

TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

HEAD OFFICE

Simón Bolívar laan 36

1000 - Brussels - BELGIUM

tel. +32 2 773 99 11 - fax +322 773 99 00

engineering@tractebel.engie.com

tractebel-engie.com

Our ref.: EIFVALI/4N/0909647/000/00

TS:

Imputation: W.006273/0001

INTERNAL

Client:

Project: EIFFAGE- AVIS DEXPERTISE-VALIDATION RAP

Subject: Stabilité des fronts Sud- carrière du Stinkal

Comments:

00	2026 03 18	FIN	*A. Gauffriau	*N. Coussaert	*D. D'Orazio	
REV.	YY/MM/DD	STAT.	WRITTEN	VERIFIED	APPROVED	VALIDATED

* This document is fully electronically signed on 2026 03 19.

TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

Boulevard Simón Bolívar, 36, 1000 Brussels – BELGIUM
tel. +32 2 773 99 11 – fax +32 2 773 99 00
engineering@tractebel.engie.com

tractebel-engie.com

Mémo technique

De GAUFFRIAU Antoine

A Carrière du Stinkal

Date 06/03/2026

Copie

Confidentiel Restricted Internal Public

Sujet : Stabilité des fronts Sud- carrière du Stinkal.

1. Introduction – Objet

Les carrières de Stinkal ont déposé en décembre dernier un dossier de demande de renouvellement de leur autorisation préfectorale d'exploiter. Dans le cadre de l'instruction, il est demandé un complément d'analyse concernant la stabilité des fronts sud et les moyens de leur suivi [1].

Suite au diagnostic de l'éboulement de 2017, Tractebel a produit pour les Carrières du Stinkal une cartographie géologique précise du gisement [2]. Les fronts sud n'ont pas fait l'objet d'efforts cartographiques à l'époque en raison des difficultés d'accès, qui sont toujours d'actualité. Pour cette zone sud, les études disponibles de Terrasol (2016) [3] servent de fondement à la carrière qui a développé son modèle de ressource 3D [4]. Ce modèle intègre logiquement la cartographie de Tractebel pour le fond de fosse et les fronts nord, et celle de Terrasol pour la zone sud [4][3].

Afin de fournir un complément d'analyse de la stabilité des fronts sud, compte tenu de ces conditions, Tractebel examine la situation suivant les étapes suivantes :

- Modèle géologique actuel : discussion sur les incertitudes du modèle (contexte stratigraphique, coupes et carte), structures alternatives possibles / probables ;
- Stabilité des fronts selon les unités lithostratigraphique : discussion des impacts sur la validation de la stabilité des fronts sud et sur les dispositions de suivi ;

C'est l'objet de ce mémo technique.

2. Modèle géologique du front sud

Le contexte stratigraphique, tectonique, lithologique et mécanique des unités attendues dans le front sud est décrit sur la **Error! Reference source not found.** La carte géologique (Figure 2) et les coupes (Figure 3) sont présentées et décrites ci-dessous.

La zone de transition entre les formations du Blacourt (gisement) et de Beaulieu (schiste de la découverte) présente une épaisseur d'environ 30m et est tectonisée (déformation affectant les roches) [5]. Suivant nos observations de terrain, une déformation compressive a affecté la structure des roches¹.

Cartographiquement, elles correspondent aux failles subverticales identifiées sur les fronts par Terrasol [3]. Suivant la carte de Terrasol, ces failles mettraient en contact directement les calcaires de Blacourt et les schistes de Beaulieu dans le bloc tectonique D (blocs tectoniques définis dans l'étude de 2019 [2]). Dans les blocs B et C, les schistes de Couderousse et les calcaires de Bastien sont présents entre les deux grandes unités de Blacourt et de Beaulieu.

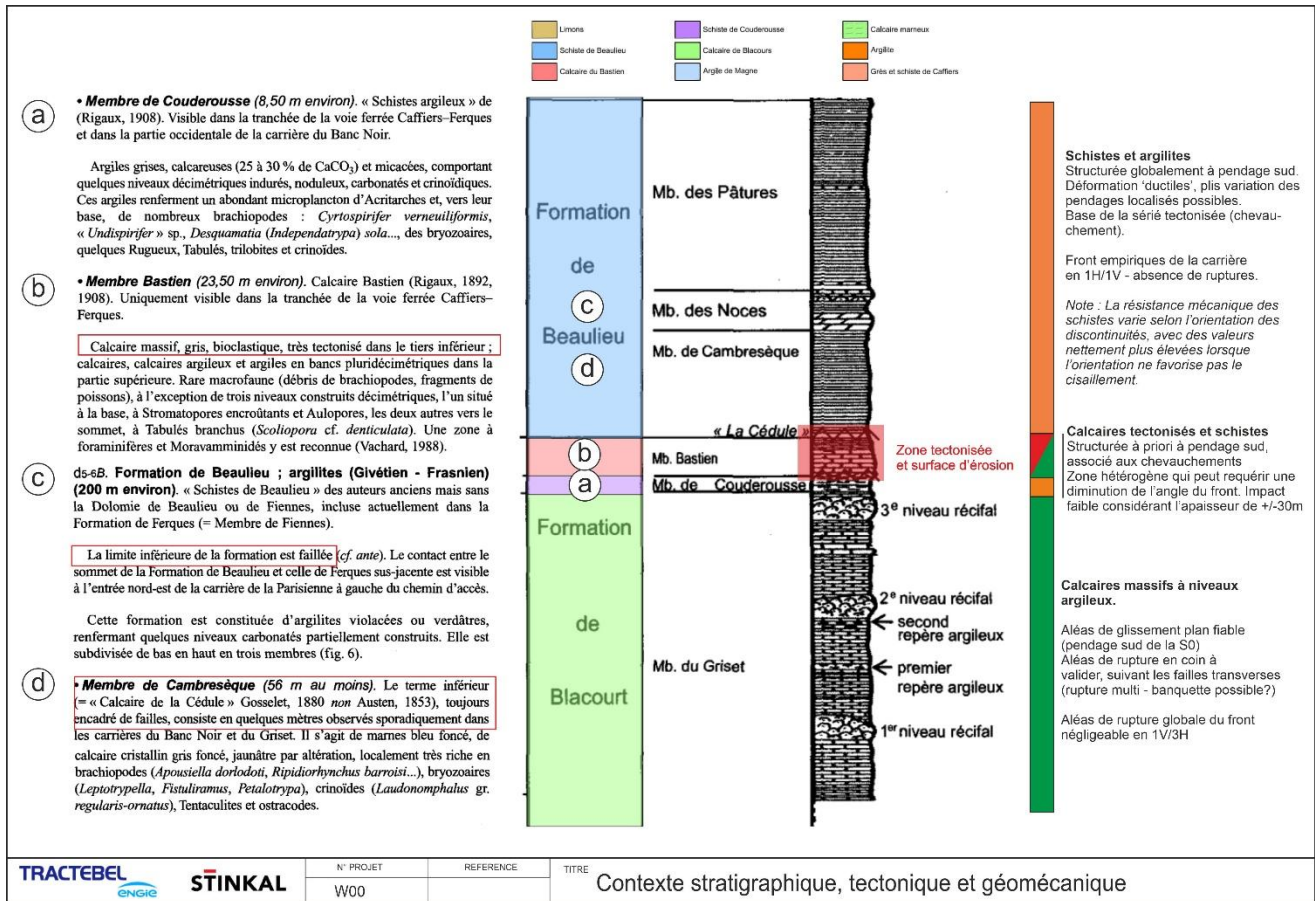


Figure 1 : Litho-stratigraphie (BRGM), tectonique et stabilité des faciès du front sud

¹ Les contraintes tectoniques compressive sont poussées les couches sédimentaires les unes sur les autres et induisent des plans de décollement ou failles de chevauchement. Ici le mouvement est du sud vers le nord.

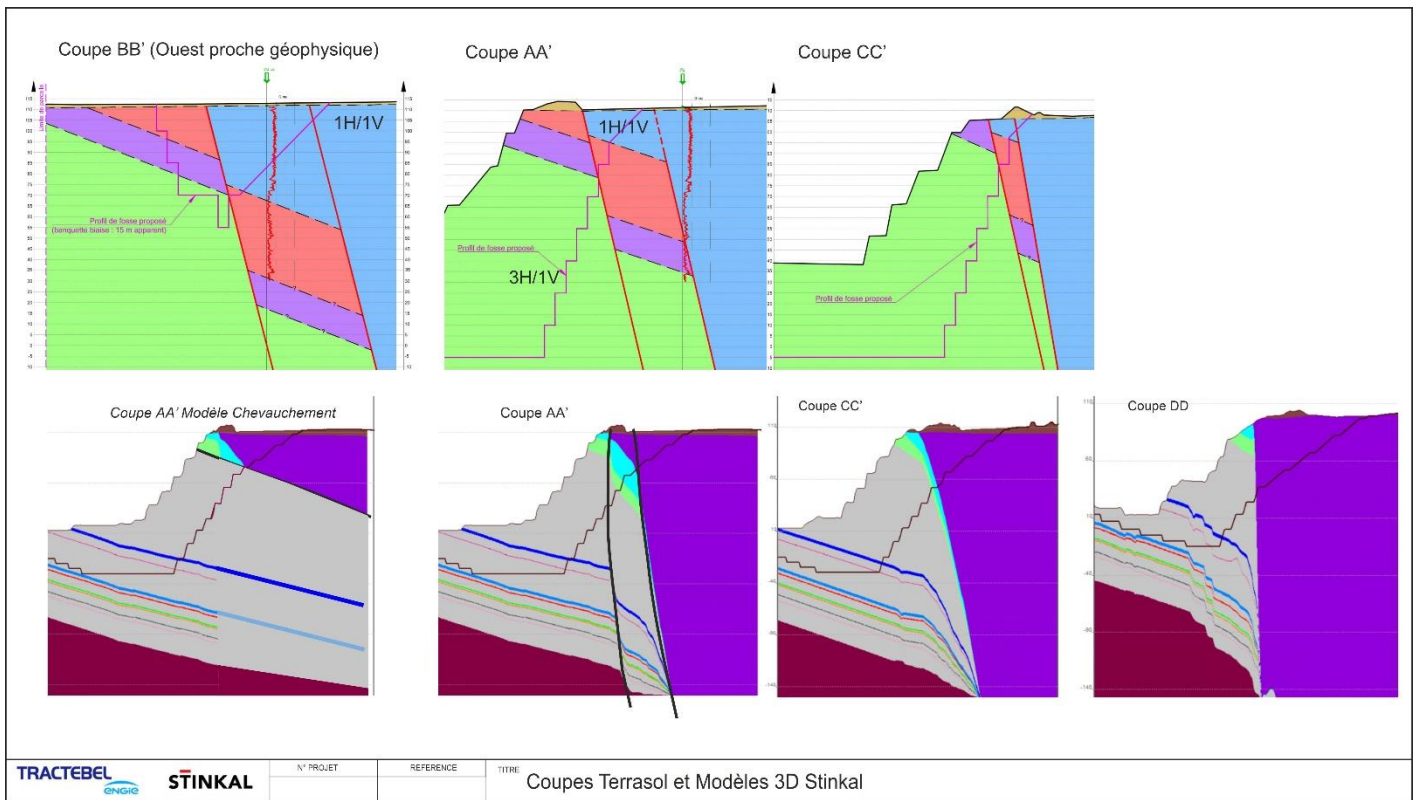


Figure 3 : Coupes interprétatives – Voir carte pour la localisation.



