloc dans le délai considéré peut être considérée comme négligeable)*
  - **F** : aléa faible (*la probabilité de départ du bloc dans le délai considéré peut être considérée comme très peu probable)*
  - **M** : aléa moyen (*la probabilité de départ du bloc dans le délai considéré est significative voire quasiment identique à celle de son « non-départ »*)
  - **E** : aléa élevé (*le départ du bloc peut être considéré comme probable*)
  - **TE** : aléa très élevé (*le départ du bloc peut être considéré comme très probable, voire quasi-certain)*

  L'aléa de départ des instabilités nécessitant une intervention à très court terme sera qualifié "d'imminent".
- l'**aléa de propagation** : résulte d'une analyse de la possibilité d'atteinte de l'enjeu en **cas de départ de l'instabilité**. Celle-ci est liée à la topographie, la nature du sol, la forme et la fragmentabilité de la masse mobilisée ou encore la présence de végétation. Elle varie elle aussi de TRES FAIBLE à TRES ELEVE.

11.2. Indice de mouvement

D'après l'historique recensé dans le paragraphe précédent et d'après nos observations, des chutes de blocs ont déjà eu lieu sur le site jusqu'à récemment (dernier évènement en 2025).

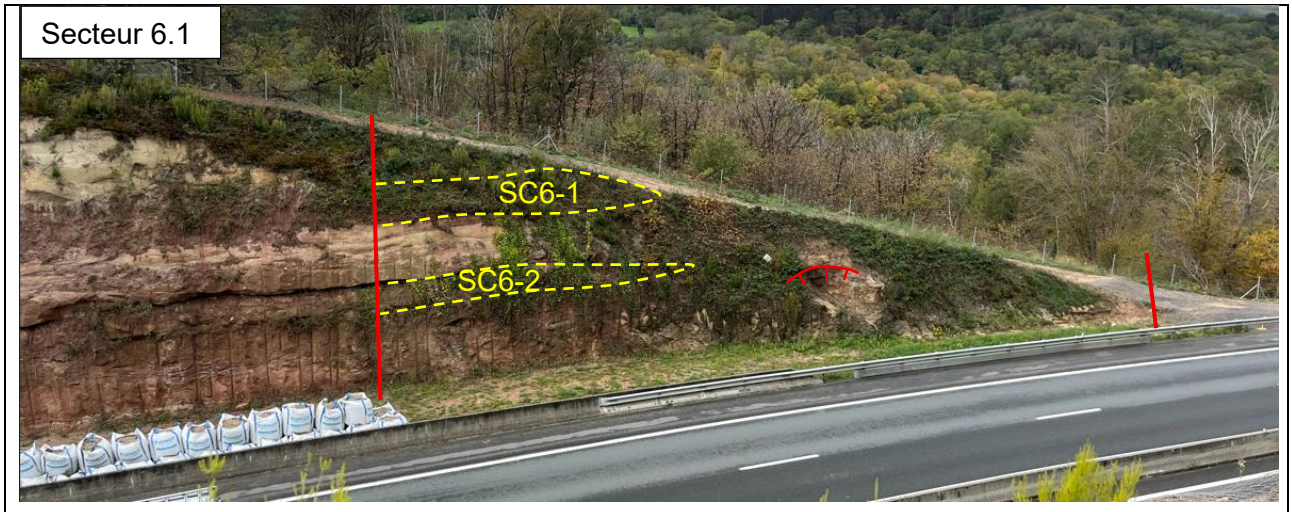
11.3. Morphologie et mécanisme d'instabilités

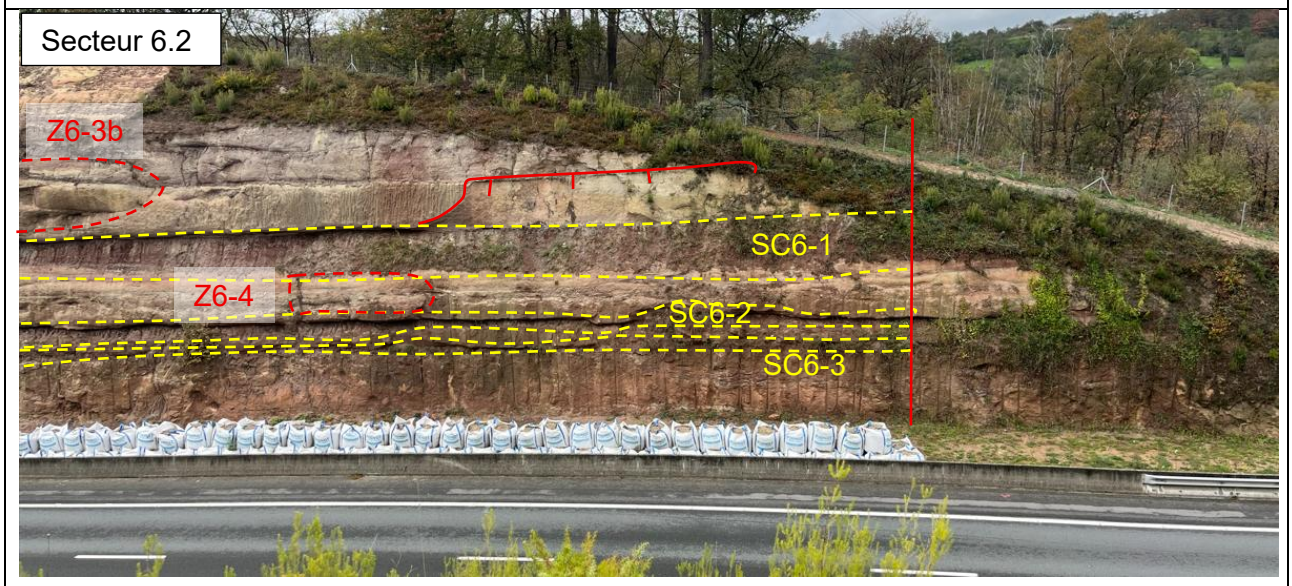
La figure 18 et en plus grand format en Annexe 3 présente une vue générale des différentes parois et l'implantation des instabilités identifiées. Le détail de ces instabilités est également présenté dans cette annexe.

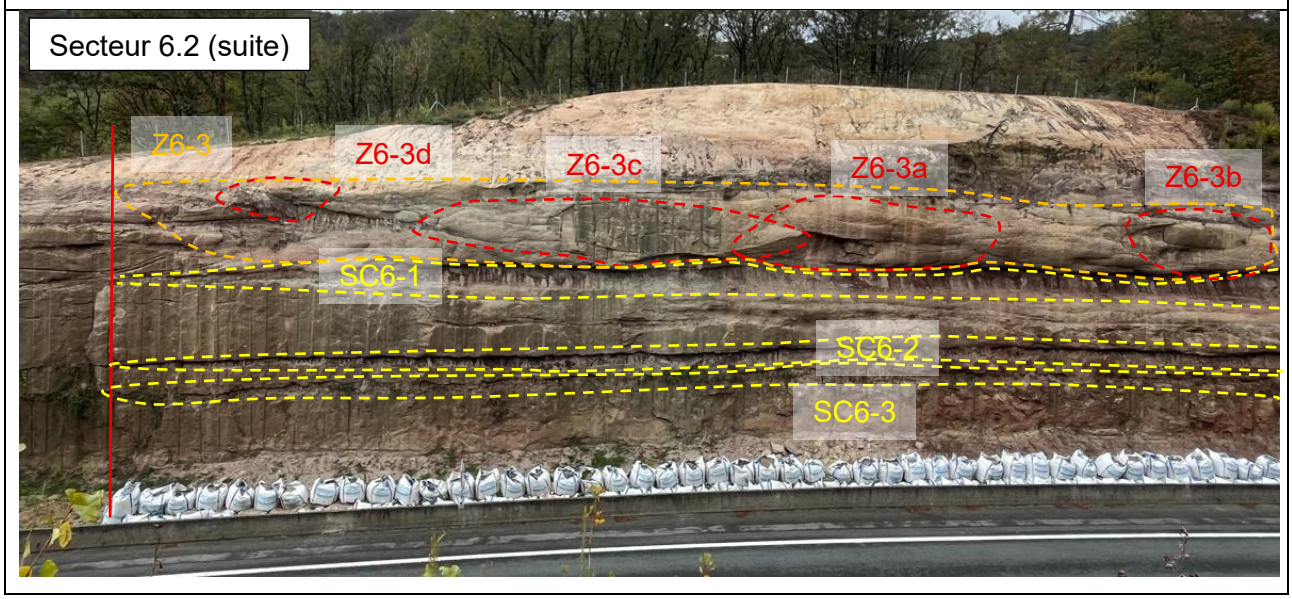
Les principaux mécanismes d'instabilités observés sont générés par l'alternance de couches gréseuses et gréso-marneuses. Les bancs gréso-marneux sont progressivement décalcifiés par les circulations d'eau et s'altèrent donc en banc argilo-sableux qui s'érode plus rapidement que les bancs gréseux et crée de zones de sous-cavages sous les surplombs. Ces surplombs viennent à se détacher par flexion lorsque le sous-cavage devient trop important. Un autre mécanisme est l'altération du grés par le ruissellement. L'altération crée des sillons dans le grès formant des compartiments instables comme des écailles ou des colonnes (par exemple Z6-6 ou Z6-7).

11.4. Recensement des instabilités

L'implantation des instabilités identifiées est présentée sur les figures ci-dessous. Les caractéristiques de chacune d'entre elles sont dans le tableau après les figures.


Secteur 6.1
SC6-1
SC6-2


Secteur 6.2
Z6-3b
SC6-1
Z6-4
SC6-2
SC6-3


Secteur 6.2 (suite)
Z6-3
Z6-3d
Z6-3c
Z6-3a
Z6-3b
SC6-1
SC6-2
SC6-3


Secteur 6.3
SC6-1
Z6-7
Z6-6
SC6-2
SC6-3
Z6-8

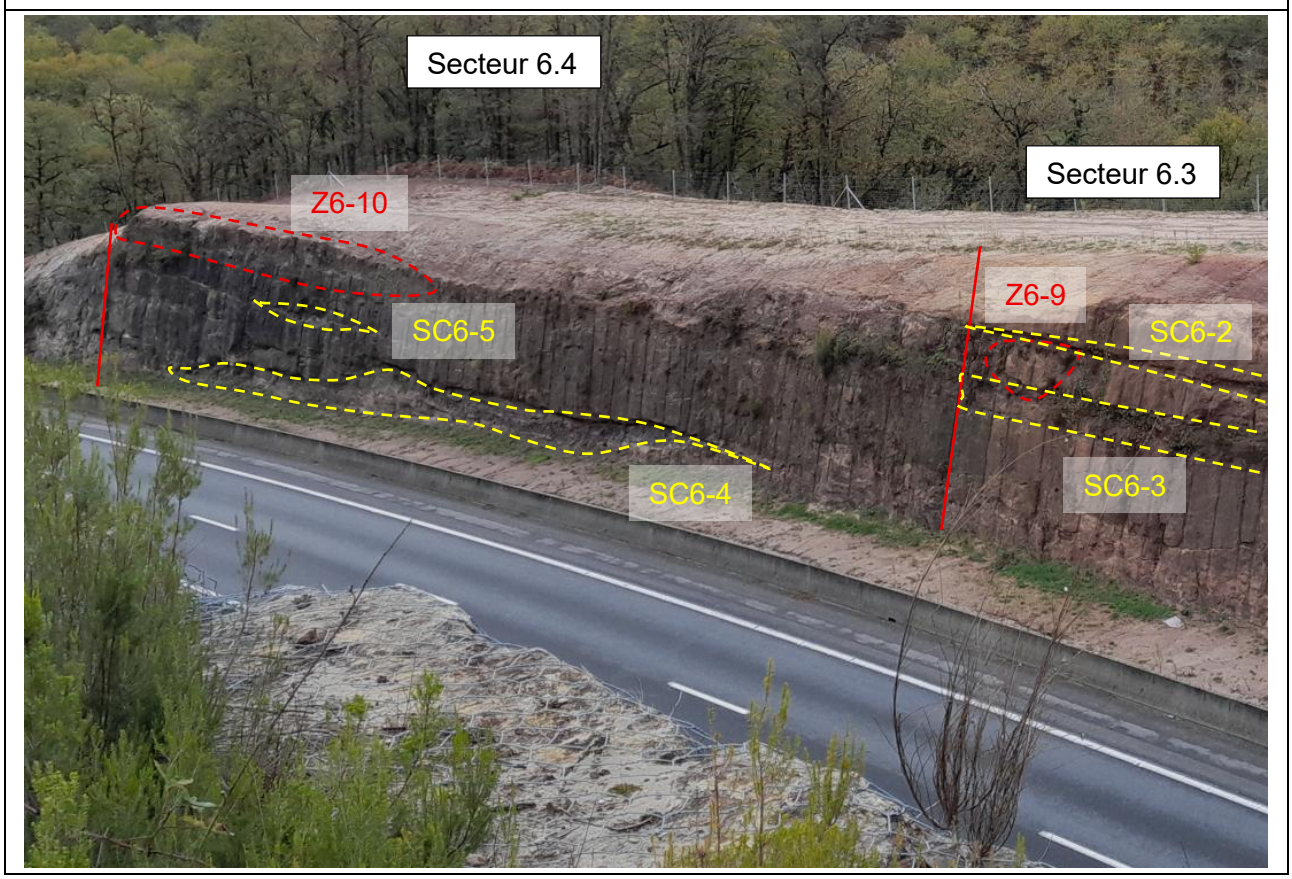

Secteur 6.4
Secteur 6.3
Z6-10
Z6-9
SC6-5
SC6-2
SC6-4
SC6-3



Figure 21 : Instabilités sur les secteurs 1 à 5 de la zone 6

Secteur	Instabilité		Description	Volume total (ou résiduel)		Aléa de départ	Aléa d'atteinte	Aléa résultant
6.1	SC6-1		Sous-cavage engendré par la présence d'un banc argileux à gréso-argileux sensible à l'érosion	-		M/E	E/TE	E
	SC6-2		Sous-cavage en milieu de paroi de faible ampleur, engendré par la présence d'un banc argileux à gréso-argileux sensible à l'érosion	-		F/M	F	F
6.2	SC6-1		Idem 6.1	-		M/E	E/TE	E
	SC6-2		Idem 6.1	-		F/M	F	F
	SC6-3		Sous-cavage en bas de paroi, engendré par la présence d'un banc argileux à gréso-argileux sensible à l'érosion	-		F/M	F	F
	Z6-3	Z6-3a	Écaille sous-cavée dont une partie est partie récemment (3.8 m^3) avec fissures inférieure et latérale côté droit marquées mais peu ouverte. Extension latérale gauche inconnue mais possiblement de l'ordre de 5 m. H = 1.5 m, L = 5 m, e = 0.5 m max	>200m^3	4 m^3	E	E/TE	E
		Z6-3b	Écaille sous-cavée avec fissure périphérique marquée et décollement de 5 cm du côté gauche. H = 1.0 m, L = 3.0 m, e = 0.5 m max		1.5 m^3	E	E/TE	E
		Z6-3c	Écaille sous-cavée dont une partie basse est déjà tombé (2025) avec de nombreuses fissures verticales et horizontales pouvant générer des chutes de blocs par décompression du massif		1.0 m^3	E	E/TE	E
		Z6-3d	Amas de blocs très altérés en crête de paroi, probablement par ruissellement et décalcification du massif		20-30 L (résiduel)	E	F/M	M
	Z6-4		Écaille au niveau d'un banc gréseux inférieur sous-cavé par la présence d'un banc argilo-gréseux peu épais. Fissure latérale droite marquée. Extension latérale estimée à 3,5 m. H = 3,0 m, L = 3,5 m, e = 0,5 m max	3-4 m^3		E	F	F
6.3	SC6-1		Idem 6.1	-		M/E	E/TE	E
	SC6-2		Idem 6.1	-		F/M	F	F
	SC6-3		Idem 6.2	-		F/M	F	F
	Z6-6		Colonnette désolidarisée engendrée par les sous-cavages SC6-1 en tête et SC6-2 en pied et probablement par le forage/minage lors des terrassements	3.7 x 1 x 0.5 1.9 m^3		TE	M/E	TE
	Z6-7		Colonnette désolidarisée engendrée par les sous-cavages SC6-1 en tête (à priori un bloc en tête est déjà tombé) et SC6-2 en pied et probablement par le forage/minage lors des terrassements	2.7 x 0.6 x 0.4 0.65 m^3		E	M	M

	Z6-8	Instabilité entre les sous-cavages SC6-2 et SC6-3. Il s'agit d'un bloc gréseux en surplomb	4.0 x 1.5 x 0.3 1.8 m^3	M	F/M	F
	Z6-9	Instabilité entre les sous-cavages SC6-2 et SC6-3. Il s'agit d'un bloc gréseux en surplomb	2.5 x 1.3 x 0.3 1.0 m^3	M	F/M	F
6.4	**SC6-4**	Sous-cavage engendré par la présence d'un banc argileux à gréso-argileux sensible à l'érosion 30 m x1.0 m x0.3 m	-	M	M	F
	SC6-5	Sous-cavage engendré par la présence d'un banc argileux à gréso-argileux sensible à l'érosion 5.0 m x 0.8 m x 0.4 m	-	M	M	F
	Z6-10	Banc très altéré en tête de paroi pouvant libérer des pierres de quelques litres	10x1.0m 10m²	M/E	M	M
6.5	**-**	RAS	-	-	-	-

12. HYPOTHESE ET CONCEPTION DES TRAVAUX DE SECURISATION

12.1. Critère de conception et présentation de la solution retenue

Nous avons proposé plusieurs profils types lors d'une première version de la G2PRO.