Figure 4 : Lithostratigraphie et structures des fronts sud. Orientation favorable à la stabilité. Ressource calcaire significative

3. Design des fronts sud et suivi de l'exploitation

Quel que soit le modèle géologique et la géométrie exacte des failles dans le front Sud, la ressource est présente. Suivant la limite du périmètre d'extraction sollicité (Figure 5), la géométrie du futur front devra être adaptée en fonction de l'épaisseur des différentes unités au droit du front. Considérant les natures des matériaux, la stabilité globale du front doit être assurée avec :

- Des fronts de pente 3V/1H dans les calcaires de Blacourt ; des fronts 1H/1V dans les schistes de Beaulieu (hors altération, karsts ou variation structurale ponctuelle particulière) ;
- Pour les zones de transitions entre différentes unités possiblement tectonisées (correspondant à 1 ou 2 fronts – 30m) , la géométrie stable du front se situe entre ces deux extrêmes. Elle pourra être validée lors de l'exploitation des premiers étages.

Les couches stratigraphiques sont globalement orientées de manière identique sur l'ensemble du site. Elles penchent vers le Sud-Ouest. **Pour les fronts sud, à l'opposé des fronts nord, ces plans sont donc bien orientés, empiétés et favorables à la stabilité du front (Figure 4).**

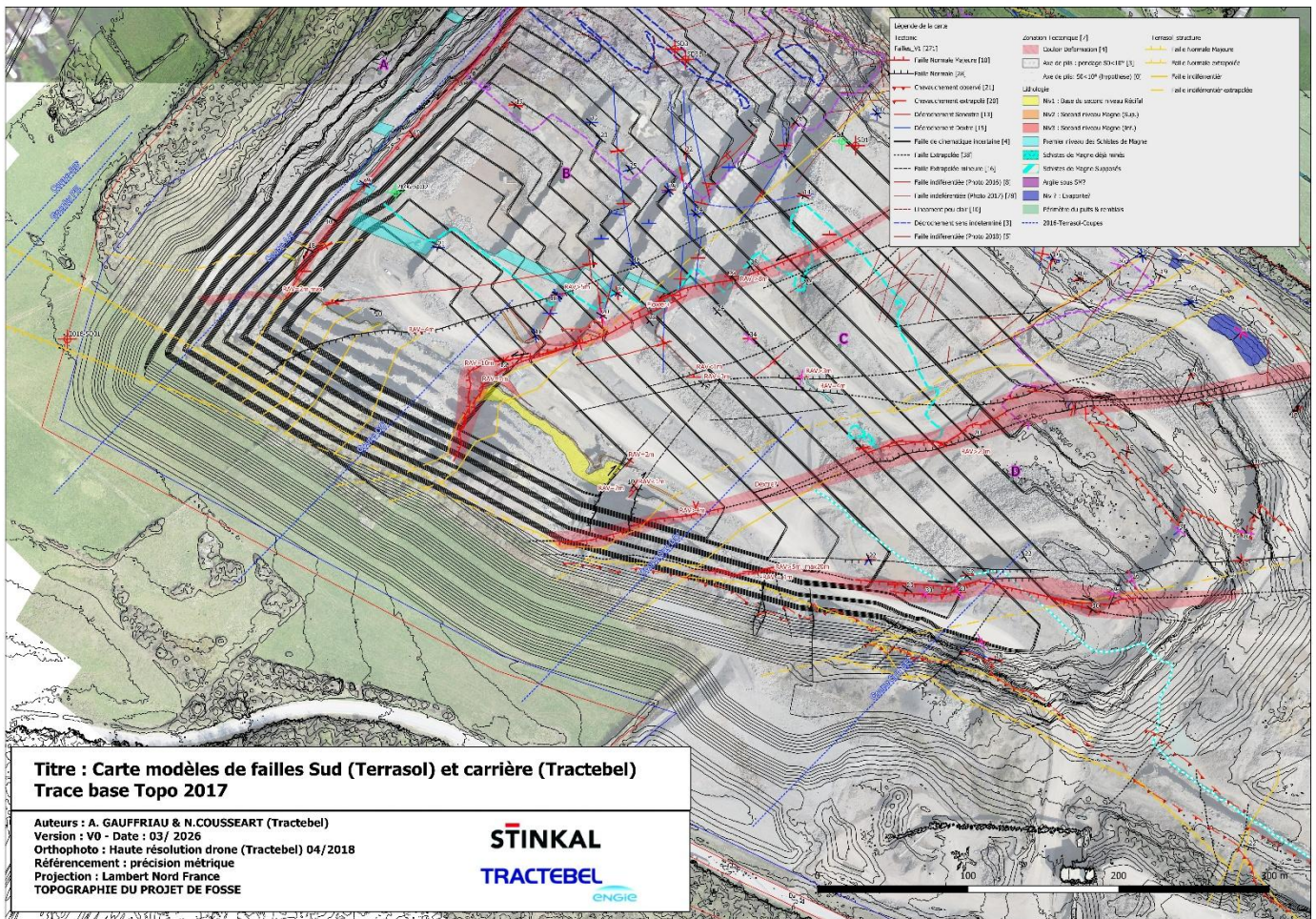


Figure 5 : Carte géologique de 2017 et emprise de la fosse finale.

Les aléas de ruptures en coin et la présence de zones altérées, fortement karstifiées et/ou tectonisées sont des points d'attention qui devront être pris en compte après exploitation des premiers fronts. Ils peuvent ponctuellement affecter plusieurs banquettes et compliquer l'exploitation. **Cependant, la stabilité globale du front n'est pas en jeu. L'orientation du front sud empêche le développement de plans de glissements de large échelle comme sur les fronts nord.**

Dans le respect de l'application des codes de bonnes pratiques, l'analyse de la stabilité demandée par les services de la DREAL est aussi conditionnée par le programme de suivi de l'exploitation dont les études suivantes minimales sont requises ;

- Cartographie de terrain détaillée en plusieurs étapes à définir, par exemple : au démarrage (stade 1) après avoir dégagé la ou les première(s) banquette(s) et à un stade ultérieur (stade 2 à l'approche de la base des schistes de Beaulieu). On rappelle à ce jour les difficultés d'accès aux contacts géologiques clés des fronts sud. Un support des données et images drones des fronts est prévu en amont pour l'analyse et la justification du choix des interventions de terrain.
- Analyse en parallèle des premières incertitudes et possibles instabilités locales, caractérisation des limites litho-stratigraphiques, cinématique de failles et analyses géomécaniques et des instabilités locales possibles (selon les accès).

Au stade clé de première découverte du toit des calcaires, une réflexion sera menée avec Stinkal sur la nécessité d'une campagne d'investigation pour explorer exactement la géométrie du contact plus vers le sud (terrassements, ou investigation ciblée). Une fois la géométrie du contact validée, la géométrie exacte de l'ensemble du front pourra être entérinée.

4. Synthèse

Les données à la disposition de la carrière sont suffisantes pour démarrer l'exploitation des calcaires suivant le design du front actuel retenu. Les angles des fronts proposés sont acceptables. Les structures géologiques sont favorables à la stabilité globale du front. Ce design s'appuie sur le modèle géologique de Terrasol, qui présente certaines limitations. Un modèle alternatif est avancé, moins pessimiste pour le ratio stérile / gisement.

Dès le début de l'exploitation un suivi de terrain est recommandé. Puis, à un stade plus avancé, encore à définir (découverte des calcaires sous les schistes), une cartographie complémentaire (et éventuellement des investigations) est requise pour l'exploitant afin de valider définitivement le modèle géologique, identifier les aléas de stabilité ponctuels (karst) et éventuellement revoir le design du front (selon la proportion de schistes et ou de calcaires) dans le respect des limites d'exploitation sollicitées dans le dossier ICPE en cours.

Les incertitudes existantes sur le modèle actuel ne remettent pas en cause l'utilité et l'intérêt de l'exploitation sud, ni le design actuel des fronts qui est fondé sur l'hypothèse la plus sécuritaire.

Références

- [1] **DREAL (2026)** Réponses et de demandes d'études complémentaires suite à la demande d'extension
- [2] **Tractebel (2019)** Diagnostic de Stabilité : Rapport de Tierce Expertise suivant le glissement de 2017 – Réf. STINKAL_4NT_0671772_000_03 – 01/10/2019
- [3] **Terrasol (2016)** Carrière du Stinkal – Développement sud du gisement. 12/08/2016 Ref. 009.37184/03/REV1
- [4] **Stinkal (2026)** Dernière mise à jour du modèle géologique et de ressource 3D de la carrière du Stinkal (logiciel Coralis)
- [5] **BRGM** Carte géologique 1/50.000 et notice feuille de Marquise 005N, Ed. BRGM

ANNEXES

[2] Diagnostic de Stabilité : Rapport de Tierce Expertise suivant le glissement de 2017 (Tractebel – Réf. « STINKAL_4NT_0671772_000_03 » – 01/10/2019)

TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

Boulevard Simón Bolívar 34-36
1000 - Brussels - BELGIUM
tel. +32 2 773 99 11 - fax +32 2 773 99 00
engineering@tractebel.engie.com
tractebel-engie.com

TECHNICAL DOCUMENT



Our ref.: **STINKAL/4NT/0671772/000/03**

TS:

Imputation: P.012959/0100

INTERNAL

Client:

Project: STINKAL-FORAGES 2018- REGIE

Subject: Diagnostic de stabilité - Rapport final de tierce expertise suivant le glissement d'octobre 2017

Comments:

03	2019 10 01	FIN	*A. Gauffriau	*N. Coussaert		*A. Gauffriau
02	2019 09 11	FIN	*A. Gauffriau	*N. Coussaert	*E. Waffelaert	*A. Gauffriau
01	2019 08 13	FIN	*N. Coussaert	*T. Bontemps	*E. Waffelaert	*A. Gauffriau

REV.	YY/MM/DD	STAT.	WRITTEN	VERIFIED	APPROVED	VALIDATED
------	----------	-------	---------	----------	----------	-----------

* This document is fully electronically signed on 2019 10 01.

Diagnostic de stabilité – Rapport final de tierce expertise suivant le glissement d’octobre 2017

TABLE DES MATIERES

REFERENCES	5
1. INTRODUCTION	6
2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE	6
2.1. Objet de la mission	6
2.2. Données existantes	7
2.2.1. Données bibliographiques	7
2.2.2. Topographie et imagerie par drone	7
2.2.3. Base de données de forages	7
2.3. Structure du rapport de Tierce expertise	8
3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	8
3.1. Description du site	8
3.2. Stratigraphie régionale	9
3.3. Contexte structural et limite des connaissances	9
4. ANALYSE DE L'ALÉAS GÉOLOGIQUE	10
4.1. Modèle géologique	10
4.1.1. Lithostratigraphie en forage	10
4.1.2. Cartographie géologique	11
4.1.3. Données structurales	12
4.1.4. Structure tectonique de la carrière	14
4.1.5. Modélisation 2D/3D	15
4.1.6. Synthèse géologique	22
4.2. Analyse morphologique des glissements	23

4.2.1.	Glissements historiques 2001-2014	23
4.2.2.	Glissement de 2017- analyse dynamique	24
4.2.3.	Suivi des déformations de surface en 2018	27
4.3.	Hydrogéologie	28
4.3.1.	Caractéristiques de l'aquifère	28
4.3.2.	Infiltration de surface	29
4.4.	Cause et mécanisme de glissement - synthèse	30
5.	RECOMMANDATIONS	32
5.1.	Ediction de la condition principale	32
5.2.	Conditions de reprises de la masse glissée.....	32
5.2.1.	Stabilité des fronts et de la zone en tête de glissement.....	32
5.2.2.	Principes de sécurisation dans la masse glissée	34
5.3.	Poursuite de l'excavation des fronts nord et accès au gisement	34
5.3.1.	Coupe géologique proximale du hameau de la Cédule	35
5.3.2.	Limite cartographique sécurisée du front nord	36
5.3.3.	Problématique et solution pour la zone nord-ouest.....	37
5.4.	Validation des plans d'extraction & monitoring.....	38
5.4.1.	Modélisation géologique 3D & validation des plans d'exploitation.....	40
5.4.2.	Monitoring et contrôle de la stabilité	40
6.	CONCLUSION	41

ANNEXE I : CARTES GÉOLOGIQUES ET MORPHOLOGIQUES AUX DIVERS FORMATS DE LA CARRIÈRE

ANNEXE II : CARTES MORPHOLOGIQUES DU GLISSEMENT DE 2017

ANNEXE III : LOGS INTÉGRÉS ET HOMOGENÉISÉS DES FORAGES DE LA CAMPAGNE DE 2019 ET DES CAMPAGNES PRÉCÉDENTES

REFERENCES

Documents d'archives associés à l'arrêté préfectoral

- [1] Arrêté Préfectoral (AP) du 19/12/2017.
- [2] Carrière du STINKAL- Eboulement de novembre 2017 ; Diagnostic de l'éboulement et préconisations – **Rapport Terrasol 009.41928 / 01 / REV 2 (02/2018)**.
- [3] Vue 3D de l'éboulement d'octobre 2017 et volumes déplacés – **STINKAL (2018)**.
- [4] Carrière du Banc Noir (Ferques) Rapport d'analyse sur les tirs de mines suite au glissement de terrain sur le front Nord-Est de la carrière. **Rapport SIMI Ref. 17-156 (2018)**.

NB : les rapports [2] à [3] constituent les documents remis par STINKAL à la DREAL dans le cadre de l'AP[1], article 1.

Documents d'études TRACTEBEL & campagne 2019

- [5] Présentation du cahier des charges de la Tierce expertise – Support de réunion tripartite du 14/04/2018
- [6] Présentation des résultats des postes 1 à 4 du cahier des charges de la Tierce expertise : diagnostic de stabilité, **résultats préliminaires** – Réunion TRACTEBEL / Stinkal du 21/06/2018 ; EIFFAGE_4NT_0616269_000_00_TOTALDOC (26/06/2018)
- [7] Prescription technique pour la surveillance de la masse glissée 25/06/2018 Doc EIFFAGE_4NT_0616269_000_00_TOTALDOC (*document provisoire en attente des résultats de la campagne 2019*)
- [8] Rapport d'exécution factuel de la campagne d'investigations de la masse glissée. Terra Expertis 2019

Documents historiques et bibliographiques

- [9] Carte géologique 1/50.000 et notice feuille de Marquise 005N, Ed. BRGM
- [10] Carrière du Banc Noir, ouverture d'une nouvelle zone d'exploitation – Projet de développement de la carrière du Banc Noir. **Rapport Terrasol Ref. 009.25300/04 (10/2010)**.
- [11] Carrière du Banc Noir, ouverture d'une nouvelle zone d'exploitation Diagnostic de stabilité du front - **Rapport Terrasol 25300/01 (07/2009)**.
- [12] Extraits de l'étude d'impact de la carrière, 1999 ANTEA, référence in [2]. Dossier non consulté.

1. INTRODUCTION

Le présent rapport clôture le mandat de TRACTEBEL dans le cadre de l'étude de tierce expertise, émanant de l'article 3 de l'arrêté préfectoral du 19/12/2017 [1] consécutif au glissement de terrain survenu fin octobre 2017 dans la carrière de Stinkal (62).

Les caractéristiques et le contenu de la tierce expertise ont été validés au cours de la réunion tripartite DREAL, STINKAL et Tractebel et le cahier des charges proposé [5] a été approuvé par l'inspection de l'environnement en avril 2018.

Les premiers résultats des investigations axés sur une étape de cartographie du cahier des charges ont permis de formuler un diagnostic préliminaire présenté en réunion le 21/06/2018 [6]. Un mémo technique accompagnait ce diagnostic et justifiait les moyens de surveillance de la masse glissée à mettre en œuvre avant sa reprise d'exploitation et dans l'attente de l'ensemble des résultats de l'ensemble des nouvelles données définies au cahier des charges [7].

Les modèles cartographiques préliminaires [6] ont conduit STINKAL à effectuer début 2019 une campagne de forages géologiques et géotechniques exploratoire au sommet de la masse glissée ainsi que sur les fronts nord de l'exploitation. TRACTEBEL a été mandaté pour accompagner STINKAL dans le suivi et l'intégration des données de cette campagne [8].

Ce rapport présente une synthèse des observations et apporte des réponses aux questions posées dans le cadre de la tierce expertise.

2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

2.1. Objet de la mission

L'objet de la mission est en lien avec les prescriptions de l'arrêté préfectoral [1]. L'étude répond aux questions posées lors de la réunion tripartite de démarrage et de présentation du cahier des charges en avril 2018 [5], et se résumant ainsi :

- Causes du glissement et évolution de la masse glissée de 2017 ; une meilleure identification des facteurs stabilisants ou aggravants est-elle possible ?
- Quelles sont les conditions préalables à une intervention sur la masse glissée et à sa reprise ?
- Quelles sont les possibilités et risques de nouveaux glissements et périmètres associés ?
- Quel est le niveau de certitude des conclusions et la procédure de limitation des risques ?
- Quelles sont les recommandations en termes de méthodologie de surveillance de la stabilité de l'exploitation ?
- Quelles sont les recommandations en termes de reconnaissances complémentaires pour répondre à ces questions ?

Plus globalement, la tierce expertise doit [1] « *déterminer les causes et l'origine du glissement de terrain, juger de la validation du protocole de sécurisation du site et valider les propositions de Stinkal quant aux travaux de confortement et de réaménagement de la zone concernée et de proposer une méthodologie de surveillance de la stabilité de l'exploitation* ». (Art.1)

Concernant la reprise de l'exploitation [1]: « *la reprise de l'exploitation ainsi que des tirs de mine dans la zone sécuritaire définie à l'article 2 est subordonnée aux conclusions favorables du tiers expert et, le cas échéant, à la mise en œuvre des mesures compensatoires et du programme de contrôle et de surveillance de la stabilité de l'exploitation* » (Art.3)

2.2. Données existantes

2.2.1. Données bibliographiques

Elle comprennent principalement les rapports de Terrasol fournis par Stinkal sur la géologie de la carrière, les mécanismes et les causes du glissement (i.e.[2], [10], [11]).

Une étude bibliographique a été menée par Tractebel sur la région et les calcaires de la formation de Ferques afin de pouvoir établir un log stratigraphique référent. Cette étude repose principalement sur la carte et le livret de carte géologique de la région édité par le BRGM et les travaux associés de Denise Brice [9].

2.2.2. Topographie et imagerie par drone

Dans le cadre du suivi topographique de la carrière, plusieurs survols par drone ont été effectués en 2018. Ces données, provenant de fournisseurs différents, ont été retravaillées afin d'obtenir un géoréférencement optimal et des nuages de points avec une plus haute résolution possible, comme support à la cartographie.

A partir de ce retraitement des données, pour chaque campagne de levé drone, une orthophoto a été générée et intégrée au GIS. Pour les photos aériennes antérieures aux données drones, elles proviennent directement de Google Earth Pro. Elles ont été ensuite géoréférencées pour être intégrées à la base de données GIS.

2.2.3. Base de données de forages

Deux campagnes de forages ont eu lieu sur le site :

- Campagne Ginger de 2010 avec sept forages dont deux carottés ;
- Campagne Fondasol de 2016 pour caractériser la géologie au sud-ouest de la fosse avec deux forages dont un carotté.

Pour l'ensemble de ces forages, Tractebel a reçu les descriptions, les photos, le résultat des vidéos de forage et les données diagaphiques des gamma ray.

Ces données ont été partiellement compilées dans la base de données des sondages. Une vérification des descriptions (niveaux stratigraphiques, profondeurs, etc.) a été réalisée par Tractebel lors de la mission de reconnaissance géologique.

2.3. Structure du rapport de Tierce expertise

Le présent rapport synthétise les résultats de plus d'une année d'étude, s'appuyant sur un large panel de nouvelles données. Les analyses intermédiaires (conclusions préliminaires, descriptions des campagnes, cartes intermédiaires de support), sont référencées dans le texte mais non présentées en détails.

En annexes sont regroupées les cartes géologiques finales et les compilations des données de forage.

3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

3.1. Description du site

Le site de la carrière de Stinkal se situe près de la ville de Ferques, dans le département du Pas-de Calais (62),.

L'exploitation est actuellement localisée dans la partie nord du site. Une ancienne fosse d'exploitation existe dans la partie est. Celle-ci est en cours de remblayage. Au nord-ouest du site, une station d'épuration a été installée en 2017. Le rejet d'eau de la station est collecté dans un fossé ouvert en pleine terre le long de la limite entre les champs et la carrière. Dans ce fossé, en amont de la carrière, des eaux de pluies provenant des communes voisines de Landrethun et Couderousse sont également collectées.