Les critères retenus pour la conception des terrassements sont les suivants :

- Le projet doit rester dans les limites d'emprises foncières ;
- Conservation / recréation d'une piste en crête du secteur pour permettre la mise en place d'une clôture et faciliter l'entretien du site ;
- Déblais et talutage à une pente autostable ;
- Création d'une banquette d'au moins 4.0 m de large en pied du talus de déblai permettant de "casser" la hauteur de la paroi basse et d'assurer la gestion des eaux ;

La DIRCO a choisi le scénario d'une banquette basse de 4 m puis déblai variable (< 1H/1V) puis replat sommital d'au moins 4 m de large tout en restant dans les emprises foncières.

La solution de travaux retenue est donc la suivante :

La réalisation de grand terrassement jusqu'à la base du banc marneux SC6-1 permettra de diminuer la hauteur de la paroi sub-verticale basse à environ 8.0 m. La pente du déblai sera variable sur le linéaire des travaux mais ne devra pas excéder 1H/1V.

Un traitement du banc marneux (SC6-1) par anti-érosion sera nécessaire sur la partie basse du déblai.

Un nettoyage de la crête de la paroi du secteur 6.4 et 6.5 permettra de lisser la paroi et créer un talus à 45°.

Des purges mécaniques des instabilités Z6-4, Z6-6, Z6-7, Z6-8 et Z6-9 sont à réaliser sur le reste de la paroi rocheuse.

Un grillage pendu sur avaloir de 1.0m de haut sera mis en place sur la partie inférieure de la paroi.

Un système de drainage des eaux de ruissellement sera également mis en place. Des cunettes seront réalisées en pied et en tête de paroi et sur la banquette.

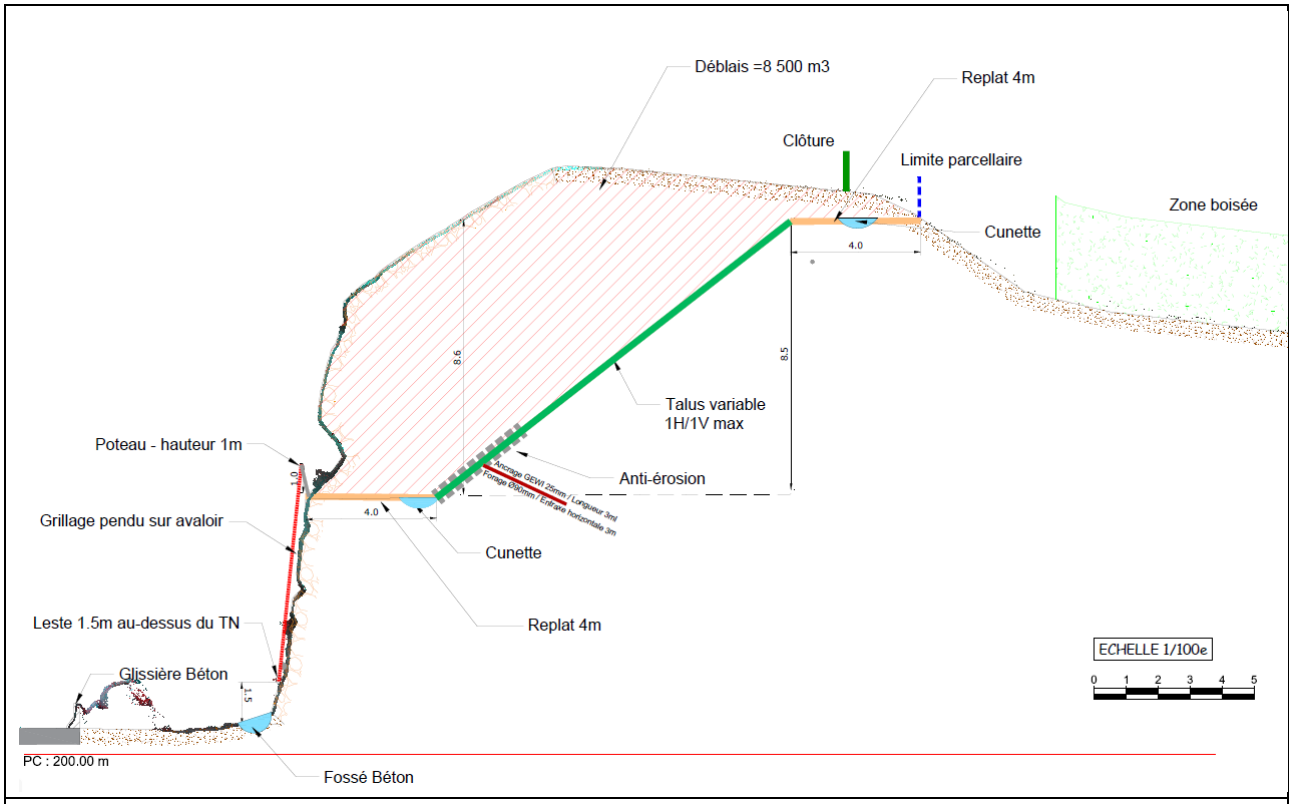


Figure 22 : profil type de la solution retenue

Les principes de travaux sont présentés en annexe 4, 5 et 6 et détaillés dans les paragraphes ci-dessous.

12.2. Hypothèses générales de dimensionnement

Les points généraux suivants sont retenus en référence aux normes en vigueur :

Type de paramètre	Paramètre retenu	Référence à la norme
Classe de conséquence	CC2	Tableau B.2.1 – NF P94-270
Catégorie géotechnique	2	Tableau B.3.1 – NF P94-270
Durée d'utilisation de projet	75 ans	Tableau B.4.1 – NF P94-270
Force corrosive du sol	Moyen (hypothèses prise au stade PRO en l'absence d'essai) à confirmer par des essais au démarrage du chantier	Tableau F.2.1.3.2 – NF P94-270
Épaisseur sacrifiée à la corrosion	2.5 mm sur le rayon pour des aciers de construction	Tableau F.2.1.7.1 – NF P 94-270

Frottement latéral, sol ou rocher / clou, Qs

Compte tenu du contexte il sera considéré une valeur de Qs de :

- 150 kPa dans les formations meubles (couche argileuse ou gréso-argileuse) ;
- 400 kPa dans les grés.

Ces valeurs devront être confirmées ou modifiées par des essais de convenance. Le Qs caractéristique sera obtenu par pondération conformément à la norme NF P 94-270 annexe G.

Caractéristiques des ancrages

Les caractéristiques des ancrages à prendre en compte dans les calculs sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

Diamètre barre HA fe500 MPa	Résistance à la traction à long terme	Diamètre de forage recommandé	Longueur des ancrages
25 mm	124 kN	90mm	3 ml*
32 mm	227 kN	90mm	3ml*

*Longueur des ancrages dans les anti-érosions à adapter en fonction des essais de convenance.

Concernant la résistance au cisaillement il sera considéré le critère de Von Mises en sollicitations composées soit le rapport Cisaillement pur / traction simple = 0,58 (cf. norme 1993-1-1 – calcul des structures en acier)

12.3. Généralité sur les constituants et sur les ouvrages

12.3.1. Terrassements / déblais rocheux

Les terrassements pourront être réalisés à l'aide d'engin de forte puissance et équipé de fraise hydraulique et/ou de Brise Roche Hydraulique (BRH).

À partir des vitesses sismiques obtenues grâce aux diagraphies FWS (Full Wave Sonic) et du diagramme de CATERPILLAR ci-dessous, il peut être observé que la formation gréseuse est rippable à la défonceuse ou une méthode marginale (défonçable par 2 tracteurs en tandem).

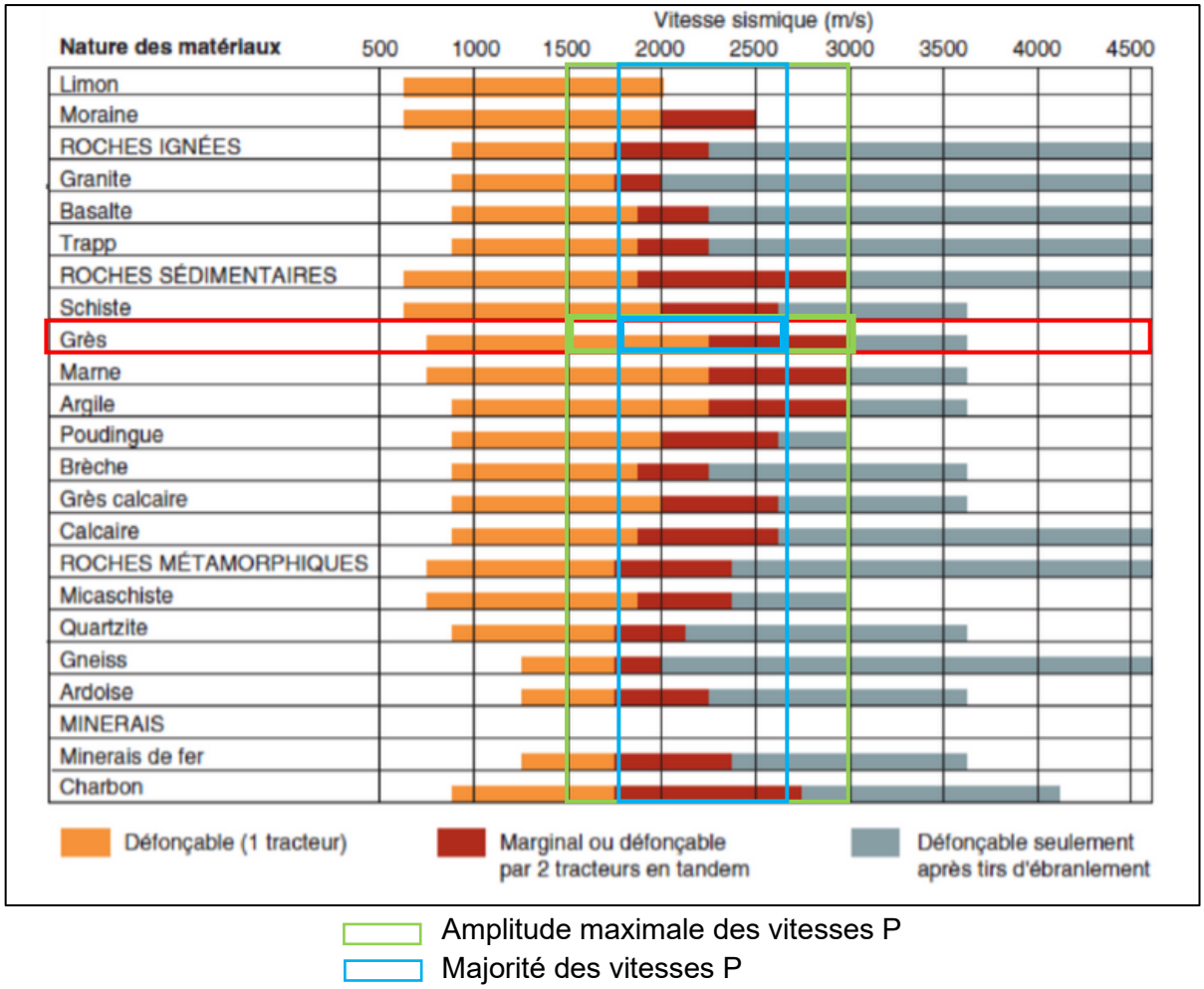


Figure 23 : Diagramme de CATERPILLAR

Source : CATERPILLAR

12.3.2. Ancrages

Prescriptions générales

Toutes les longueurs d'ancrages (principalement 3ml) s'entendent en longueurs de barres réellement scellées dans les terrains. L'entreprise doit tenir compte de ces longueurs et rajouter les surlongueurs de forage (10-15 cm par forage) permettant d'assurer le bon enrobage de la barre ainsi que les surlongueurs de barre hors-sol permettant de mettre en place les têtes d'ancrages et de les noyer dans le béton tout en respectant un enrobage de 5 cm.

Le coulis devra remonter jusqu'à la surface : un complément devra être réalisé après le premier séchage. Les coulures visibles depuis la voie seront nettoyées.

Une durée de 7 jours de séchage devra être respectée avant la mise en tension des ancrages.

Chaussettes

Elles devront être évitées au maximum : d'autres solutions devront être privilégiées en cas d'injection dans des zones fracturées (reprise de coulis, etc.).

Dans le cas où leur utilisation ne peut être évitée :

- les centreurs ne devront pas être mis en œuvre par-dessus la chaussette même si le risque de la déchirer est plus grand ;
- la double chaussette est interdite ;

- les clous d'essais de convenance devront être réalisés avec chaussette.

Peinture anticorrosion

La tête des boulons et l'extrémité de la barre (≥ 1 mètre), devront être couvertes d'une double couche de peinture anticorrosion.

12.3.3. Caractéristiques coulis / acier / béton

COULIS

Fck résistance caractéristique à la compression à 28 jours	35 MPa
Type de coulis pour injection	CEM I 42.5 ou 52.5
Enrobage annulaire minimum dans le forage	15 à 20 mm (y/c manchons)
Dosage du ciment	1200 kg/m^3 (1.8 ≤ Ciment / Eau < 2.2)
Densité	1.5<d<2.2
Viscosité	50s<Visco<80s
ACIER	
fyk limite élastique des aciers	Barres → HA Fe E500 (HA 500)
	Plaques → S235
BETON PROJETE	
Classe de béton	Béton projeté = C30/37
Type de béton	CEM III
fck résistance caractéristique à la compression à 28 jours	Béton projeté = 30 MPa
Enrobage minimum	5 cm
Dosage du ciment	350 kg/m^3
Ferraillage	Treillis ST25 C pour le béton projeté tous les 10 cm d'épaisseur
Barbacanes	PVC Ø80 mm, crépinés sur toute la longueur

12.3.4. Purges

Les purges manuelles se feront à la canne à purge et/ou au coussin pneumatique.

Les purges mécaniques se feront à la dent de déroctage ou à la fraise hydraulique, préférentiellement depuis le bas pour que le conducteur de l'engin ait une meilleure visualisation sur la zone des purges.

Toutes les dispositions nécessaires devront être prises pour ne pas risquer d'atteindre l'autoroute (barrière provisoire, condamnation de la voie lente à minima).

12.4. Détail des ouvrages

12.4.1. Dimension des terrassements

A titre indicatif, les caractéristiques des terrassements proposés sont les suivants :

Limite amont	Hauteur paroi basse (m)	Géométrie du déblai	Nombre de banquettes intermédiaire de 4 m de large (u)	Volume des déblais (m^3)
Bord parcelle (sans acquisition) foncière)	8.0	banquette 4m puis talus variable (<1H/1V) puis replat 4m	1	< 10 000

Ce cas implique les travaux suivants :

- Un traitement du banc marneux en pied de talus pour éviter son érosion et la formation de sous-cavage (béton projeté anti-érosion). Le traitement sera réalisé lorsque les pentes du talus sont supérieur à 3H/2V.
- Une cunette sur la banquette.

12.4.2. Nettoyage du banc en tête

Il s'agit d'un nettoyage du banc altéré en tête de la paroi du secteur 6.4 visant à le rendre plus lisse en retirant les instabilités surfaciques.

Le reprofilage sera fait à la fraise hydraulique ou au BRH :

- soit à l'aide d'une pelle à long bras disposée sur la plateforme autoroutière ou en pied de paroi (~4.0 m) ;
- soit à l'aide d'une pelle araignée dans le talus et positionnée en amont des terrassements à réaliser.
- L'objectif est de rendre la paroi lisse (terrassements superficiels de quelques décimètres à 1.0 m maximum)

Dans la mesure où les cadences de terrassements à la pelle araignée seront plus faible que si la fraise est mise sur une pelle de forte puissance, il semble opportun de privilégier le recours des engins lourds.

Pour des questions de sécurité, la pelle araignée devra toujours être amarrée et se positionnera toujours en amont des zones à terrasser.

12.4.3. Dimension du béton projeté anti-érosion pour le banc marneux dans les talus >3H/2V

Principe :

Le béton projeté anti-érosion est limité aux talus dont les pentes sont supérieures à 3H/2V soit 70 ml. A titre indicatif, les caractéristiques du béton projeté anti-érosion dans les sous-cavages sont les suivantes :

Instabilité (diffuse)	Béton projeté	Armature	Dimensions (L x H)	Ancrages	Barbacanes Ø80 mm	Surface (m²)
SC6.1	15 cm d'épaisseur	Treillis ST25C (enrobage 5 cm mini)	70 x 3.0*	48** ancrages Ø25 mm à 3 m Soit 144 ml	23	210

L'anti-érosion pourra être en continuité avec la cunette située sur la banquette.

*L'anti-érosion a été supposé comme homogène, d'une hauteur de 3.0 m.

**il a été considéré que tous les ancrages seraient doublés sur la verticale (quand anti-érosion >1.6 m).

Sujétions d'exécution et phasage :

- Réalisation des terrassements par fraisage hydraulique ou BRH ;
- Implantation des ouvrages et des ancrages (visite d'un géotechnicien G3/G4) ;
- Forage et scellement des ancrages ;
- Béton projeté ;
- Mise en place du grillage pendu et des lestes ;
- Nettoyage du pied de paroi.

12.4.4. Grillage pendu sur avaloir

Principe :

Mise en place d'un grillage pendu sur avaloir de 1.0 m sur l'ensemble de la paroi du secteur 6.

A titre indicatif, les dimensions du grillage pendu sont les suivantes :

	Dimensions grillage 100x120mm (m²)	Ancrages	H min talus (m)
Grillage 100x120mm	2200	93 ancrages de tête Ø32 mm à 3 m soit 279 ml forés et 93 ml hors sol	4.0

Le pied du grillage pendu sera situé à 1.5m du sol afin de ne pas gêner l'entretien des bords d'autoroute (passage de l'épareuse ou d'engin de curage).

Les grillages double torsion seront galvanisés classe A avec une maille de 100 x 120 mm et un fil de Ø3.0 mm.

Les câbles de rive seront réalisés avec des câbles de Ø12 mm. Les câbles de tête seront en Ø16 mm.

La fixation du grillage se fera par retournement sur 50 cm autour du câble de tête et des lestes de pied et sera ligaturé maille à maille.

Le grillage sera fixé en tête sur des ancrages Φ32 mm réhaussé d'au moins 1.0 m hors-sol (présence de talus à l'amont). Les ancrages seront forés de 3 mètres de longueur et réparti à raison de 1u tous les 3ml et aux changements de direction Des lestes sont prévus dans le bas du grillage ainsi que des ancrages à chaque changement de direction ou tous les 20 m.

Sujétions d'exécution et phasage :

- Implantation de l'ouvrage et des ancrages (visite d'un géotechnicien G3/G4) ;
- Forage et scellement des ancrages ;
- Mise en place des câbles de tête ;
- Pose du grillage ;
- Mise en place des câbles de rives ;
- Mise en place des lestes.

12.5. Essais sur boulon et sur coulis/béton

12.5.1. Essais de traction sur ancrages

Type	Nombre	Principe	Caractéristiques des boulons d'essai	Effort de traction	Norme
Convenance / démarrage du chantier	4	Déterminer un qs dans les grés massifs	A répartir sur le linéaire du chantier	90 % limite élastique des ancrages	XP P 94-444 Rocher
Contrôle / en cours de chantier	6	Valider la tenue des ancrages définitifs	A répartir sur le linéaire du chantier	Forfaitairement 125 kN (*)	XP P 94-444 Rocher

(*) Les ouvrages sont considérés comme anti-érosion et non comme des soutènements à proprement parlé. N'étant pas des ouvrages justifiés aux Eurocodes on cherchera à s'assurer que les ancrages sont capables de reprendre en frottement des efforts équivalant à la résistance propre des barres après corrosion (cf. § 12.2).

12.5.2. Essais de contrôle sur coulis

On prévoira 3 essais à répartir spatialement sur l'ensemble du chantier et sur toute sa durée.

La fourniture, la fabrication et la conservation des éprouvettes de coulis sont à la charge de l'entrepreneur, comme le transport au laboratoire de contrôle, l'exécution des essais et les procès-verbaux.

Les échantillons et les modes opératoires seront conformes aux prescriptions des recommandations Clouterre 91. Chaque prélèvement subira :

- 1 mesure de densité in-situ (balance baroïd + viscosité (Marsh)),
- 3 mesures de résistance à la compression simple à 7 jours, soit 3 éprouvettes à prélever,
- 3 mesures de résistance à la compression simple à 28 jours, soit 3 éprouvettes à prélever.

Chaque prélèvement comprendra donc un total de 6 éprouvettes.

Sur les PV fournis, figureront obligatoirement :

- la date de prélèvement,

- la date de réalisation de l'essai,
- la zone de travaux correspondant,
- les ouvrages correspondant à la même séance d'injection.

12.5.3. Essais de contrôle sur béton (anti-érosion)

On prévoira 3 essais à répartir spatialement sur l'ensemble du chantier et tout au long de la durée du chantier.

La fourniture, la fabrication et la conservation des éprouvettes de béton sont à la charge de l'entrepreneur, comme le transport au laboratoire de contrôle, l'exécution des essais et les procès-verbaux.

Il sera réalisé 3 caisses de 0.6 x 0.6 x 0.15 m dans lesquelles seront carottés des éprouvettes d'essais en compression à 2, 7 et 28j.

Pour réduire les effets du retrait (fissuration), la méthode, intégrée à la planche d'essai peut consister à l'aspersion d'eau ou de brouillard d'eau pendant une durée adaptée à la formule utilisée et aux conditions atmosphériques.

Chaque prélèvement subira :

- 1 mesure de densité in-situ (balance baroïd + viscosité (Marsh)) ;
- 3 mesures de résistance à la compression simple à 7 jours, soit 3 éprouvettes à prélever ;
- 3 mesures de résistance à la compression simple à 28 jours, soit 3 éprouvettes à prélever.

Chaque prélèvement comprendra donc un total de 6 éprouvettes.

Sur les PV fournis, figureront obligatoirement :

- la date de prélèvement ;
- la date de réalisation de l'essai ;
- la zone de travaux correspondant ;
- les ouvrages correspondant à la même séance d'injection.

Les PV devront être soumis au maitre d'œuvre pour validation.

12.6. Entretien

Les ouvrages devront faire l'objet d'un entretien régulier. Une visite de contrôle devra être réalisée après les épisodes météorologiques défavorables (pluie de forte intensité et/ou de longue durée), afin de contrôler les ouvrages, constater les éventuels dégâts et si besoin définir des travaux de réparation.

13. GESTION DE L'EAU SOLUTION

Principe :

Mise en place d'un système de drainage en tête de paroi, en pied et sur la banquette intermédiaire.

L'objectif est d'éviter l'érosion des parois rocheuses par un système de drainage permettant de limiter le ruissellement sur les parois. Les plateformes de terrassements devront donc être orientées et nivelées en direction des cunettes. On s'assurera du bon réglage du fil d'eau afin de garantir des écoulements gravitaires. Le profil des cunettes devra permettre qu'elles restent circulables pour des engins d'entretien. Par ailleurs, des brises énergie seront à intégrer dès lors que les pentes en long dépassent 5 %.

Cunettes :

Type	Longueur (ml)		Principe
Cunette bétonnée en pied (accotement)	~ 300		Terrassement à la pelle mécanique + bétonnage avec treillis ST15C
Cunette bétonnée du haut	~ 310		
Cunette bétonnée sur la banquette intermédiaire	~ 172*		

* la cunette sur la banquette intermédiaire rejoindra la cunette du haut après les 172 ml de terrassement.

Le secteur 6 est bordé au nord et au sud par 2 talwegs qui incisent le versant sud-ouest situé à l'arrière de la paroi rocheuse. Ces talwegs rejoignent le cours d'eau « Le Courolle » situé au sud. Les cunettes pourront être redirigés vers ces talwegs (un ouvrage hydraulique existant a été identifié au nord).

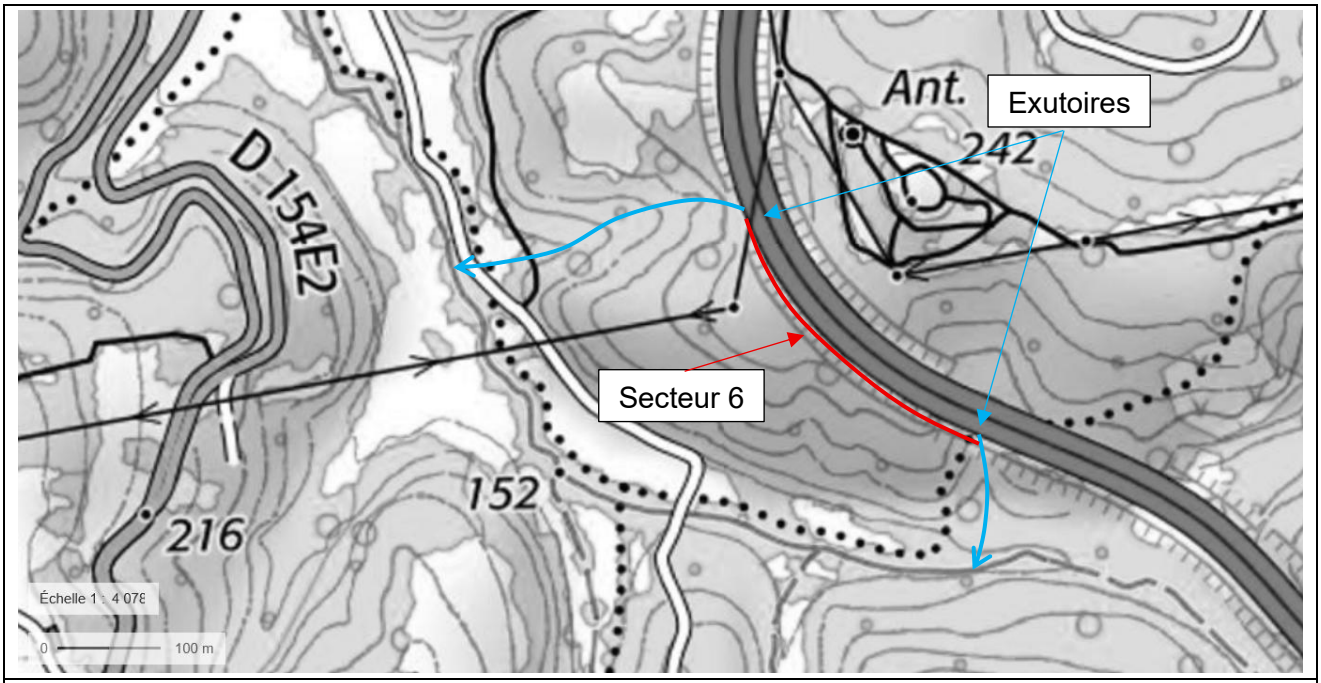


Figure 24 : Exutoires du drainage sur le secteur 6

Sujétions d'exécution et phasage :

- Terrassement à la pelle mécanique ;
- Mise en place du treillis ;
- Béton projeté ;
- Dispositif pour ralentir le flux pour les pentes > à 5% ;
- Nettoyage du pied de paroi ;

■■■

La Société SAGE se tient à votre disposition pour tout renseignement complémentaire ou assistance technique relative à cette étude.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Plan d'implantation des sondages
Annexe 2 : Résultats de la polarisation provoquée et ses annexes 1, 2, 3, 4, 5 et 6
Annexe 3 : Localisation des instabilités
Annexe 4 : Planches de la solution de terrassement
Annexe 5 : Planches de l'anti-érosion
Annexe 6 : Planches travaux du déflecteur
Annexe 7 : Planches travaux de gestion des eaux
Annexe 8 : Classification des missions géotechniques selon la NF P 94-500
Annexe 9 : Conditions générales de vente et d'utilisation de la SAGE

Annexe 1 : Plan d'implantation des sondages

Société Alpine de Géotechnique
Agence Haute-Garonne
7 rue de l'industrie
31320 Castanet-Tolosan
Tél.: 05 61 54 05 70
sage@sage-ingenierie.com

DIRCO

Falaises de Puyjarrige (19) - Autoroute A20

Echelle : 1/750e

Ref. dossier : 9096-J

Vue en plan de l'implantation des sondages - [Secteur 6]

Format A3 - 03/11/2025 - Dessin RP - Validation RH



Annexe 2 : Résultats de la polarisation provoquée et ses annexes 1, 2, 3, 4, 5 et 6

D.I.R.C.O

REALISATION D'INVESTIGATIONS GEOPHYSIQUES SUR LE SECTEUR 6 DE PUYJARRIGE

COMMUNE DE NOAILLES (19)

MESURES GEOPHYSIQUES

SOCIETE ALPINE DE GEOTECHNIQUE
2, rue de la Condamine – B.P. 17 - 38610 GIERES
☎ 04.76.44.75.72

n°RP	Ind.	Date	Commentaires	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
S31-0986-j	A	27/04/2026	Établissement du rapport	L. Fabre	R.Huyghe	L. Lorier
	B					
	C					

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 4
2. CONTEXTE GENERAL 6
   2.1. DESCRIPTION DU SITE 6
   2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE 7
3. ACQUISITION ET METHODOLOGIE 8
   3.1. LOCALISATION DES PROFILS 8
   3.2. METHODOLOGIE 8
      3.2.1. Rappels méthode électrique et polarisation provoquée 8
         3.2.1.1. Traitement des données 9
         3.2.1.2. Méthodologie d'inversion et outils 10
         3.2.1.3. Paramètres d'acquisition 10
4. RESULTATS DES RECONNAISSANCES 11
   4.1. TOMOGRAPHIE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE ET DE POLARISATION PROVOQUEE 11
      4.1.1. Données et filtrage 11
      4.1.2. Résultats de l'inversion 11
5. CONCLUSIONS 14
   5.1. SYNTHESE GEOPHYSIQUE 14

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Conditions générales de vente
Annexe 2 : Plan d'implantation géophysique (profils de tomographie électrique et polarisation provoquée)
Annexe 3 : Cross Plot des données de résistivité
Annexe 4 : Cross Plot des données de chargeabilité
Annexe 5 : Profil PP01 de résistivité électrique
Annexe 6 : Profil PP01 de chargeabilité

1. INTRODUCTION

Client/demandeur :

Ministère de la transition écologique et solidaire
Direction Interdépartementale des Routes Centre-ouest
22, rue des Pénitents Blancs
87032 LIMOGES

Objet :

La **société SAGE** a été missionnée par la **DIRCO** pour réaliser des investigations géotechniques sur une portion de falaise rocheuse en bordure de l'autoroute A20 entre le PR 278+980 et le PR 279+140 (zone 6 secteur de Puyjarrige d'après le rapport G5/G2 AVP de 2015), sur la commune de Noailles (19).

Les investigations sont une tomographie de résistivité électrique et de polarisation provoquée.

Documents consultés :

- Banques de données générales
  - Carte IGN du secteur étudié au 1/25000ème,
  - Carte géologique du BRGM au 1/50 000ème.
  - Base de données géoscientifiques web du BRGM : site http://infoterre.brgm.fr
  - Base de données des risques sur le territoire : http://www.georisques.gouv.fr/

Conditions d'utilisation du rapport et annexes associées

Cette étude est la propriété du client : D.I.R.C.O. Elle ne peut être ni reproduite ni diffusée en dehors du consentement de ce dernier. Le rapport et ses annexes sont indissociables.