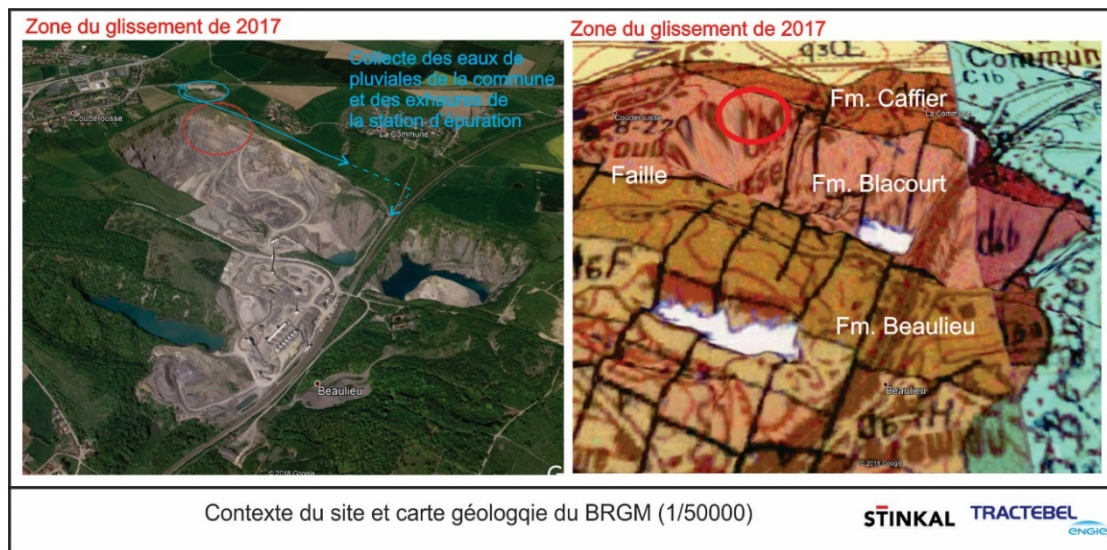


Figure 1 : Contexte du site d'étude et extrait de la carte 1/50000 du BRGM [9]. Limite stratigraphique normale entre les unités de Blacourt et de Caffier. Absence de faille au contact délimitant le front nord.

Au nord de la fosse d'exploitation en activité se situe un quartier résidentiel, le hameau de la Cédule, dont les fonds de jardin sont localisés à moins de 50 m du merlon nord de la carrière.

3.2. Stratigraphie régionale

La carrière de Stinkal est ouverte dans les roches dévoniennes du Paléozoïque inférieure. Elles affleurent principalement dans les carrières près de Ferques au niveau de la boutonnière anticlinale du Boulonnais. La formation exploitée est celle du calcaire noir de Blacourt qui est utilisé pour la production de granulats à béton et d'agrégats routiers.

La séquence stratigraphique (du haut vers le bas) des formations rencontrées sur le site de la carrière est comme suit (**Figure 1**) :

- Dépôts du Quaternaire : les terrains de couverture du gisement correspondent à des limons silto-argileux à grave de silex. Epaisseur variable selon le soubassement rocheux,
- La formation de Beaulieu (Frasnien) : séquence d'argilites violacées ou verdâtres avec quelques niveaux carbonatés partiellement bio-construits. Elle affleure dans la partie sommitale des parois au sud-est de la fosse actuelle.
- La formation de Blacourt (Givétien sup.) : ensemble de calcaires bioclastiques et bio-construits dans lequel s'intercalent des calcaires plus argileux à textures plus fines. Elle est constituée de trois membres (du haut vers le bas) :
 - Le membre de Bastien : calcaires très diversifiés fossilifères décimétriques avec des passées argileuses plus ou moins importantes (décimétriques à pluridécimétriques).
 - Le membre de Couderousse : argiles grises calcareuses et micacées avec quelques niveaux décimétriques de calcaires crinoïdiques.
 - Le membre du Griset : Calcaires en bancs massifs, plus argilo-gréseux vers la base, séparés par des passées argileuses (décimétriques à métriques). Une description détaillée de ce membre existe dans le livret de la carte géologique de Marquise [9] . Ce membre est principalement exploité dans la fosse actuelle.
- La formation de Caffiers (Givétien inf.) : ensemble de grès et schistes gréseux micacés. Le contact supérieur avec la formation de Blacourt n'est pas clairement documenté dans la carrière (non visible). Il a été intercepté en forage lors de campagne précédente. La formation de Caffiers devrait être sub-affleurante au nord de la fosse.

3.3. Contexte structural et limite des connaissances

Sur la carte 1/50000 du BRGM [9], le front nord de la carrière est un contact normal entre les formations de Blacourt et de Caffier. Par contre, sur le flanc sud de la carrière existe une zone de faille orientée N100°, accompagnée d'une importante zone de roches broyées. Elle met en contact la formation de Beaulieu avec la formation de Blacourt.

A l'échelle de la carrière, la série de roches présente un pendage vers le sud avec une pente avoisinant les 20°. Une série de failles d'azimut N°40 à N°60 à pendage subvertical sud-est, décrochantes ou normales, recoupe toutes les formations avec une zone d'impact limitée sur l'encaissant et un mouvement apparent de l'ordre de 2 à 20 m.

4. ANALYSE DE L'ALÉAS GÉOLOGIQUE

4.1. Modèle géologique

4.1.1. Lithostratigraphie en forage

L'ensemble des données historiques et des données de la campagne de 2019 permettent de consolider fortement la connaissance de la série sédimentaire à travers toute la carrière. Les nouvelles données [8] de carottages (échantillons), vidéos de forage haute résolution et diagraphies gamma-ray (interprété ici comme une proportion relative de minéraux argileux dans les forages) montrent une excellente cohérence sur l'ensemble de la série.

Un exemple de résultat de forage, illustrant bien la série sédimentaire, est présenté dans la **Figure 2** ci-dessous.

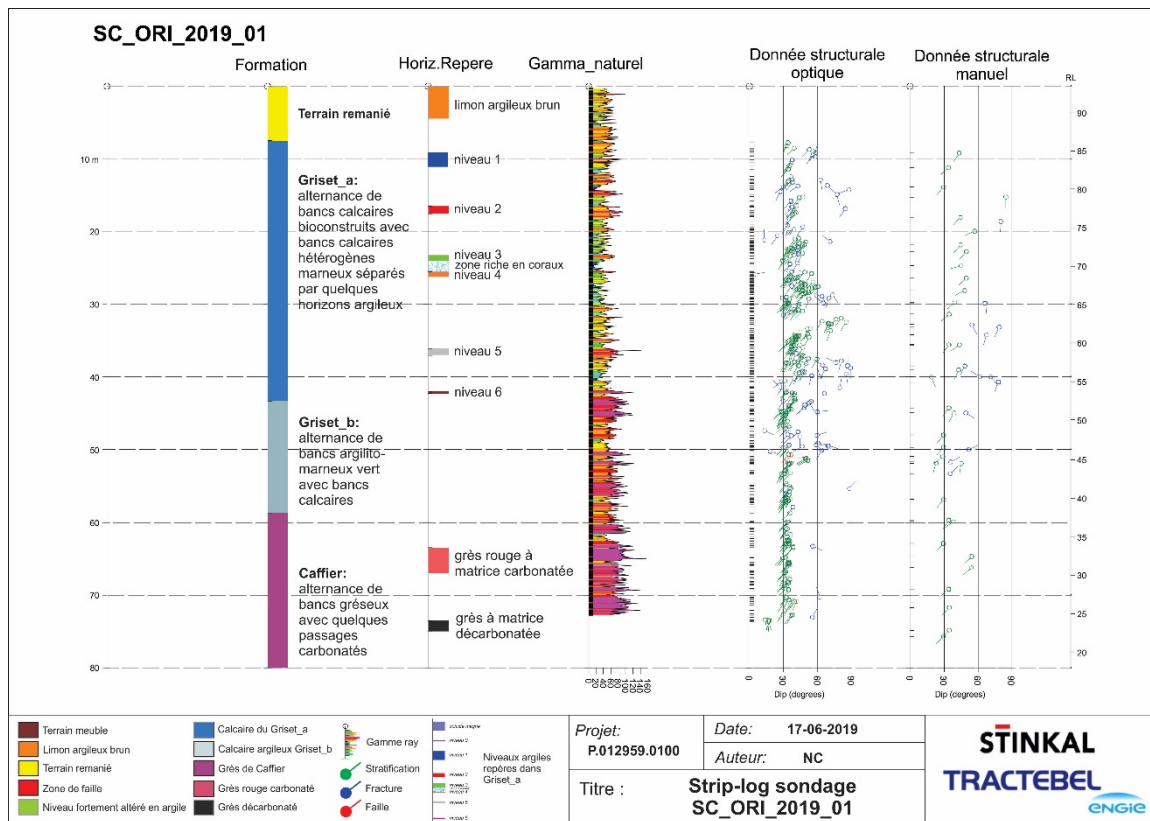


Figure 2 : Exemple de log de forage intégré b(SC_ORI_2019_01). Forage incliné, carotté avec carottes orientées. Les mesures manuelles viennent compléter les données.

Chacun des logs de forage intégré est présenté en Annexe III.

Dans la formation de Blacourt (Givétien sup.), (ici en carrière le membre du Griset, les calcaires en bancs massifs (Griset a) deviennent plus argilo-gréseux vers la base (Griset b) et sont séparés par des passées argileuses. Le membre du Griset a été subdivisé en deux sous-membres, Griset « a » et Griset « b » pour les besoins de l'étude. Le niveau du Griset b, en raison de sa teneur argileuse, n'est pas la cible privilégiée de l'exploitation. **Les niveaux argileux repères dans le niveau du Griset a sont notés ici de 0 à 6**, le niveau des schistes de Magnes correspondant au niveau -01 (niveau exploité dans la carrière, pas observé dans les forages de 2019).

En dessous de la formation de Blacourt, se trouve la formation de Caffiers (Givétien inf.) constituée d'un ensemble de grès et schistes gréseux micacés. Le contact supérieur avec la formation de Blacourt n'est pas clairement documenté dans la carrière (non visible), et mal documenté dans la région. Il a été intercepté en forage lors de campagne précédente. La formation de Caffiers devrait être sub-affleurante au nord de la fosse. Elle comporte deux niveaux repères : la zone rouge à matrice carbonatée et la zone à matrice altérée décarbonatée (zone à « charbon » telle que mentionnée par l'exploitant).

La transition entre les calcaires du Griset et les grès de Caffiers a été observée à plusieurs reprises au cours de la campagne de forage 2019. Elle est graduelle. Elle est liée d'une part, à une proportion croissante des sédiments détritiques vers la base de la série traduisant un changement d'environnement de dépôt sédimentaire. L'intensité de la réaction à l'HCl est décroissante jusqu'à ce que la matrice carbonatée ne soit plus que très localement identifiable.