Nos conditions d'utilisation du rapport sont rappelées en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. En particulier :

- Ce document doit être transmis à l'ensemble des intervenants du projet. Toute modification apportée au projet ou à son environnement (aménagements de proximité, terrassements…) après l'étude nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission pour étudier son impact.
- L'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension.
- Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution et non détectés lors de la mission d'origine (failles, remblais anciens, karsts, venues d'eau, hétérogénéités localisées…), ainsi que tout incident survenu au cours des travaux (éboulements, glissement…), pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport géotechnique G2 ou G3, doivent immédiatement être signalés aux bureaux d'études géotechniques en charge du suivi géotechnique des travaux (missions G3 et G4) afin qu'ils en analysent les conséquences sur les conditions d'exécution et la conception de l'ouvrage.

2. CONTEXTE GENERAL

2.1. Description du site

La portion de l'autoroute A20 étudiée a été réalisée au début des années 1990.

Au niveau du linéaire concerné par cette étude, l'autoroute traverse une zone vallonnée. Elle a donc nécessité la réalisation de déblais au niveau de chaque relief rencontré à l'origine des falaises faisant l'objet de la présente étude. Ces falaises d'une hauteur de 10 à 20 m présentent d'une manière générale un fruit de 20 à 25° et ont parfois été réalisées en redans lorsque l'emprise foncière le permettait. Les terrassements ont été effectués à l'explosif, comme en témoigne les forages de pré-découpage encore visibles au niveau de certaines parois rocheuses (les moins érodées).

L'étude initiale [1] s'étend du PR277+500 au PR280+225 et couvre 7 secteurs de falaises distincts située de part et d'autre de l'autoroute (sens 1 = du nord vers le sud, sens 2 = du sud vers le nord). Dans ce rapport, nous nous intéresserons uniquement au secteur 6 (PR278+970 à 279+240) correspondant à une falaise de 270 ml du côté sens 1.

La falaise est de grande hauteur, constituée de grés avec des niveaux plus argileux en partie basse. Ces niveaux sont plus sujets à l'érosion et créent des sous-cavage des grés plus massif en amont.

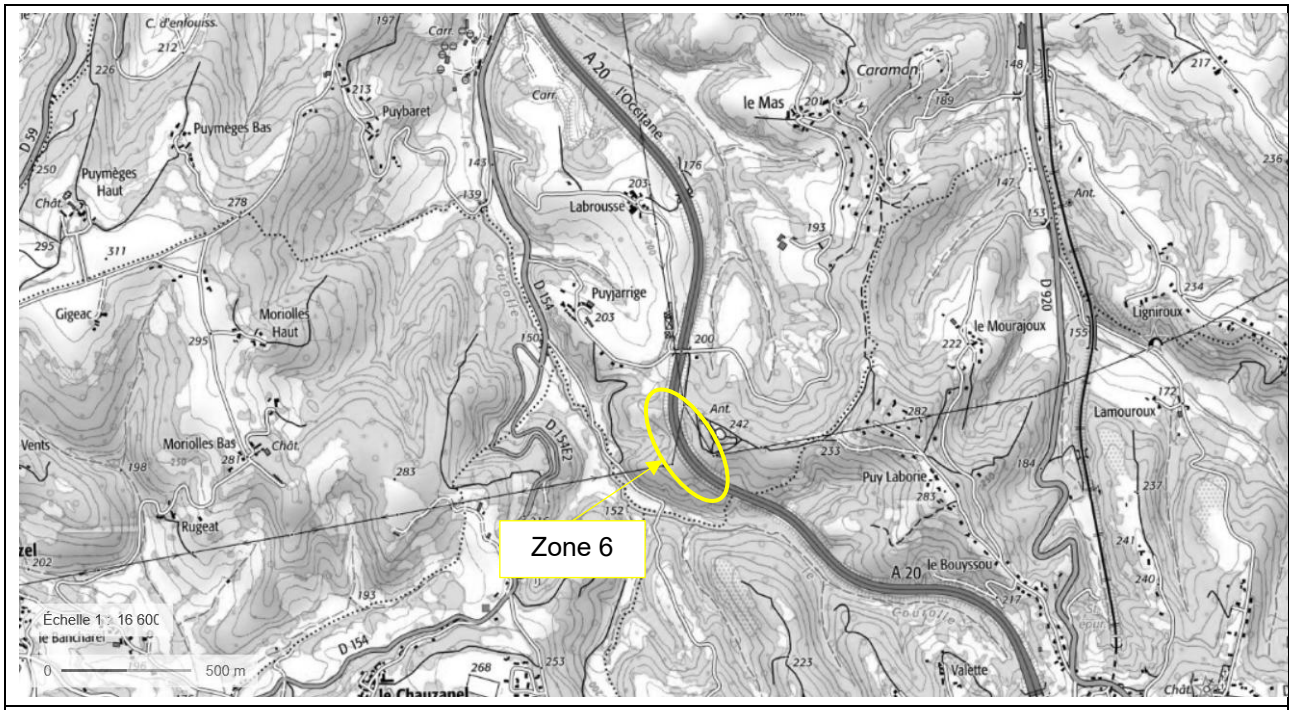


Figure 1 : Localisation du secteur 6 sur fond de plan IGN

Source : www.geoportail.gouv.fr

2.2. Contexte géologique

D'après la carte géologique du BRGM, la zone d'étude est située au droit de terrains sédimentaires de l'Hettangien (noté l1 sur la carte) constitués de grés grossier. Cette formation est sus-jacente à une formation du trias (notée t sur la carte) constituée de grés blancs et bariolés.

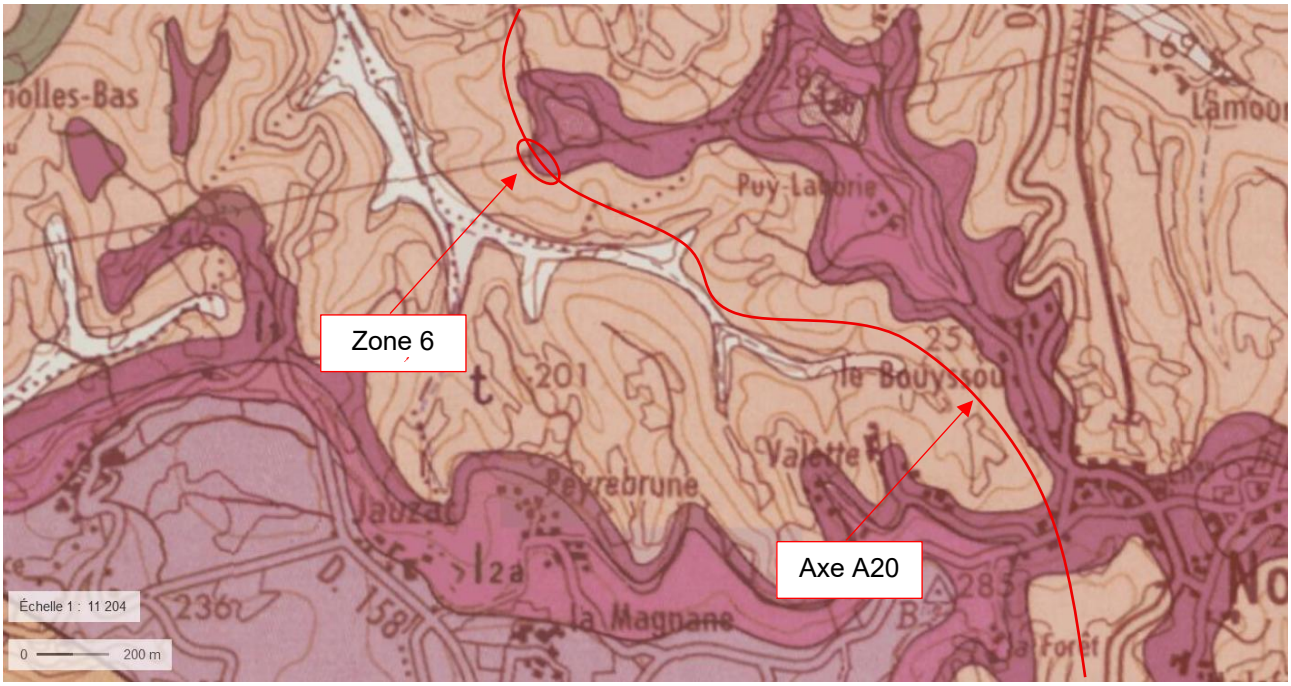


Figure 2 : Extrait de la carte géologique du BRGM - Feuille de BRIVE LA GAILLARDE

Source : http://infoterre.brgm.fr/

D'après le diagnostic de 2015, la formation de grés a été classée en plusieurs types ;

- Le grés de type 1, à la patine rougeâtre, faiblement argileux et sensible à l'érosion ;
- Le grés de type 2 à la patine beige clair, moins cimenté (friable) et sensible à l'érosion ;
- Le grés de type 3 à la patine grise, plus cimenté, sur lequel on constate encore la présence des forages de pré-découpage réalisés lors de la création de l'autoroute.

3. ACQUISITION ET METHODOLOGIE

3.1. Localisation des profils

Trois profils de résistivité électrique et de polarisation provoquée (ERT/PP) de 80 mètres linéaires avec un espacement de 1.25 m entre les électrodes ont été réalisés sur le site d'étude avec un recouvrement de moitié (40 mètres linéaires). Les flûtes de mesure ont été placées en quinconces afin d'augmenter la résolution à 0.625 m tout en gardant la même longueur du dispositif de mesure.

Pour la suite on représentera la profil global constitué des trois profils concaténé. Leur localisation est indiquée ci-dessous et sur le plan en Annexe 2 .

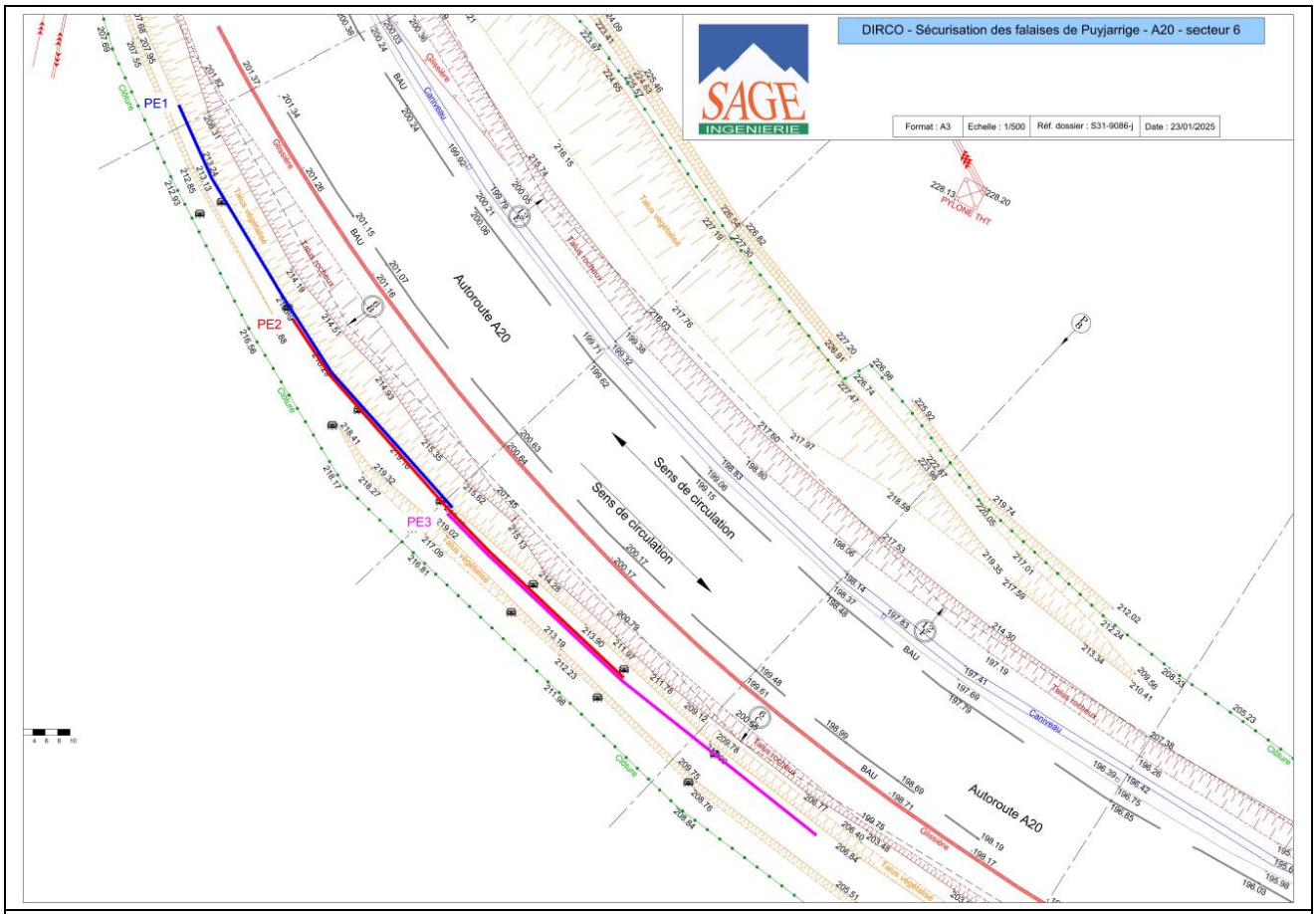


Figure 3 : localisation des profils électriques

Source : SAGE

3.2. Méthodologie

3.2.1. Rappels méthode électrique et polarisation provoquée

Les méthodes électriques consistent à mesurer la résistivité du sol. La plupart des sols et rochers conduisent l'électricité principalement par les mouvements des ions dans l'eau des pores. C'est pourquoi la porosité et la composition de l'eau dans les pores sont les facteurs majeurs qui contrôlent la résistivité d'un sol. La résistivité électrique est plus faible en présence d'eau, d'argile, de minéraux ou de polluants.

Bien que l'on préfère souvent une interprétation relative plutôt qu'une interprétation basée sur les valeurs absolues obtenues, deux facteurs peuvent être limitants en ce qui concerne l'interprétation des données :

- Ces interprétations générales partent du principe que la matrice rocheuse est un isolant électrique parfait. Or selon le contexte géologique cette hypothèse peut être fausse et mener à des erreurs d'interprétation ; c'est notamment le cas en présence d'argiles ou de particules argileuses ou de roches contenant des minéraux métalliques tels que de la pyrite.
- D'autre part les ordres de grandeurs de la résistivité de certaines roches poreuses remplies d'eau et d'argiles imperméables peuvent être similaires rendant les interprétations complexes.

La conductivité totale résulte de la conductivité ionique (associée aux ions en solution dans le fluide contenu dans les pores de la roche), de la conductivité interfaciale (contrôlée par les propriétés de surface de la matrice rocheuse) et la conductivité dite électronique (associée à la présence de conducteurs métalliques dans la matrice rocheuse). La roche peut aussi agir comme un condensateur du fait des phénomènes de polarisation associés. La polarisation de membrane est principalement causée par les minéraux argileux présents dans les roches qui agissent comme un piège à ions, l'effet est d'autant plus important que les pores sont petits. La polarisation d'électrode résulte de l'accumulation d'ions à la surface des particules métalliques. L'amplitude de cette dernière est bien supérieure à la polarisation de membrane.

La méthode de polarisation provoquée consiste à évaluer la capacité d'un sol à stocker de manière réversible des charges électriques, la variable mesurée est appelée chargeabilité et est exprimée en mV/V. On peut aussi choisir de représenter la chargeabilité dite normalisée exprimée en mS/m qui est notamment reliée à la teneur en argiles des sols dans le cas de matériaux exempts de particules métalliques. La polarisation provoquée vient ici compléter la méthode de tomographie électrique standard afin d'apporter des informations complémentaires sur la distribution de la taille des particules ainsi que sur la distribution des polluants.

Dans des contextes complexes, la méthode de polarisation provoquée peut permettre de discriminer par exemple entre des argiles imperméables et des éléments sableux très riches en eau. Elle peut aussi permettre d'identifier des polluant au sein de matériaux conducteurs comme des argiles ou des sables saturés.