Les niveaux repères (argiles, grès rouges et « charbon » etc.) sont présents dans tous les forages. Leur signature en gamma-ray est nette (**Figure 2**). La comparaison entre les carottes, les images haute résolution et les gamma-ray rend **l'interprétation finale objective et fiable pour les forages de 2019**.

Cette base de données robuste permet aussi de réinterpréter les forages des campagnes précédentes sur base des gamma ray et des carottes. **Sur base de ces analyses intégrées, la lithostratigraphie est donc clairement établie dans la zone en exploitation.**

4.1.2. Cartographie géologique

Une mission de cartographie géologique et structurale détaillée de la carrière a été réalisée, et augmentée avec un support numérique 3D (nuage de points haute résolution) permettant de suivre les structures géologiques sur les fronts avec une précision centimétrique. Plus de 170 points d'observation ont permis d'établir cette carte de manière précise (Figure 3).

L'édition de juin 2018 de la carte [6] a donc été révisée et complétée à l'aide de la campagne de forage complémentaire. La version finale (juillet 2019) de la carte est présentée sur la Figure 3 et en Annexe I.

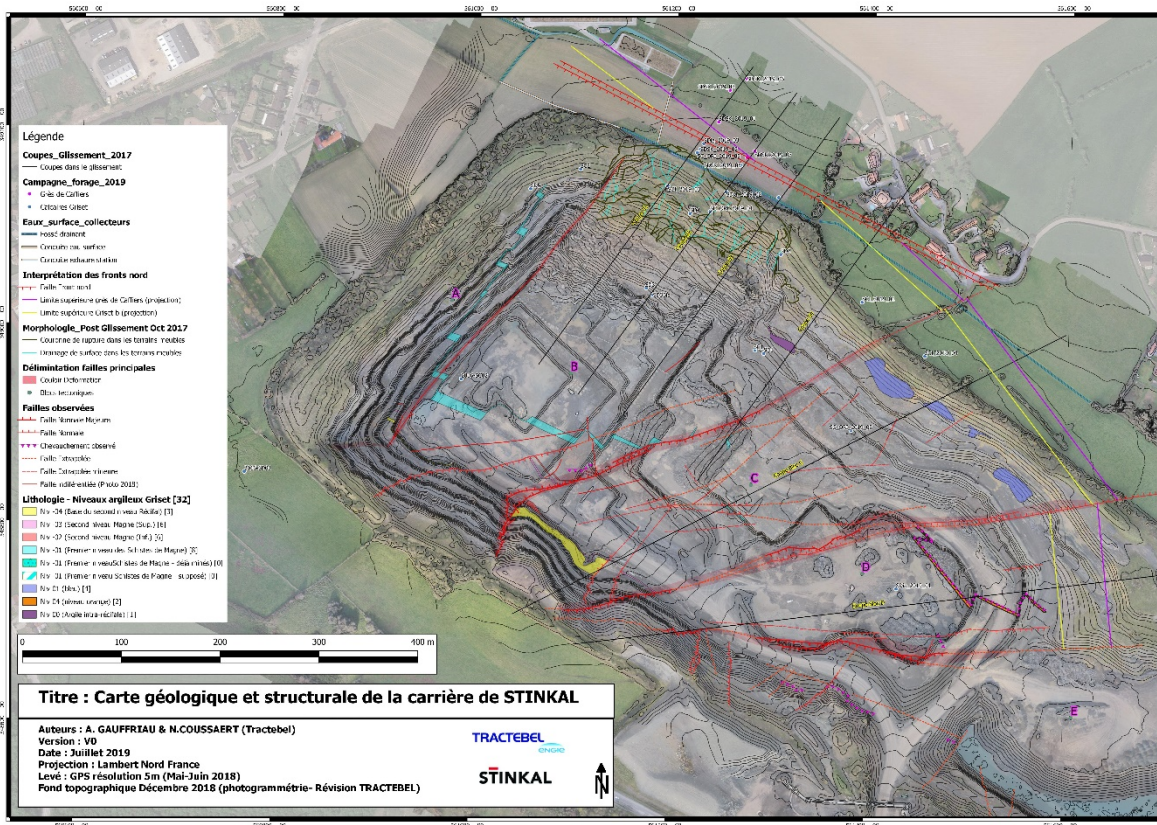


Figure 3 : Carte géologique intégrée de la carrière (Edition Juin 2019) montrant notamment les différents blocs tectoniques (A-E, d'ouest en est).

Sur base de cette cartographie, la carrière a été subdivisée en plusieurs blocs tectoniques (A, B, C, D, et E), séparés par des zones de failles. Chacun de ces blocs présente une géométrie cohérente au niveau des orientations et des pendages des couches. L'ensemble de ces blocs tectoniques a été indiqué sur la carte de la Figure 3 et en Annexe I.

4.1.3. Données structurales

Les données structurales de terrain (mesures directes à la boussole) sont associées aux points d'observations et regroupées dans une base de données SIG.

Au total, plus de 350 mesures sont représentées dans la Figure 4 ci-dessous [6]. L'azimut moyen des plans de stratification est N130. La moyenne du pendage de la stratification dans la carrière est de 20°(79 mesures).

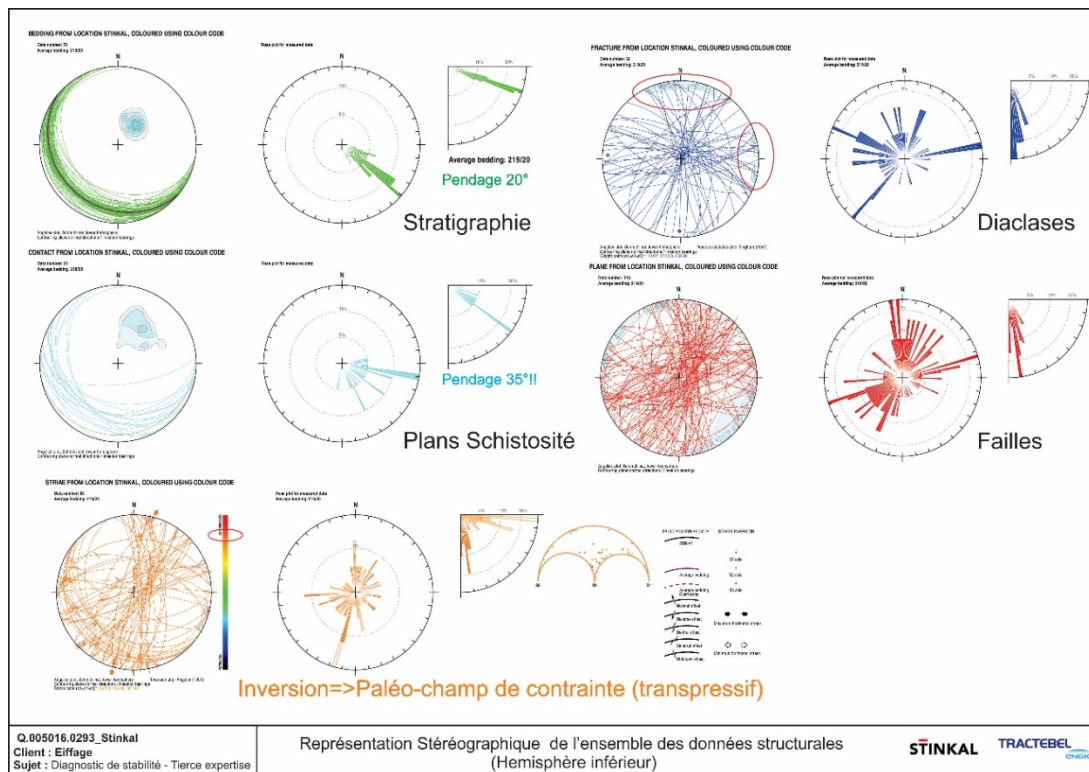


Figure 4 : Mesures structurales « directes » dans la carrière.

On note des plans de schistosité dont l'azimut se confond avec la stratification, mais montrant un pendage légèrement plus redressé de 35° en moyenne (20 mesures). Les orientations des plans de failles sont plus dispersées, mais leur pendage est globalement sub-vertical.

Triés par blocs tectoniques, les résultats montrent une grande homogénéité :

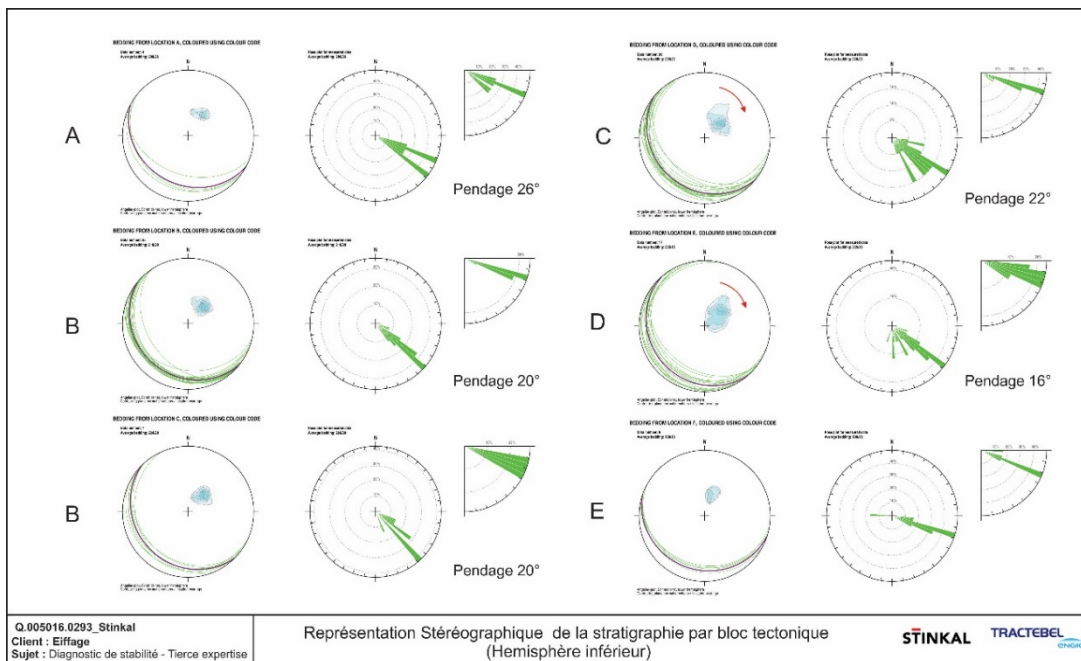


Figure 5 : Mesures structurales directes dans la carrière – données complètes Terrain

Les pendages observés dans la carrière dans les blocs B et C affectés par le glissement sont respectivement de 20° et 22° en moyenne et de 16° dans le bloc D.

En complément de ces mesures structurales de surface, plusieurs milliers de mesures structurales sont répertoriées sur les forages de 2019 grâce au traitement exhaustif des vidéos de forage (cf. **Figure 2**). Dans les zones de failles où les vidéos n'ont pas pu être exécutées car les trous de forages étaient instables, les carottes orientées ont permis de compléter manuellement les données.