Le principe de la méthode de mesure de polarisation provoquée en domaine temporel consiste à mesurer la décroissance du potentiel électrique après avoir coupé l'injection du courant électrique. Cette décroissance est le reflet des effets de polarisation qui ont lieu dans la roche/le sol. L'amplitude du courant résiduel et la forme de la décroissance sont le reflet des propriétés de polarisation du milieu. Ils peuvent être expliqués par différents modèles dont la décomposition de Debye (Tarasov et Titov 2007, Martin 2021). Ces modèles permettent d'extraire notamment la chargeabilité intrinsèque du matériau ainsi qu'une constante de temps de relaxation. Le premier paramètre caractérise l'ampleur du phénomène de polarisation, le second est relié à la taille des grains, la porosité, la conductivité des fluides et aux éventuelles particules métalliques.

3.2.1.1. Traitement des données

Le filtrage et l'inversion des données sont réalisés avec les programmes Python développés par la SAGE sur la base des outils PYGIMLI et PYBERT. Cela permet notamment de travailler en 3 dimensions afin de prendre en compte les spécificités de la topographie du terrain.

Lors du filtrage, on enlève les valeurs extrêmes, les valeurs négatives ou les valeurs qui ne montrent pas de cohérence avec les valeurs voisines. Concernant les mesures de polarisation provoquée, les valeurs de chargeabilité négatives ainsi que les valeurs associées à des courbes de décroissance du potentiel électrique qui ne présentent pas la forme d'une exponentielle décroissante ou qui ne présentent pas une décroissance monotone sont éliminées du jeu de données.

3.2.1.2. Méthodologie d'inversion et outils

L'inversion des données de résistivité et de chargeabilité apparentes permet d'obtenir des modèles de résistivité et de chargeabilité vraies. L'inversion est réalisée à partir des outils développés à la SAGE sur la base des outils python PyBERT et PyGIMLI. Ces outils permettent notamment de travailler en 3 dimensions afin d'intégrer au mieux les spécificités du terrain et l'ensemble des profils. La méthode d'inversion est basée sur une optimisation par moindre carrés généralisée (Rücker 2017).

La qualité finale des modèles obtenus après inversion des données est évaluée via l'écart entre les données observées et les données calculée (RMS) ainsi que via le critère statistique du χ^2 (inférieur à 10). Une courbe dite de cross-plot représentant les données observées en fonction des données calculée est représentée et la couverture/résolution est calculée.

3.2.1.3. Paramètres d'acquisition

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un Terrameter LS2 (ABEM) branché sur une batterie de 12 V. Les électrodes utilisées sont des électrodes en inox de 40 cm de longueur et 1 cm de diamètre, enfoncées d'environ 20 cm dans le sol.

Les mesures ont été réalisées en mode d'acquisition IP100% sur des créneaux d'une durée de 7 s. Les mesures de résistivités sont réalisées sur une durée de 200ms. Les données de chargeabilité sont enregistrées sur 20 pas de temps après un délais de 50 ms. Le courant injecté est compris entre 10 et 200 mA. Les mesures sont moyennées sur 4 répétitions.

Le protocole utilisé est un protocole spécifique en gradient multiple (combinant des mesures en dipole-dipole et des mesures en Wenner-Schlumberger) permettant de séparer les câbles utilisés pour l'injection de ceux utilisés pour mesurer le potentiel afin de minimiser l'importance des différentes sources de bruit sur les données telles que les couplages électromagnétiques entre les dipôles d'injection et de mesure ou les couplages électromagnétiques au sein des câbles.

4. RESULTATS DES RECONNAISSANCES

4.1. Tomographie de résistivité électrique et de polarisation provoquée

4.1.1. Données et filtrage

Les mesures de tomographie électriques ont été réalisées en janvier 2025.

Après filtrage 3097/3138 données de résistivité et 2788/3138 des données de chargeabilité sont conservées pour l'inversion, soit 98.7% et 88.8% du jeu de données ce qui est très satisfaisant.

Les valeurs de résistivité apparente sont comprises entre 0 et 1400 Ohm.m, les valeurs de chargeabilité apparente au premier pas de temps sont comprises entre 0 et 70 mV/V.

4.1.2. Résultats de l'inversion

Les 3 profils sont inversés simultanément en 3 dimensions afin de générer un modèle unique et cohérent de résistivité et chargeabilité. Une décomposition de Debye est appliquée aux résultats afin d'extraire les caractéristiques de décharge électrique du milieu (constante de temps de relaxation, chargeabilité intrinsèque).

Les résultats de l'inversion sont corrects et présentent une RMS de 2.2% pour les données de résistivité et une RMS de 7.8% pour les données de chargeabilité.

La représentation des cross-plot (cf. exemples en Annexe 3 et Annexe 4) confirme que les résultats de l'inversion sont satisfaisants pour la résistivité et pour la chargeabilité.

Les modèles obtenus pour les différentes variables issues de l'inversion sont présentés ci-dessous et en Annexes 5 et 6.

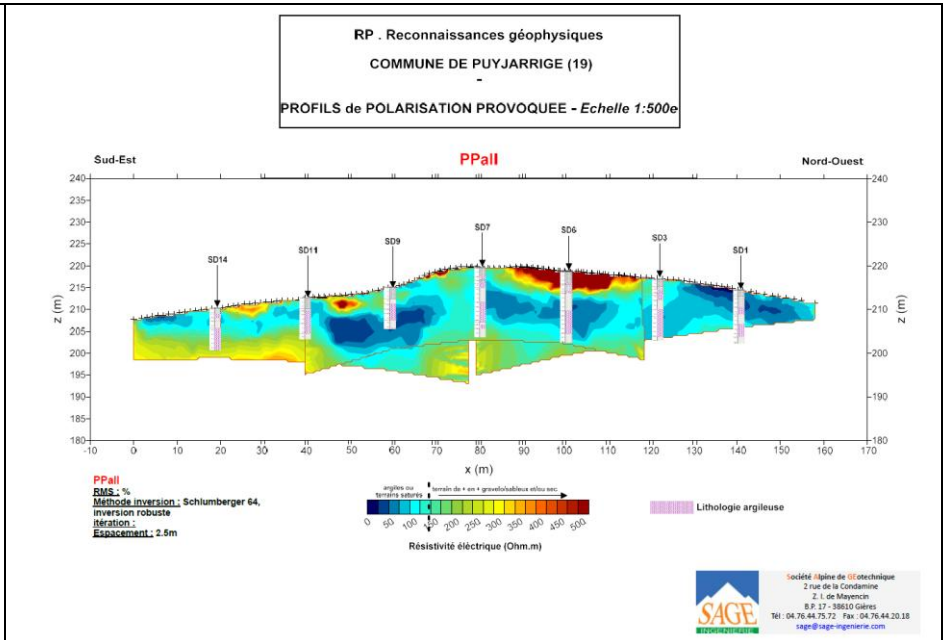
PP01 (profil de résistivité) :

Le profil de résistivité met en évidence une organisation globalement stratifiée des formations, avec des variations verticales marquées.

En surface, les résistivités sont généralement faibles à modérées, traduisant des formations altérées à relativement conductrices, compatibles avec des matériaux argilo-sableux et/ou des horizons remaniés, possiblement influencés par la teneur en eau.

Dans la partie intermédiaire, on observe une dominance de faibles résistivités, parfois entrecoupées de niveaux légèrement plus résistifs. Cet horizon correspond à un niveau majoritairement argileux, relativement continu, pouvant présenter certaine hétérogénéités locales.

En profondeur, une augmentation progressive des résistivités est localement observée, traduisant un passage vers des formations plus compactes et moins conductrices, compatibles avec des matériaux plus grossiers de type sableux à gréseux ou un substratum plus consolidé.



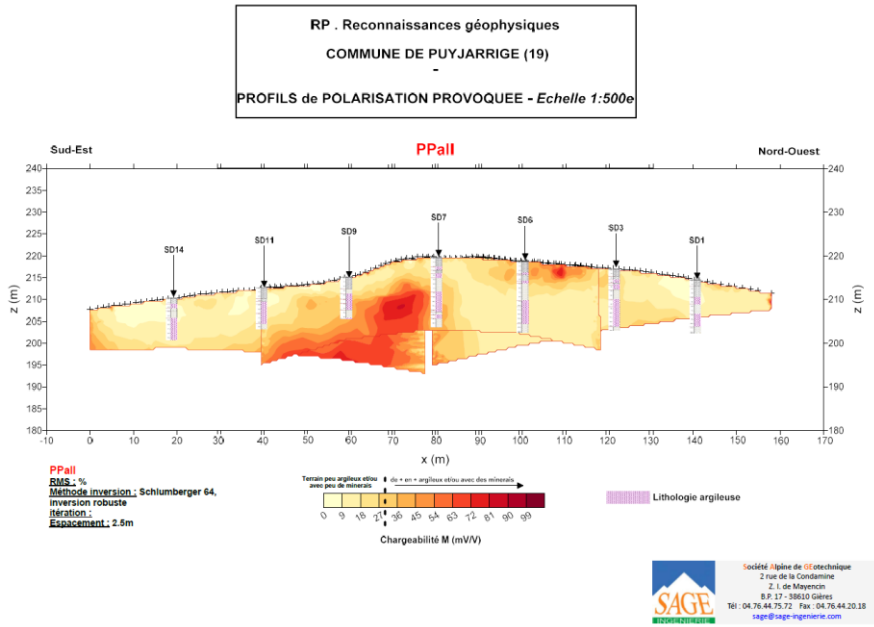
PP01 (profil de chargeabilité) :

Le profil de chargeabilité met en évidence une structuration verticale contrastée, directement liée à la nature des formations et à leur teneur en éléments fins polarisables.

En surface, les valeurs de chargeabilité sont globalement faibles à modérées, traduisant des horizons altérés ou remaniés, généralement moins riches en particules argileuses ou en minéraux métalliques marquées.

Dans la partie intermédiaire, on observe une augmentation nette et localisée de la chargeabilité, avec la présence d'un horizon à forte réponse IP. Ce niveau correspond à un horizon argileux bien développé, caractérisé par une forte capacité de polarisation, traduisant une teneur élevée en particules fines et une continuité latérale relativement importante sur 40 mètres.

En profondeur, la chargeabilité diminue globalement pour redevenir faible à modérée, indiquant un passage vers des formations moins argileuses et moins polarisables, compatibles avec des niveaux sableux à gréseux ou un substratum plus grossier et compact. En revanche entre le PM 40 et 80 on garde une forte chargeabilité au sein de la zone considéré comme une couche plutôt gréseuse. Cette anomalie peut être expliqué par la présence de minéraux métalliques plus important dans la composition de la roche dans cette zone.



5. CONCLUSIONS

5.1. Synthèse géophysique

L'analyse croisée des profils de résistivité et de chargeabilité met en évidence une structuration verticale et latérale cohérente du sous-sol. Un horizon argileux principal est identifié en position intermédiaire, caractérisé par des faibles résistivités et des fortes chargeabilités, traduisant un niveau continu, peu perméable et riche en particules fines. En surface, les signatures géophysiques indiquent des formations altérées argilo-sableuses, tandis qu'en profondeur, l'augmentation relative de la résistivité associée à une baisse de chargeabilité traduit le passage à des formations plus grossières de type sableux à gréseux, potentiellement plus perméables. Une zone entre le PM40 et 80 présente en profondeur une forte chargeabilité qui peut s'expliquer par la présence de particules métallique dans la composition de l'horizon géologique. L'ensemble décrit une organisation en trois unités principales, avec une transition progressive entre faciès fins et faciès plus grossiers.

Unité	Profondeur (m)	Cote approx. (m NGF)	Résistivité ρ (Ω·m)	Chargeabilité M (mV/V)	Interprétation
U1 – surface	0 à 2–5 m	~215 à 212 m	Très variables	5 – 20	Argilo-sableux altéré, remanié
U2 – intermédiaire (argiles)	~5 à 20 m	~212 à 195 m	5 – 100	30 – 90	Horizon argileux continu, peu perméable
U3 – substratum (grès)	>20 m	<195	120 – 400+	2 – 15	Sables compacts à grès, plus perméables

■ ■ ■

La Société SAGE se tient à votre disposition pour tout renseignement complémentaire ou assistance technique relative à cette étude.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Conditions générales de vente
Annexe 2 : Plan d'implantation géophysique (profils de tomographie électrique et polarisation provoquée)
Annexe 3 : Cross Plot des données de résistivité
Annexe 4 : Cross Plot des données de chargeabilité
Annexe 5 : Profil PP01 de résistivité électrique
Annexe 6 : Profil PP01 de chargeabilité

Annexe 1 : Conditions générales de vente

1. Régime général et cadre des missions

Les présentes Conditions Générales de Vente et d'utilisation (CGVU) s'appliquent sous réserve des conditions particulières figurant sur les devis établis par la SAGE pour chaque prestation demandée. L'acceptation de l'offre forme contrat et entraine l'acceptation automatique des présentes CGVU.

La commande sera effectivement prise en compte à la réception de l'offre datée et signée (devis ou commande datée, signée et cachet pour une entreprise ou une collectivité).

La SAGE réalise la mission dans les strictes limites de sa définition donnée dans son offre (validité limitée à trois mois à compter de la date de son établissement) et confirmée par le bon de commande signé du Client. Toute prestation différente de celles prévues fera l'objet d'une demande spécifique et éventuellement d'une négociation.

Les missions géotechniques sont réglementées et normalisées selon la Norme NFP 94-500, réactualisée en 2013, dont un extrait est joint à l'offre et au rapport que le client déclare connaître et accepter. Par référence à cette norme, il appartient au Maître d'Ouvrage, au Maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet.

L'obligation de la SAGE est une obligation de moyens et non de résultat au sens de la jurisprudence actuelle des tribunaux. Il est donc entendu que la SAGE s'engage à procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre. Pour mener à bien ses missions, la SAGE est membre de l'USG (Union Syndicale Géotechnique), de l'AGAP (agrément obtenu pour la Sismique Réfraction et le Radar) et de MASE. Elle détient les qualifications géotechniques de l'OPQIBI et les agréments (n°26) pour les études, l'auscultation et le suivi de travaux pour les digues et barrages de classe C.

2. Limites des missions

Si une mission d'investigations est commandée seule (hors prestation d'ingénierie), elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude ou de conseil.

La mission G1 (phases ES et PGC) est une étude géotechnique préliminaire, permettant d'identifier les risques et de donner les principes généraux de construction destinés à réduire les conséquences des risques. Cette mission exclut tout dimensionnement et toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entrent dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (G2).

La mission G2 (phases AVP, PRO et DCE/ACT) est une mission de conception qui permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Nous rappelons qu'une mission G2 AVP ne peut servir directement à l'établissement d'un DCE et que les notes de calcul de dimensionnement ainsi que l'estimation des quantités et coûts des ouvrages géotechniques font partie de la mission G2 phase PRO.

La mission G3 est une mission d'étude et de suivi géotechniques d'exécution qui permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT fournie par la Maitrise d'Ouvrage.

La mission G4, de supervision d'exécution, permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission G3. Elle est à la charge du Maître d'Ouvrage et est réalisée en collaboration avec la Maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Nous rappelons que les missions G2 doivent être suivies d'une mission G4 en phase travaux. Si la SAGE n'est pas mandatée pour la mission G4, les documents établis au cours des travaux ne lui seront pas opposables, ainsi que les éventuels désordres survenus sur les ouvrages en cours de chantier.

La mission de diagnostic géotechnique G5 est ponctuelle et limitée à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage. Elle engage la SAGE uniquement dans le cadre strict des objectifs fixés dans le devis.

La mission et les investigations éventuelles réalisées par la SAGE sont strictement géotechniques et n'abordent pas le contexte environnemental. Seule une étude environnementale spécifique comprenant des investigations adaptées permettra de détecter une éventuelle contamination des sols et/ou des eaux souterraines.

3. Plans et documents contractuels

La SAGE réalise la mission conformément à la réglementation en vigueur lors de son offre, sur la base des données communiquées par le Client. Le Client est seul responsable de l'exactitude de ces données. En cas d'absence de transmission ou d'erreur sur ces données, la SAGE ne peut en être tenue responsable.

Par ailleurs, toute modification apportée au projet ou à son environnement (aménagements de proximité, terrassements, déboisage…) au cours ou après l'étude nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission.

4. Formalités, autorisations et obligations d'information, accès, dégâts aux ouvrages et cultures

Toutes les démarches et formalités administratives ou autres, en particulier l'obtention de l'autorisation de pénétrer sur les lieux pour effectuer des prestations de la mission sont à la charge du Client. Le Client se charge d'obtenir et de communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires à la SAGE en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public. Par ailleurs, il devra fournir tous les documents relatifs aux dangers et aux risques cachés, notamment ceux liés aux réseaux, aux obstacles enterrés et à la pollution des sols et des nappes.

Le Client s'engage à communiquer les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement : il assure en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui de la SAGE, entrant dans ses domaines, préalablement à l'exécution de la mission. Le Client sera tenu responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel dû à une spécificité du site connue de lui et non clairement indiquée à la SAGE avant toutes interventions. En cas de coactivité sur site, le Client se doit ainsi d'avertir la SAGE.

Sauf spécifications particulières, la SAGE ne pourra intervenir, faire des observations géologiques et donner un avis géotechnique que sur les zones ayant fait l'objet d'un débroussaillage et/ou d'un dégagement préalable à la charge du client. Les zones non expertisées du fait d'une non accessibilité ne pourraient être opposables à la SAGE.

Toute modification des conditions d'accès connues au moment de l'établissement du devis devra être discutée avec le Client et pourra faire l'objet d'une facturation complémentaire.

Les investigations peuvent entraîner des dommages sur le site, en particulier sur la végétation et les cultures, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part du personnel de la SAGE. Les remises en état, réparations ou indemnisations correspondantes seront discutées avec le Client et pourront faire l'objet d'une facturation complémentaire.

5. **Déclarations obligatoires à la charge du Client, (DT, DICT, ouvrages exécutés)**

Conformément au décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité des ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution, le Client doit fournir, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux et des ouvrages souterrains privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre à la SAGE l'établissement des DICT (le délai de réponse est de 10 jours ouvrés) et pour connaitre l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles pour les repérer.

En l'absence de DT effectuée par le Maitre d'Ouvrage, la SAGE réalisera une DT/DICT conjointe, démarche considérée comme acceptée par le client à la signature du bon de commande.

La responsabilité de la SAGE ne saurait être engagée en cas de dommages à des ouvrages privés (en particulier, ouvrages enterrés et canalisations) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit par le client préalablement à sa mission.

6. Recommandations, aléas, écart entre prévision de l'étude et réalité en cours de travaux

Si, en l'absence de plans ou documents précis concernant des ouvrages projetés, la SAGE a été amenée a à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Client de les valider par écrit ou de notifier ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour quelque raison que ce soit lui être reproché d'avoir établi son étude dans ces conditions. Cette validation devra être réalisée dans les 15 jours après la remise du rapport.

Il est précisé que l'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension.

Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution et non détectés lors de la mission d'origine (failles, remblais anciens, karsts, venues d'eau, hétérogénéités localisées…), ainsi que tout incident survenu au cours des travaux (éboulements, glissement…), pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport géotechnique G2 ou G3, doivent immédiatement être signalés aux bureaux d'études géotechniques en charge du suivi géotechnique des travaux (missions G3 et G4) afin qu'ils en analysent les conséquences sur les conditions d'exécution et la conception de l'ouvrage.

Si un caractère évolutif particulier a été mis en évidence lors d'une phase d'étude (notamment glissement, érosion, dissolution, matériaux évolutifs, …), les recommandations et conclusions du rapport doivent être réactualisées à chaque étape suivante de la conception ou de l'exécution. En effet, ce caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations et rendre caduques les conclusions notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

7. Hydrogéologie

Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport géotechnique correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et à un moment précis. En dépit de la qualité de l'étude, la SAGE ne peut être tenue responsable de la non connaissance de la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux, les cotes de crue et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

8. Réception des études, fin de mission, délais de validation des documents par le client

A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du dernier document à fournir dans le cadre de la mission fixe le terme de la mission. L'approbation doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client et est considérée implicite en cas de silence. La fin de la mission donne lieu au paiement du solde de la mission.

9. Conditions d'utilisation du rapport

Le rapport constitue une synthèse de la mission géotechnique définie par la commande. Le rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou utilisation par un autre Maître d'Ouvrage, un autre constructeur ou Maître d'œuvre, ou pour un projet différent de celui objet de la mission, ne saurait engager la responsabilité de la SAGE et pourra entraîner des poursuites judiciaires.

Rappel : Toute modification apportée au projet et à son environnement, ou tout élément nouveau mis à jour au cours des travaux et non détecté lors de la mission d'origine, ainsi que tout incident survenu au cours des travaux, doit être signalé à la SAGE et nécessite une adaptation/mise à jour du rapport initial dans le cadre d'une nouvelle mission. Il en va de même pour toute modification du cadre normatif.

10. Réserve de propriété, confidentialité, propriétés intellectuelles

Les coupes de sondages, plans et documents établis par la SAGE dans le cadre de sa mission ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne devient propriétaire des prestations réalisées par la SAGE qu'après règlement intégral des sommes dues. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour son propre compte ou celui de tiers toute information se rapportant au savoir-faire de la SAGE, qu'il soit breveté ou non, portée à sa connaissance au cours de la mission et qui n'est pas dans le domaine public, sauf accord préalable de la SAGE.

11. Conditions d'établissement des prix

Les prix unitaires s'entendent hors taxes. Ils sont majorés de la T.V.A. au taux en vigueur le jour de la facturation. Ils sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement de l'offre. Ils sont fermes et définitifs pour une durée de trois mois.

Nos montants intègrent les frais d'assurances professionnelles présentées ci-après.

12. Assurances

La SAGE est couverte par un contrat d'assurance professionnelle souscrit auprès de SMA SA, garantissant les responsabilités décennale et civile professionnelle pour des constructions dont le coût total HT est inférieur à 26 000 000 € et dans le cadre des missions professionnelles G1 à G5 et /ou de Maitrise d'œuvre conception-réalisation et/ou d'expertises.

Annexe 2 : Plan d'implantation géophysique (profils de tomographie électrique et polarisation provoquée)

Société Alpine de Géotechnique
Agence Haute-Garonne
7 rue de l'industrie
31320 Castanet-Tolosan
Tél.: 05 61 54 05 70
sage@sage-ingenierie.com

DIRCO

Falaises de Puyjarrige (19) - Autoroute A20

Echelle : 1/750e

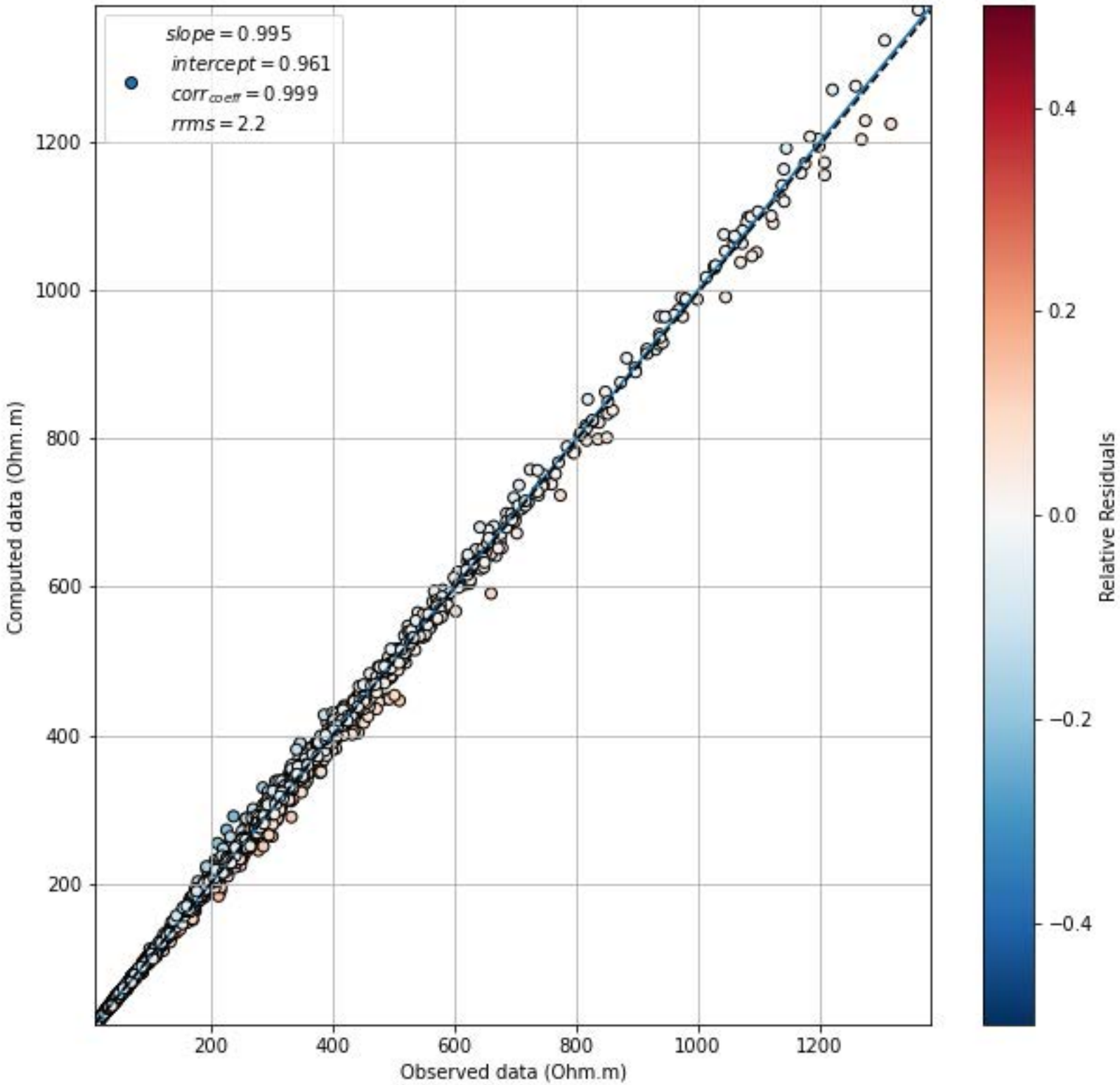
Ref. dossier : 9096-J

Vue en plan de l'implantation des sondages - [Secteur 6]

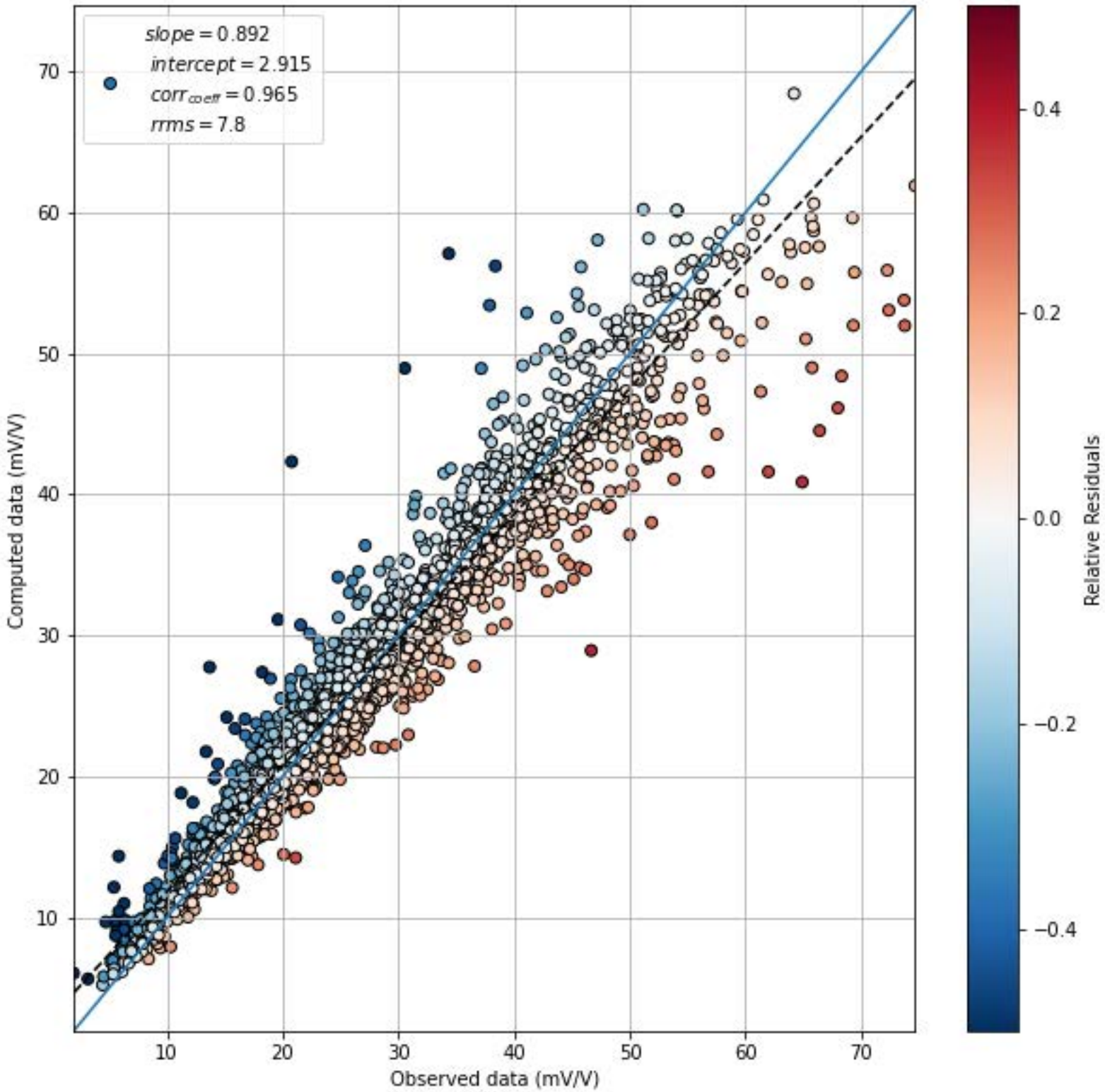
Format A3 - 03/11/2025 - Dessin RP - Validation RH



Annexe 3 : Cross Plot des données de résistivité


slope = 0.995
intercept = 0.961
corr_coeff = 0.999
rrms = 2.2
Computed data (Ohm.m)
Observed data (Ohm.m)
Relative Residuals
200
400
600
800
1000
1200
0.4
0.2
0.0
−0.2
−0.4

Annexe 4 : Cross Plot des données de chargeabilité


slope = 0.892
intercept = 2.915
corr_coeff = 0.965
rrms = 7.8
Computed data (mV/V)
Observed data (mV/V)
Relative Residuals
10
20
30
40
50
60
70
0.4
0.2
0.0
−0.2
−0.4

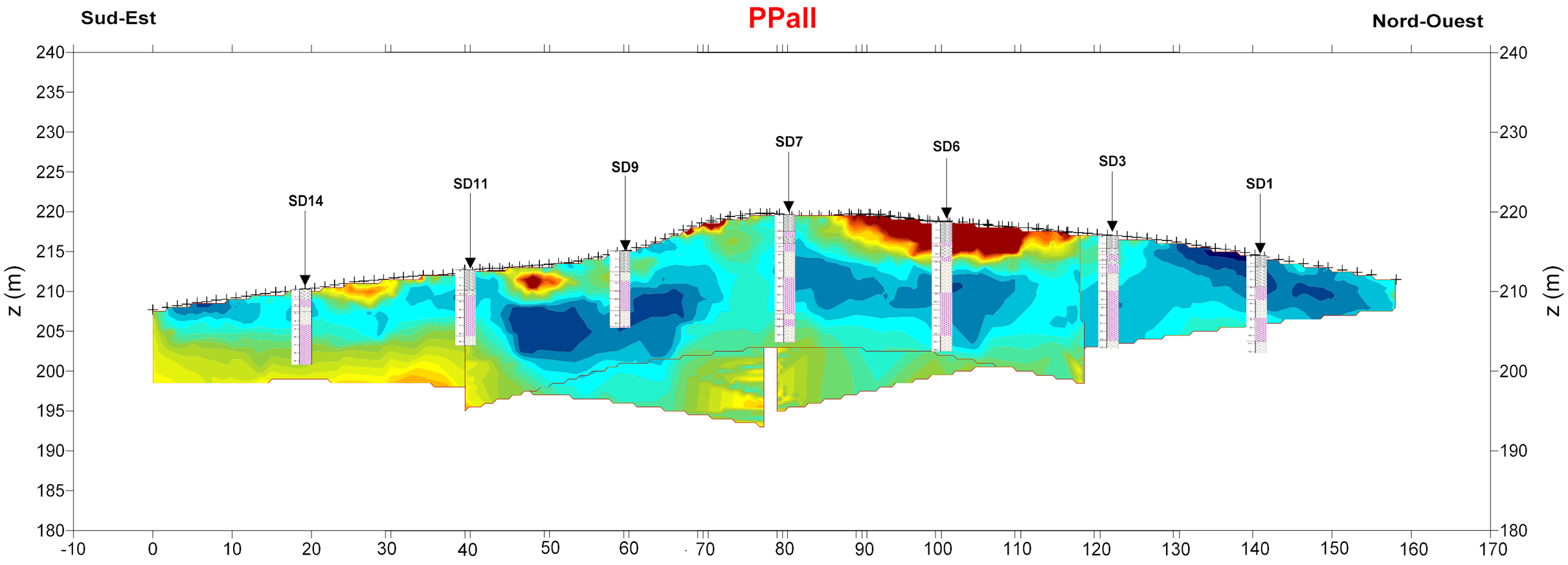
Annexe 5 : Profil PP01 de résistivité électrique