A cette base de données, les données structurales de la campagne de 2010 ont été remises en forme et intégrées à la base données forage pour objectiver les statistiques des pendages en profondeur et de mieux comprendre l'évolution des couches en 3D dans chaque bloc.

Par rapport aux données de terrains, les données de forages montrent dans la partie nord-est du massif un redressement des couches entre 30° et 52°, et un changement d'orientation des azimuts entre les blocs B, C et D, modifiant significativement le modèle géologique et structural de la carrière.

4.1.4. Structure tectonique de la carrière

La base de données structurales des forages de 2019 et les résultats de la cartographie (**Figure 6**) permettent de repositionner la série sédimentaire avec une grande précision. L'analyse des résultats permet aussi de confirmer l'approche par blocs tectoniques et leurs mouvements relatifs les uns par rapport aux autres.

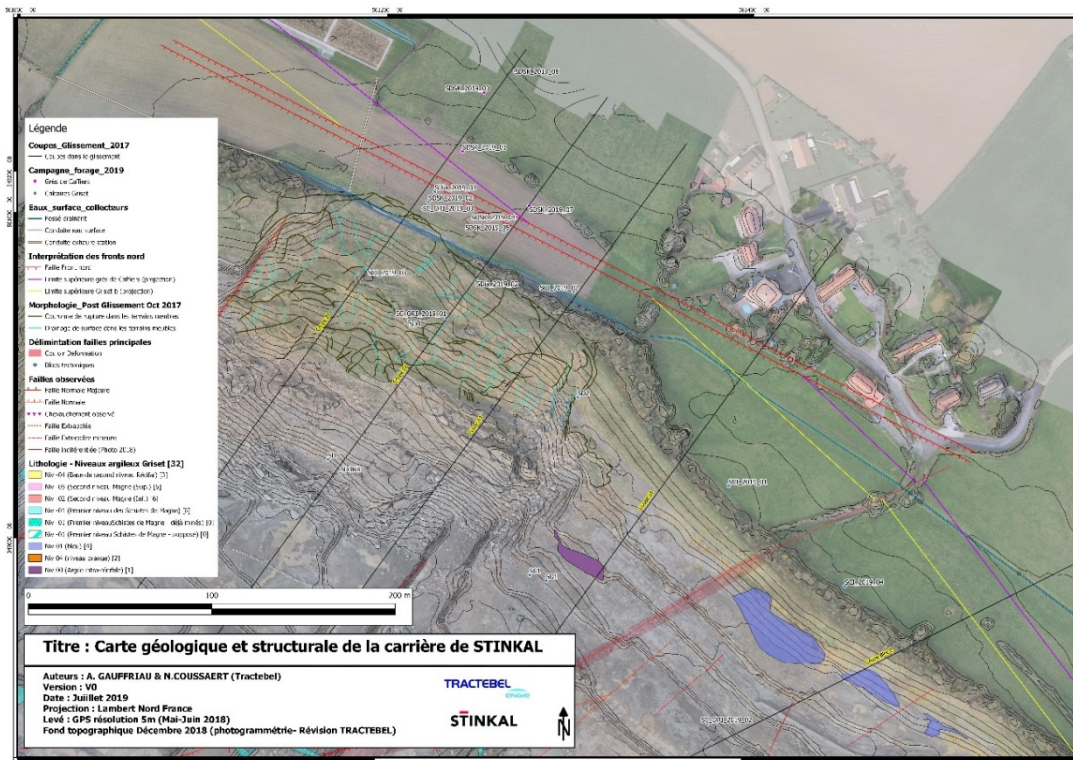


Figure 6 : Extrait de la Cartographie géologique finale de la carrière. (Ed. 2019). On note la découverte de la zone de faille délimitant le front Nord.

En corollaire, les niveaux repères des plans argileux (1 à 6) dans le Griset a sont maintenant connus avec précision dans le bloc B et C, et D (encore exploités), tant au niveau de leur nature, leur géométrie que de leur localisation dans la série.

Les résultats principaux de l'analyse de la structure tectonique du massif à l'échelle de la carrière sont les suivants :

- La zone d'exploitation se compose de cinq blocs tectoniques A, B, C, D et E, — et non plus six comme interprété précédemment après la campagne de terrain [6] ; le bloc B/C initial devient un bloc B unique, et la partie Nord-Ouest de l'éperon, objet principal des excavations de 2018, est tectoniquement rattachée au bloc B ;
- Les rejets horizontaux réels sont :
 - Indéterminés, car très faibles à priori entre les blocs A et B,
 - Normaux entre les blocs B et C, avec un rejet faible de quelques mètres
 - Normaux dextres entre les blocs C et D, avec un rejet significatif marqué (45 mètres)
 - Encore indéterminés entre les blocs D et E, mais probablement identique à ceux observés dans les blocs C et D.
- Associée aux mouvements dextres des failles, on constate une rotation horaire des azimuts des plans stratigraphiques entre les blocs B et C (15°) et une rotation encore plus marquée entre les blocs C et D (20°).
- Le mouvement relatif vertical est uniquement significatif entre les blocs C et D. Le bloc D est effondré d'environ 40 m par rapport aux blocs B et C. En conséquence, le gisement (Griset a) est déjà très largement exploité dans le bloc D.
- Enfin, nos résultats démontrent avec précision la présence d'une faille d'échelle régionale. Sa direction NO-SE délimite globalement le front nord,
- Sa prolongation vers les SE au nord du bloc C est fort probable, mais sa trace en surface et sa géométrie restent encore incertaines. Il n'existe pas d'évidence qu'elle soit décalée ou qu'elle décale les failles inter-bloc. Dans cette zone, elle se situe bien au-delà du périmètre d'exploitation.

4.1.5. Modélisation 2D/3D

Des coupes structurales entre les forages sont établies perpendiculairement aux pendages des couches. La zone du glissement est recouverte de terrains meubles. La cartographie du socle (**Figure 7**) découle donc de l'interprétation faite des coupes géologiques.

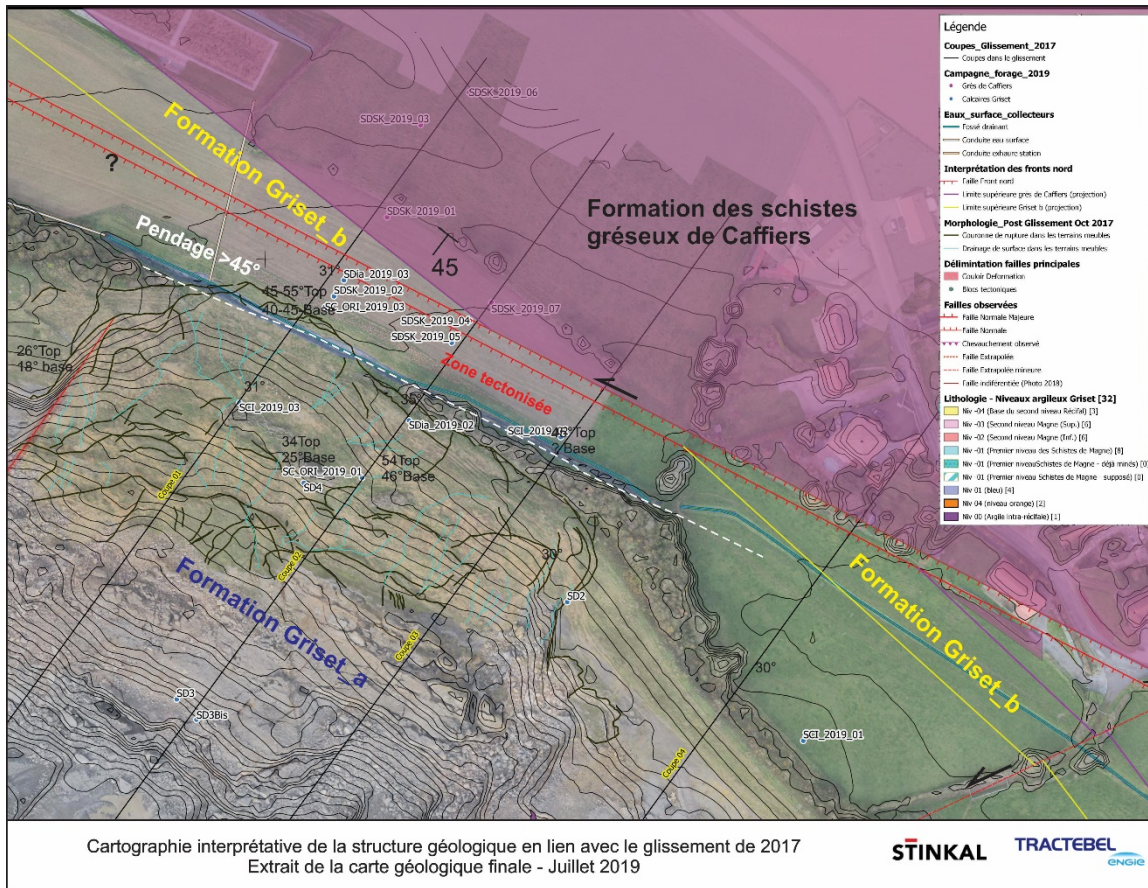


Figure 7 : Cartographie géologique finale de la zone du glissement de 2017 (Ed. 2019). Mise en évidence des zones affectées par la faille (pendages >45°) et illustration des unités lithologiques

Les coupes sont présentées sur les **Figure 8**, **Figure 9** et **Figure 10**

Les nouvelles données apportent un éclairage tout à fait nouveau sur la structure de la zone ainsi que sur les causes et conséquences du glissement de 2017. Le modèle initial [7], reposant principalement sur les observations de terrain dans la carrière, prenait en compte une géométrie linéaire de la série jusqu'en surface, en l'absence de faille identifiée (**Figure 8**).

Sur base des nouvelles données acquises lors de la campagne 2019, ce modèle a été revu.

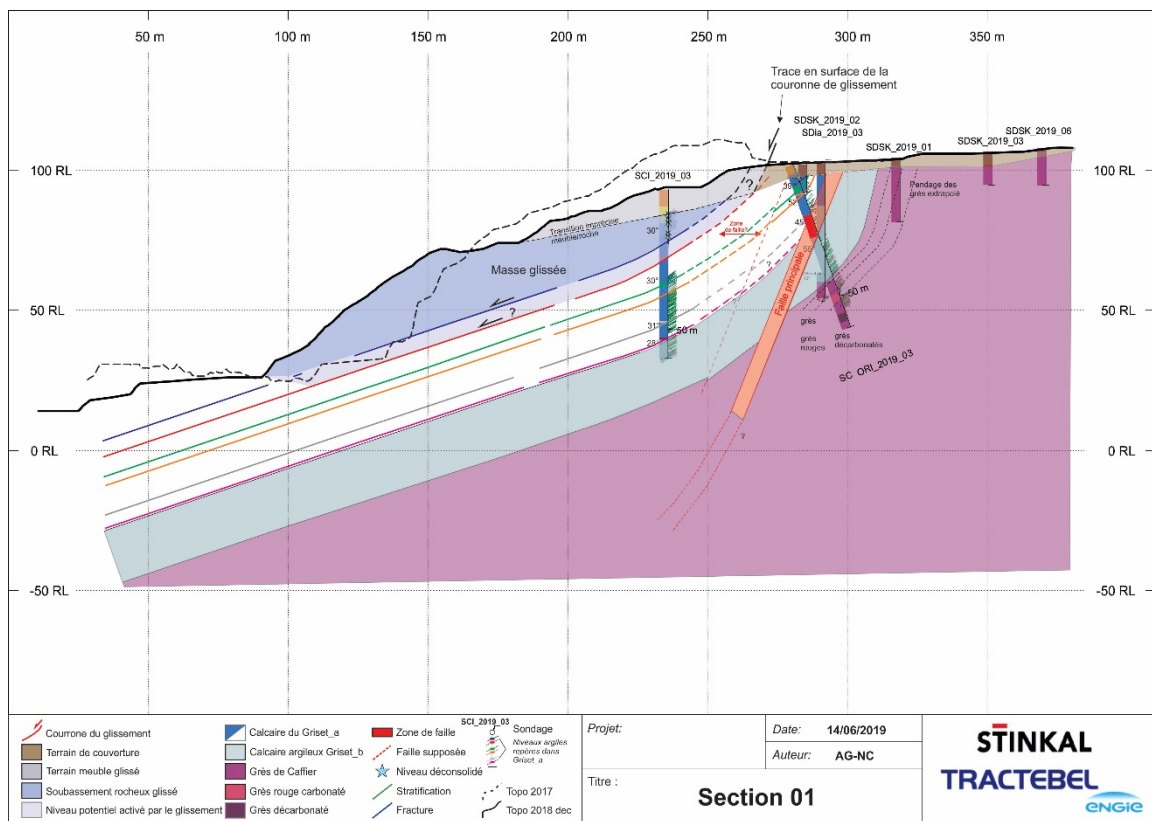
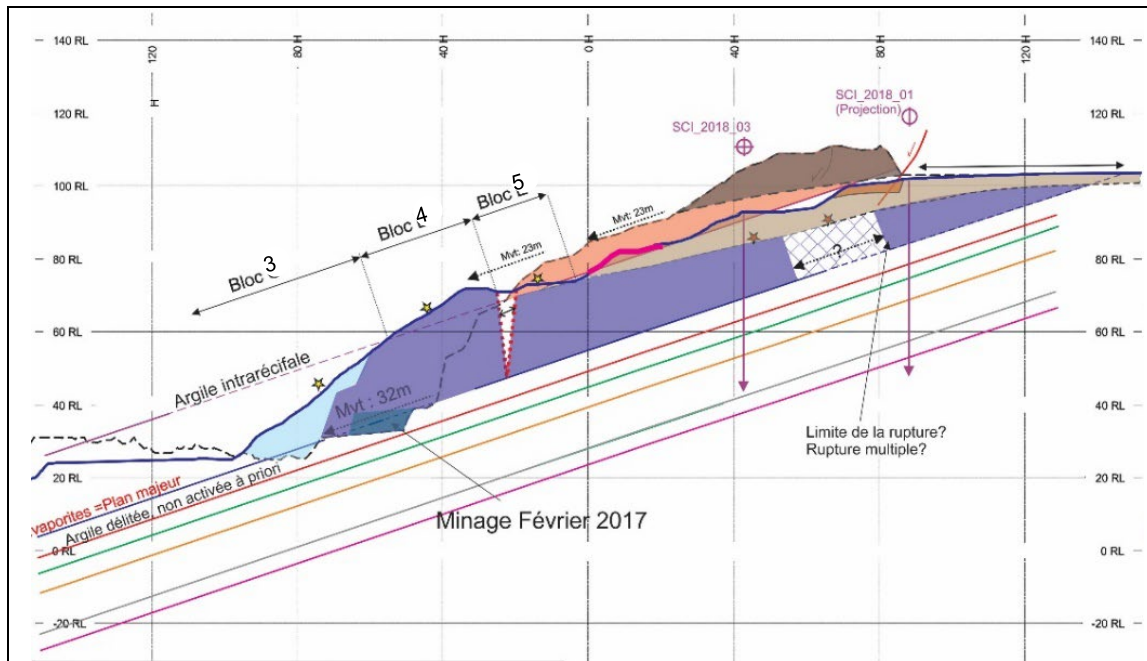


Figure 8 : Coupes (section) 1 dans le glissement – Dessus : coupe interprétative initiale de la masse glissée (Juin 2018, [7]) modèle préliminaire de 2018 avant la campagne - Dessous : modèle final après la campagne

La coupe 1 (**Figure 8**) dans le glissement illustre les caractéristiques suivantes découlant de la réinterprétation des données avec les résultats de la campagne de 2019:

- La présence des grès proches de la surface à moins de 50 m derrière la position de l'ancien merlon ;
- La présence des calcaires à 25 m environ derrière l'ancien merlon ;
- Une zone d'une faille normale clairement identifiée et mesurée affectant les calcaires de la base de la série Griset a ;
- Les pendages de la stratigraphie relevés dans le forage incliné, qui sont en moyenne supérieur à 45° et atteignant 52° ;
- Le pendage équivalent mesuré dans les grès ;
- Le redressement des pendages depuis un angle de 30° de la série entre les deux forages SCI_03 et SC_ORI_03 ;
- L'épaisseur des terrains meubles plus importante dans le forage SCI_03 ;
- La présence d'une série de niveaux rocheux fortement déconsolidés entre le toit du rocher et le premier niveau d'argile rencontré ;
- La corrélation possible entre la position de la couronne de rupture externe du glissement affectant les terrains meubles et les niveaux argileux 1 ou 2 (bleu ou rouge sur la **Figure 8**).

Ces observations décrivent clairement la présence d'une faille normale et son large crochon qui affecte les pendages des couches calcaires sur une distance d'au moins 50 m de part et d'autre de la faille où les couches sont fortement redressées,.

On constate, par comparaison avec le modèle initial de 2018 :

- Qu'aucun plan argileux candidat au glissement n'arrive loin en surface derrière l'ancien merlon ;
- Qu'il n'existe pas de bloc encore ancré en tête de glissement et en position instable ;
- Que la zone de faille (largeur de 6 m en surface, localement argileuse) marque potentiellement la limite maximale de la zone de glissement possible à ce stade.

A ce stade, il n'existe aucune évidence d'activation de plans autres que ceux des niveaux argileux 1 et potentiellement 2. Les plans situés en dessous sont empiétés dans la carrière (pendages plus raides que la topographie, donc non mis au jour), et ne constituent donc pas de candidats au glissement même vers la surface.

La coupe 2 (Figure 9) montre de fortes similitudes avec la coupe 1, mais également certaines différences :

- La même réorientation des structures, même géométrie globale ;
- La zone de faille suggérée par la forme des structures, et la position unique possible entre les petits forages de surface SDSK 04 et 05 ;
- L'absence de mesure directe de la faille dans un forage ; présence déduite de l'ensemble des données ;
- L'absence de la série du Griset b au nord de la faille, ce qui n'est pas le cas de la coupe 1 ;
- L'absence de mesure directe des pendages dans les grès au nord de la faille ;
- La même activation du glissement fortement suggérée du niveau d'argile 1.

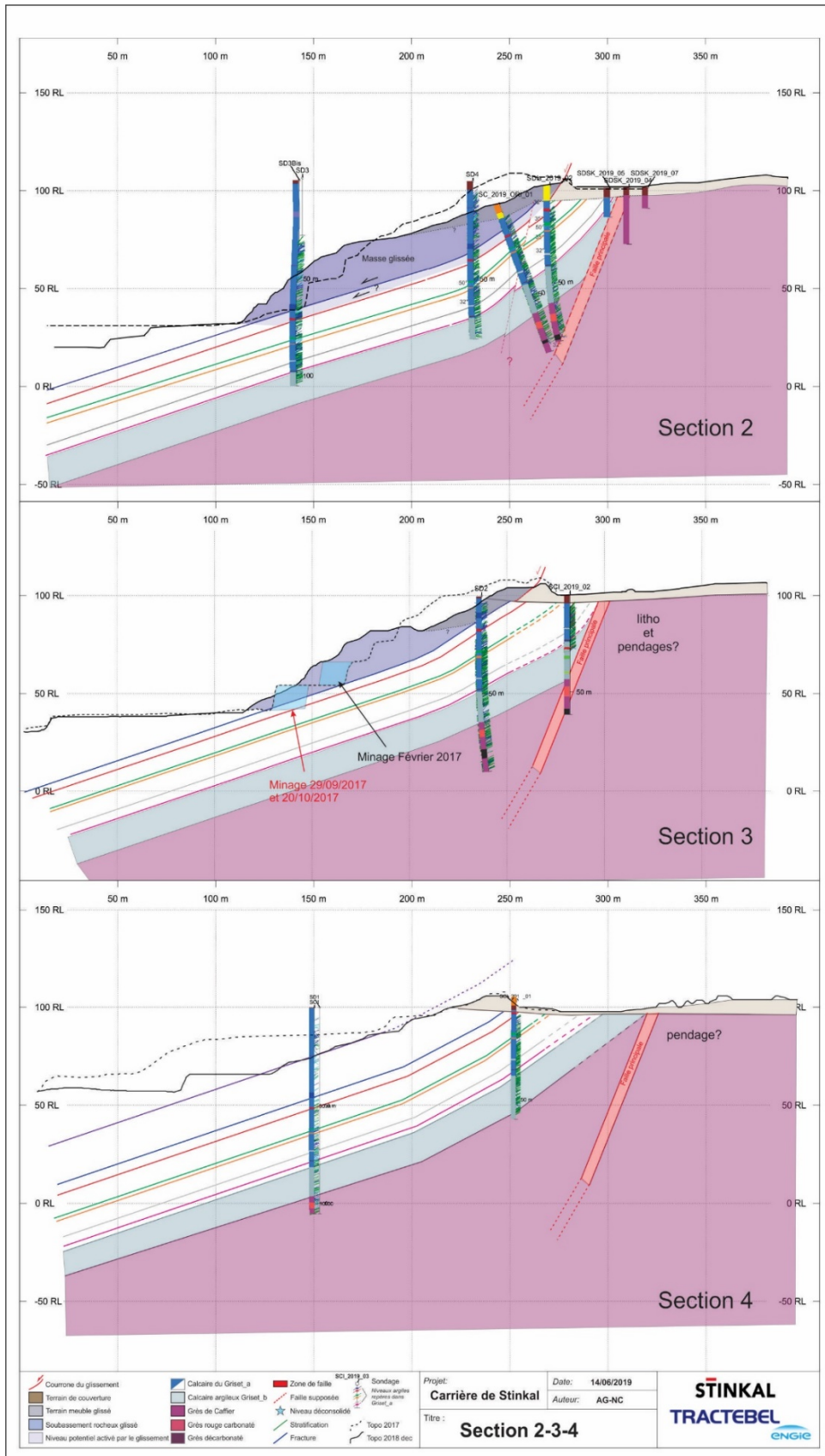


Figure 9 : Coupe 2 & coupe 3 dans la masse glissée ; Coupe 4 en dehors

Les forages sur l'axe de la coupe 3 (Figure 9) confirment la présence de la faille et la coupe 3 montre de fortes similitudes avec la coupe 2 (absence du Griset b au nord de la faille).