RP . Reconnaissances géophysiques

COMMUNE DE PUYJARRIGE (19)

-

PROFILS de POLARISATION PROVOQUEE - *Echelle 1:500e*



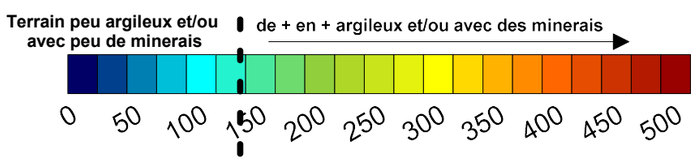
PPall

RMS : 2.2%

Méthode inversion : Schlumberger 64, inversion robuste

itération :

Espacement : 1.25m



Lithologie argileuse

Société Alpine de GEotechnique
2 rue de la Condamine
Z. I. de Mayencin
B.P. 17 - 38610 Gières
Tél : 04.76.44.75.72 Fax : 04.76.44.20.18
sage@sage-ingenierie.com

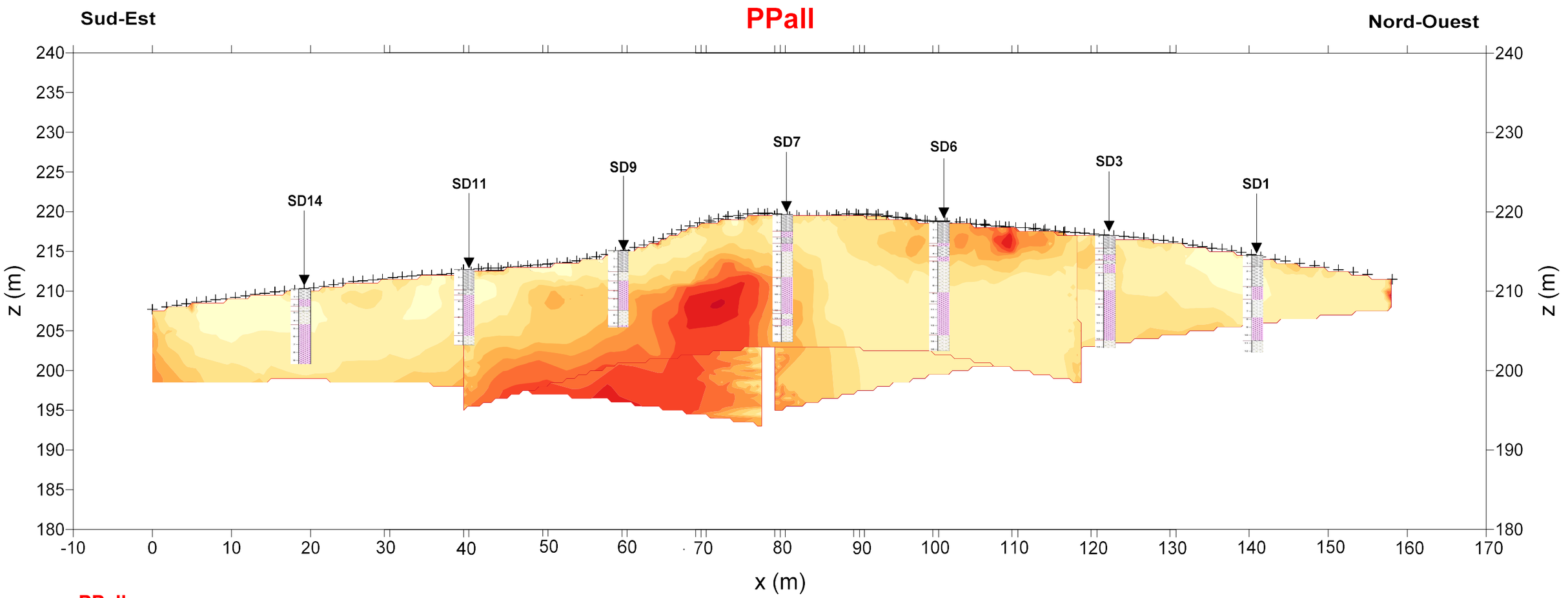
Annexe 6 : Profil PP01 de chargeabilité

RP . Reconnaissances géophysiques

COMMUNE DE PUYJARRIGE (19)

-

PROFILS de POLARISATION PROVOQUEE - *Echelle 1:500e*



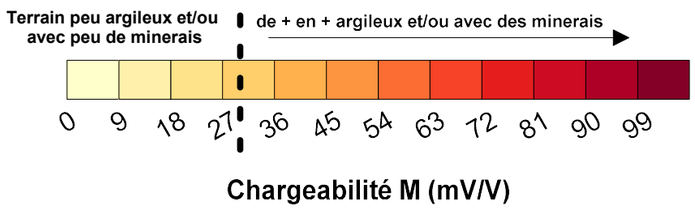
PPall

RMS : 7.6%

Méthode inversion : Schlumberger 64, inversion robuste

itération :

Espacement : 1.25m



Lithologie argileuse

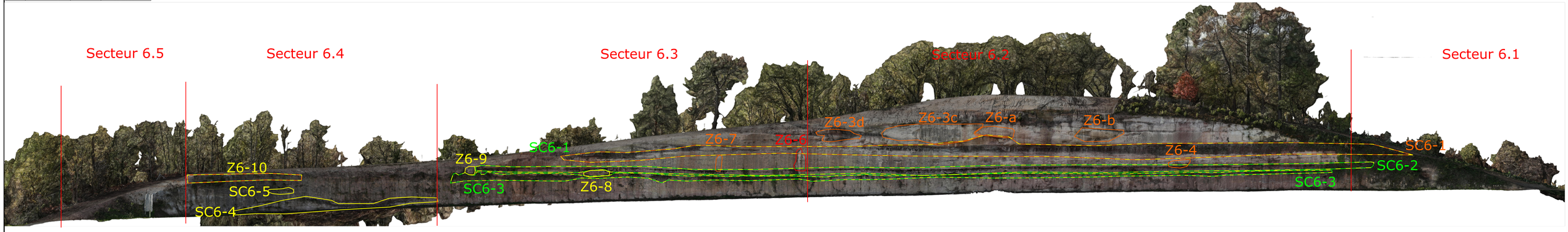
Société Alpine de GEotechnique
2 rue de la Condamine
Z. I. de Mayencin
B.P. 17 - 38610 Gières
Tél : 04.76.44.75.72 Fax : 04.76.44.20.18
sage@sage-ingenierie.com

Annexe 3 : Localisation des instabilités

DIRCO - PUYJARRIGE - Secteur 6
Etude aléa chute de bloc et sécurisation

RP.9086-J	G2PRO	01/2026

Secteur 6 - Km 278+980 à 279+140 - Instabilités



Echelle d'aléa de départ :

Très faible | Faible | Moyen | Elevé | Très élevé

Annexe 4 : Planches de la solution de terrassement

Société Alpine de Géotechnique
Agence Haute-Garonne
7 rue de l'industrie
31320 Castanet-Tolosan
Tél.: 05 61 54 05 70
sage@sage-ingenierie.com

DIRCO

A20 Zone de Puyjarrige - Secteur 6 :
Solution - Bord parcelle sans acquisition foncières

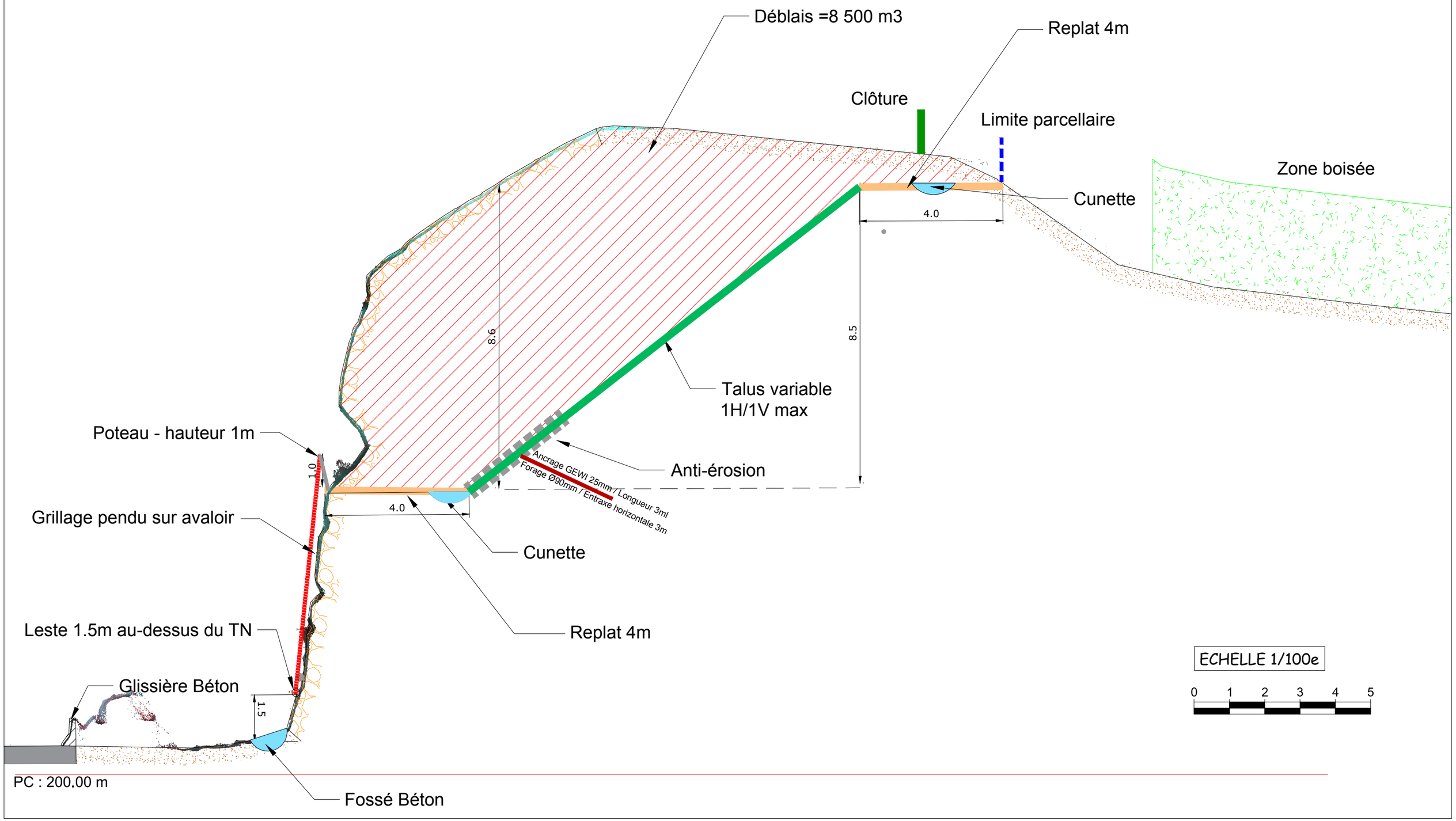
Echelle : 1/100e

Ref. dossier : S31-9086

Vue en coupe :
Cas "4m/talus variable /4m"

22/07/2026 - Dessin RP - Validation RH

Pente talus inférieure à 1H/1V et supérieure à 3H/2V



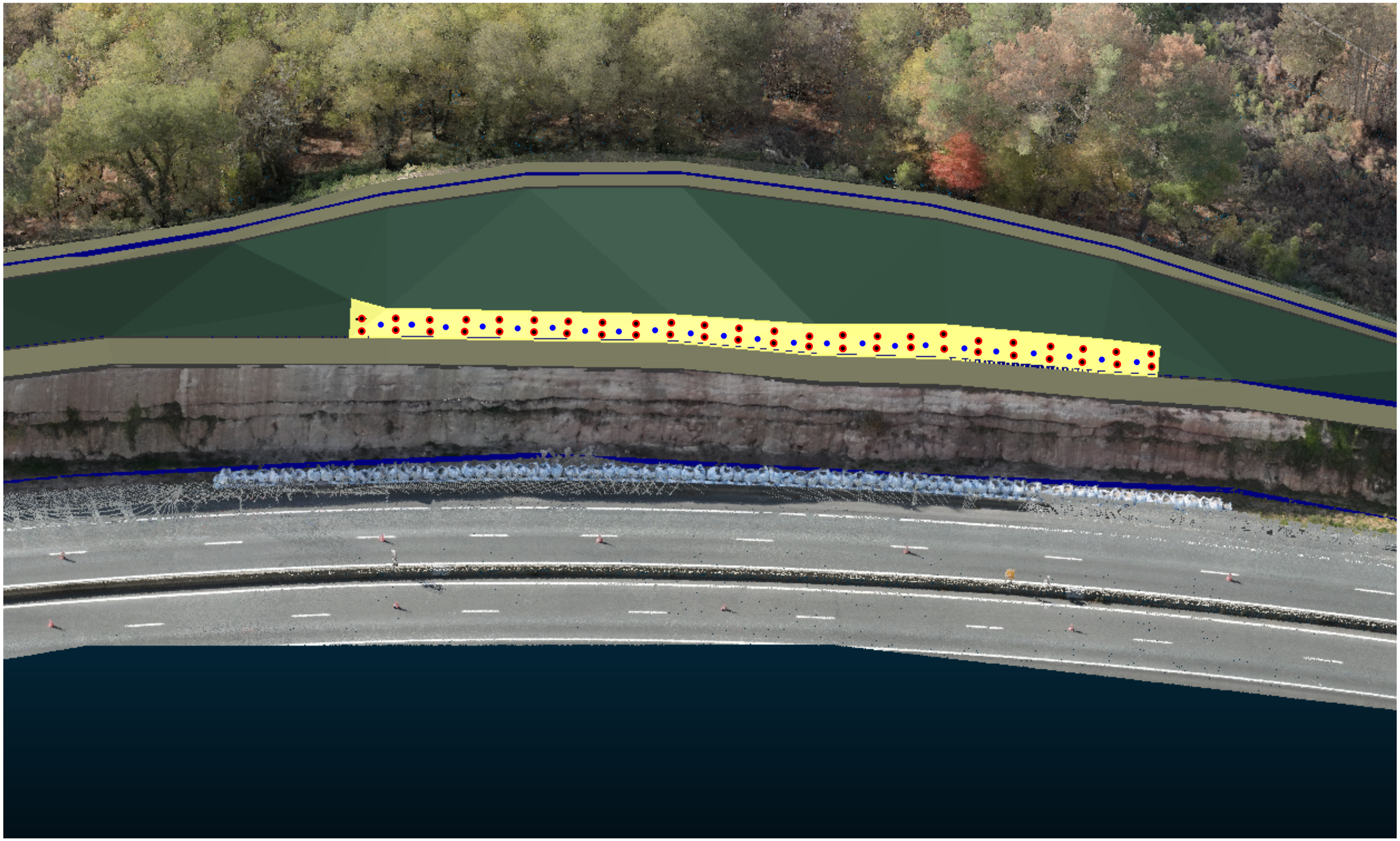
ECHELLE 1/100e

0 1 2 3 4 5

Annexe 5 : Planches de l'anti-érosion

DIRCO - Autoroute A20 Secteur des falaises de Puyjarrige - secteur 6		
RP.14135	*DCE*	*07 2026*

Planche de principe des travaux - Anti-érosion



Anti-érosion
Béton projeté armé sur 15 cm d'épaisseur : surface: 210m²
Ancrages HA Fe500 ø25mm, 1U/3ml; 2 lits si H>1.6 m; 48 u - 144 ml
Barbacane ø80mm; 23U
Treillis ST15C

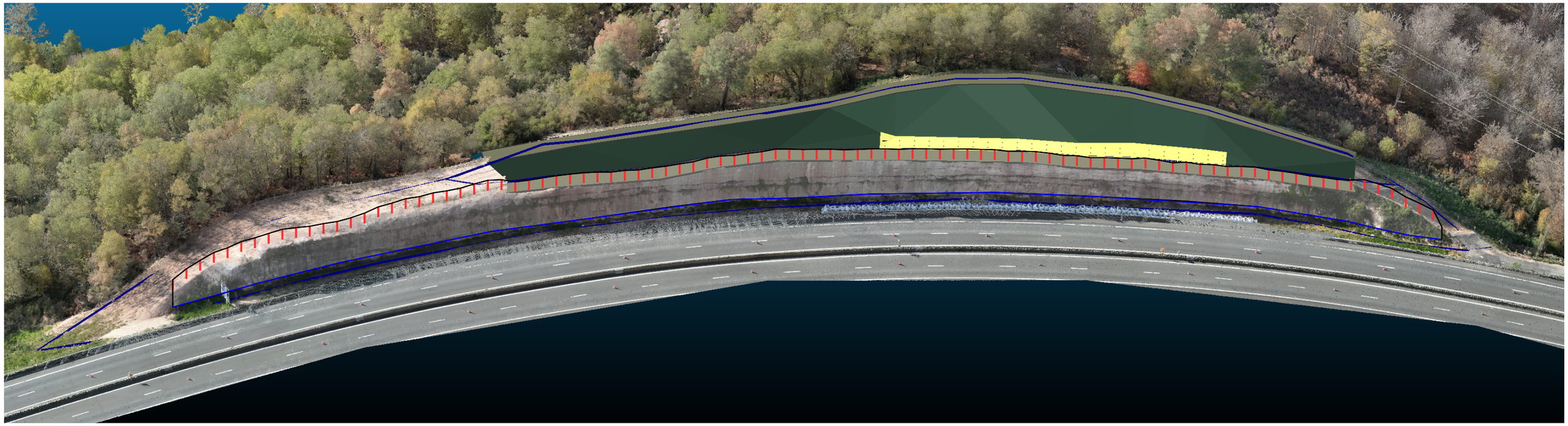
Légende :

- Béton projeté
- Ancrages HA Fe500 ø25mm
- Barbacane ø80mm

Annexe 6 : Planches travaux du déflecteur

SAGE INGENIERIE	DIRCO - Autoroute A20 Secteur des falaises de Puyjarrige - secteur 6		
	RP.14135	*DCE*	*07 2026*

Planche de principe des travaux - Grillage pendu sur avaloir (déflecteur)



Grillage pendu sur avaloir (deflecteur)
Grillage maille 100x120 mm : 2200 m²
Ancrages HA Fe500 ø25mm réhaussé de 1.0m; 1U/3ml; 3ml : 93 u - 279 ml
Ancrages HA Fe500 ø25mm de pied, élingué tous les 20ml ou changement de direction
Leste de pied
Câble de tête ø16mm
Câble de rive ø12mm

Légende :

Grillage pendu 100x120mm

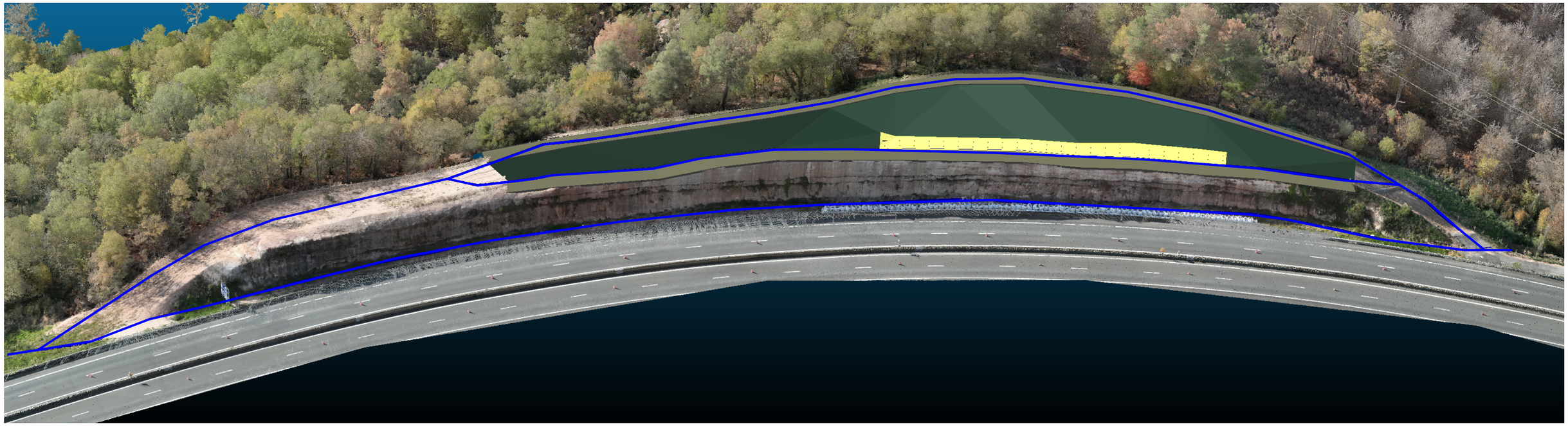
Ancrages HA Fe500 ø32mm réhaussé 1.0m

Leste

Annexe 7 : Planches travaux de gestion des eaux

DIRCO - Autoroute A20 Secteur des falaises de Puyjarrige - secteur 6		
RP.14135	*DCE*	*07 2026*

Planche de principe des travaux - Drainage du secteur 6



Drainage du secteur 6

Cunette en béton projeté ou coulé armé ST15C; 1.0m de large; 0.5m de profondeur
Cunette amont: 310 ml
Cunette banquette: 172 ml
Cunette aval: 300 ml

Légende :

– Cunette

Annexe 8 : Classification des missions géotechniques selon la NF P 94-500

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2)Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4)Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Annexe 9 : Conditions générales de vente et d'utilisation de la SAGE

1. **Régime général et cadre des missions**

Les présentes Conditions Générales de Vente et d'utilisation (CGVU) s'appliquent sous réserve des conditions particulières figurant sur les devis établis par la SAGE pour chaque prestation demandée. L'acceptation de l'offre forme contrat et entraine l'acceptation automatique des présentes CGVU.

La commande sera effectivement prise en compte à la réception de l'offre datée et signée (devis ou commande datée, signée et cachet pour une entreprise ou une collectivité).

La SAGE réalise la mission dans les strictes limites de sa définition donnée dans son offre (validité limitée à trois mois à compter de la date de son établissement) et confirmée par le bon de commande signé du Client. Toute prestation différente de celles prévues fera l'objet d'une demande spécifique et éventuellement d'une négociation.

Les missions géotechniques sont réglementées et normalisées selon la Norme NFP 94-500, réactualisée en 2013, dont un extrait est joint à l'offre et au rapport que le client déclare connaître et accepter. Par référence à cette norme, il appartient au Maître d'Ouvrage, au Maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet.

L'obligation de la SAGE est une obligation de moyens et non de résultat au sens de la jurisprudence actuelle des tribunaux. Il est donc entendu que la SAGE s'engage à procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre. Pour mener à bien ses missions, la SAGE est membre de l'USG (Union Syndicale Géotechnique), de l'AGAP (agrément obtenu pour la Sismique Réfraction et le Radar) et de MASE. Elle détient les qualifications géotechniques de l'OPQIBI et les agréments (n°26) pour les études, l'auscultation et le suivi de travaux pour les digues et barrages de classe C.

2. **Limites des missions**

Si une mission d'investigations est commandée seule (hors prestation d'ingénierie), elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude ou de conseil.

La mission G1 (phases ES et PGC) est une étude géotechnique préliminaire, permettant d'identifier les risques et de donner les principes généraux de construction destinés à réduire les conséquences des risques. Cette mission exclut tout dimensionnement et toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entrent dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (G2).

La mission G2 (phases AVP, PRO et DCE/ACT) est une mission de conception qui permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Nous rappelons qu'une mission G2 AVP ne peut servir directement à l'établissement d'un DCE et que les notes de calcul de dimensionnement ainsi que l'estimation des quantités et coûts des ouvrages géotechniques font partie de la mission G2 phase PRO.

La mission G3 est une mission d'étude et de suivi géotechniques d'exécution qui permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT fournie par la Maitrise d'Ouvrage.

La mission G4, de supervision d'exécution, permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission G3. Elle est à la charge du Maître d'Ouvrage et est réalisée en collaboration avec la Maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Nous rappelons que les missions G2 doivent être suivies d'une mission G4 en phase travaux. Si la SAGE n'est pas mandatée pour la mission G4, les documents établis au cours des travaux ne lui seront pas opposables, ainsi que les éventuels désordres survenus sur les ouvrages en cours de chantier.

La mission de diagnostic géotechnique G5 est ponctuelle et limitée à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage. Elle engage la SAGE uniquement dans le cadre strict des objectifs fixés dans le devis.

La mission et les investigations éventuelles réalisées par la SAGE sont strictement géotechniques et n'abordent pas le contexte environnemental. Seule une étude environnementale spécifique comprenant des investigations adaptées permettra de détecter une éventuelle contamination des sols et/ou des eaux souterraines.

3. **Plans et documents contractuels**

La SAGE réalise la mission conformément à la réglementation en vigueur lors de son offre, sur la base des données communiquées par le Client. Le Client est seul responsable de l'exactitude de ces données. En cas d'absence de transmission ou d'erreur sur ces données, la SAGE ne peut en être tenue responsable.

Par ailleurs, toute modification apportée au projet ou à son environnement (aménagements de proximité, terrassements, déboisage…) au cours ou après l'étude nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission.

4. **Formalités, autorisations et obligations d'information, accès, dégâts aux ouvrages et cultures**

Toutes les démarches et formalités administratives ou autres, en particulier l'obtention de l'autorisation de pénétrer sur les lieux pour effectuer des prestations de la mission sont à la charge du Client. Le Client se charge d'obtenir et de communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires à la SAGE en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public. Par ailleurs, il devra fournir tous les documents relatifs aux dangers et aux risques cachés, notamment ceux liés aux réseaux, aux obstacles enterrés et à la pollution des sols et des nappes.

Le Client s'engage à communiquer les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement : il assure en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui de la SAGE, entrant dans ses domaines, préalablement à l'exécution de la mission. Le Client sera tenu responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel dû à une spécificité du site connue de lui et non clairement indiquée à la SAGE avant toutes interventions. En cas de coactivité sur site, le Client se doit ainsi d'avertir la SAGE.

Sauf spécifications particulières, la SAGE ne pourra intervenir, faire des observations géologiques et donner un avis géotechnique que sur les zones ayant fait l'objet d'un débroussaillage et/ou d'un dégagement préalable à la charge du client. Les zones non expertisées du fait d'une non accessibilité ne pourraient être opposables à la SAGE.

Toute modification des conditions d'accès connues au moment de l'établissement du devis devra être discutée avec le Client et pourra faire l'objet d'une facturation complémentaire.

Les investigations peuvent entraîner des dommages sur le site, en particulier sur la végétation et les cultures, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part du personnel de la SAGE. Les remises en état, réparations ou indemnisations correspondantes seront discutées avec le Client et pourront faire l'objet d'une facturation complémentaire.

5. **Déclarations obligatoires à la charge du Client, (DT, DICT, ouvrages exécutés)**

Conformément au décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité des ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution, le Client doit fournir, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux et des ouvrages souterrains privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre à la SAGE l'établissement des DICT (le délai de réponse est de 10 jours ouvrés) et pour connaitre l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles pour les repérer.

En l'absence de DT effectuée par le Maitre d'Ouvrage, la SAGE réalisera une DT/DICT conjointe, démarche considérée comme acceptée par le client à la signature du bon de commande.

La responsabilité de la SAGE ne saurait être engagée en cas de dommages à des ouvrages privés (en particulier, ouvrages enterrés et canalisations) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit par le client préalablement à sa mission.

6. Recommandations, aléas, écart entre prévision de l'étude et réalité en cours de travaux

Si, en l'absence de plans ou documents précis concernant des ouvrages projetés, la SAGE a été amenée a à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Client de les valider par écrit ou de notifier ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour quelque raison que ce soit lui être reproché d'avoir établi son étude dans ces conditions. Cette validation devra être réalisée dans les 15 jours après la remise du rapport.

Il est précisé que l'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension.

Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution et non détectés lors de la mission d'origine (failles, remblais anciens, karsts, venues d'eau, hétérogénéités localisées…), ainsi que tout incident survenu au cours des travaux (éboulements, glissement…), pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport géotechnique G2 ou G3, doivent immédiatement être signalés aux bureaux d'études géotechniques en charge du suivi géotechnique des travaux (missions G3 et G4) afin qu'ils en analysent les conséquences sur les conditions d'exécution et la conception de l'ouvrage.

Si un caractère évolutif particulier a été mis en évidence lors d'une phase d'étude (notamment glissement, érosion, dissolution, matériaux évolutifs, …), les recommandations et conclusions du rapport doivent être réactualisées à chaque étape suivante de la conception ou de l'exécution. En effet, ce caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations et rendre caduques les conclusions notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

7. Hydrogéologie

Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport géotechnique correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et à un moment précis. En dépit de la qualité de l'étude, la SAGE ne peut être tenue responsable de la non connaissance de la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux, les cotes de crue et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

8. Réception des études, fin de mission, délais de validation des documents par le client

A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du dernier document à fournir dans le cadre de la mission fixe le terme de la mission. L'approbation doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client et est considérée implicite en cas de silence. La fin de la mission donne lieu au paiement du solde de la mission.

9. Conditions d'utilisation du rapport

Le rapport constitue une synthèse de la mission géotechnique définie par la commande. Le rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou utilisation par un autre Maître d'Ouvrage, un autre constructeur ou Maître d'œuvre, ou pour un projet différent de celui objet de la mission, ne saurait engager la responsabilité de la SAGE et pourra entraîner des poursuites judiciaires.

Rappel : Toute modification apportée au projet et à son environnement, ou tout élément nouveau mis à jour au cours des travaux et non détecté lors de la mission d'origine, ainsi que tout incident survenu au cours des travaux, doit être signalé à la SAGE et nécessite une adaptation/mise à jour du rapport initial dans le cadre d'une nouvelle mission. Il en va de même pour toute modification du cadre normatif.

10. Réserve de propriété, confidentialité, propriétés intellectuelles

Les coupes de sondages, plans et documents établis par la SAGE dans le cadre de sa mission ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne devient propriétaire des prestations réalisées par la SAGE qu'après règlement intégral des sommes dues. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour son propre compte ou celui de tiers toute information se rapportant au savoir-faire de la SAGE, qu'il soit breveté ou non, portée à sa connaissance au cours de la mission et qui n'est pas dans le domaine public, sauf accord préalable de la SAGE.

11. Conditions d'établissement des prix

Les prix unitaires s'entendent hors taxes. Ils sont majorés de la T.V.A. au taux en vigueur le jour de la facturation. Ils sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement de l'offre. Ils sont fermes et définitifs pour une durée de trois mois.

Nos montants intègrent les frais d'assurances professionnelles présentées ci-après.

12. Assurances

La SAGE est couverte par un contrat d'assurance professionnelle souscrit auprès de SMA SA, garantissant les responsabilités décennale et civile professionnelle pour des constructions dont le coût total HT est inférieur à 26 000 000 € et dans le cadre des missions professionnelles G1 à G5 et /ou de Maitrise d'œuvre conception-réalisation et/ou d'expertises.