De plus, suivant l'orientation de la faille mesurée en forage, et d'après sa projection cartographique en surface, elle est parfaitement concordante avec sa position et son orientation sur les coupes 1 et 2. Les données indiquent donc que la faille est quasiment rectiligne entre les trois coupes.

Cependant, sur cette coupe :

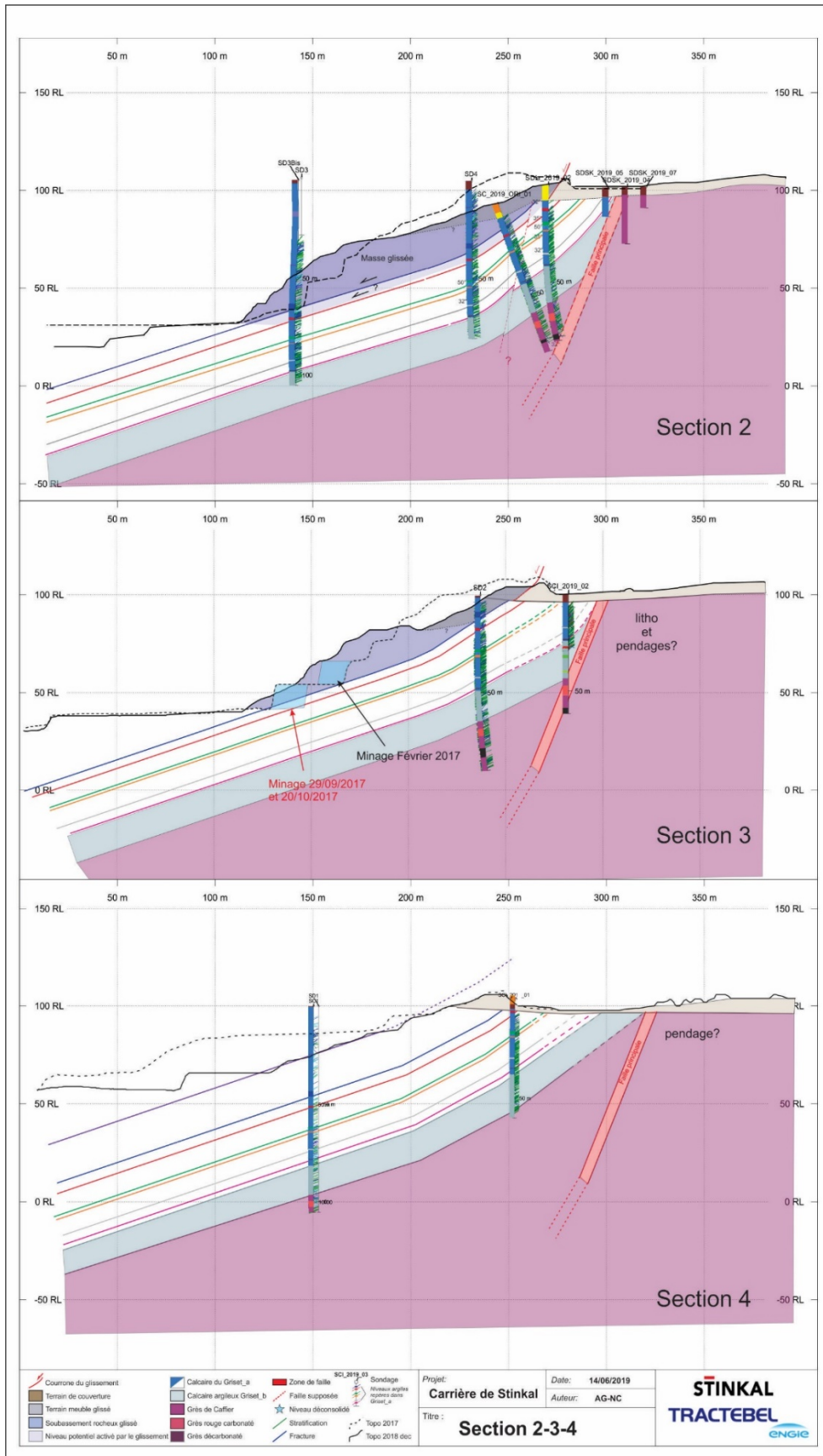
- La corrélation entre la trace morphologique du glissement (ruptures de surface) et les niveaux argileux 1 ou 2 n'est pas si claire. On constate aussi que le volume de masse glissée est plus faible que plus à l'ouest.
- Son empiètement est aussi plus haut (banquette rocheuse 15 m plus haute) ;
- Les structures sont moins largement affectées par la faille. On ne dispose pas de mesures de pendages au nord de la faille ;
- Les pendages près de la faille sont redressés à 45° dans les calcaires.

La coupe 4 (Figure 9) illustre la sortie de la zone de glissement. Ici, seul le niveau argileux au-dessus du niveau 1 affecte localement les angles des banquettes de la carrière (niveau 0), et :

- Aucun glissement en dessous n'est identifié en l'état des excavations ;
- La faille n'est pas observée en forage,
- Les angles de la stratigraphie sont fortement redressés jusque 45° dans le forage inclinométrique SCI_01.

Les coupes dans les blocs C et D (**Figure 10**) illustrent les décalages de la série par rapport au bloc tectonique B (siège du glissement), et :

- La coupe du bloc C montre un redressement des structures similaire à celui de la coupe 4 qui peut être interprété comme un début de crochon de faille affectant la série, mais la faille n'est pas identifiée directement ;
- La coupe du bloc D montre un décalage vertical de plus de 40 m de la série vers le haut, qui explique la mise à l'affleurement du Griset b sur le front nord et suggère que les grès soient directement sous le merlon. Le faible nombre de forages sur le front rend l'extrapolation des structures peu fiable.



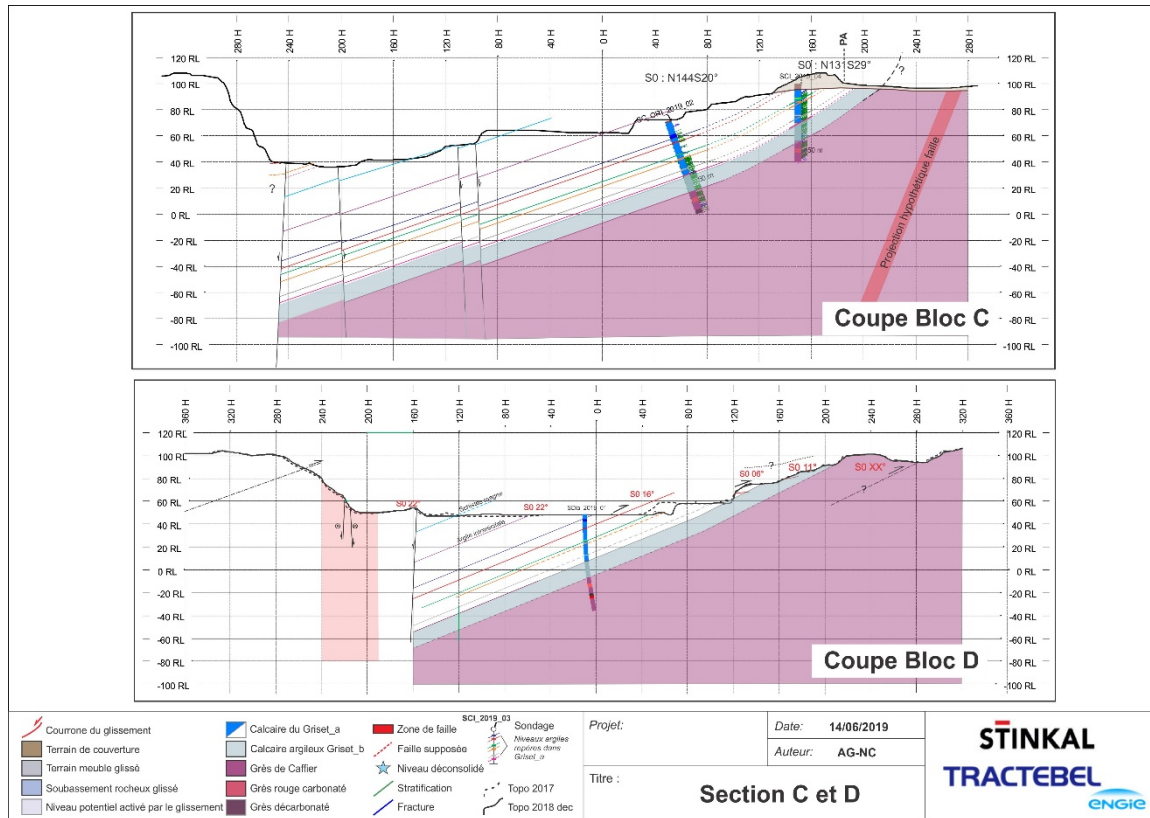


Figure 10 : Coupes des blocs C et D

4.1.6. Synthèse géologique

La zone de faille, illustrée sur les coupes 1 à 3, et la réorientation des pendages associés, jouent un rôle direct et significatif dans les mécanismes du glissement de 2017 : **les redressements des plans (causés par la faille) plus marqués au Nord-Ouest sont des facteurs naturels défavorables pour la stabilité.** A l'inverse, l'évolution de la structure vers le SE peut jouer un rôle stabilisateur naturel, moins propice au glissement. Ce point est abordé plus en détails dans les chapitres suivants.

On note que, **malgré la qualité de la cartographie du BRGM des terrains primaires du Boulonnais [12], cette faille n'avait jamais été mise en évidence auparavant.** Cela illustre de manière objective la difficulté à prédire les aléas de glissement dans ces zones complexes.

En conséquence, les moyens d'investigations mis en œuvre par Stinkal pour atteindre l'objectif fixé dans le cadre de la tierce expertise sont significatifs.

4.2. Analyse morphologique des glissements

L'analyse morphologique et temporelle des glissements ayant affectés la carrière a déjà fait l'objet d'une présentation orale et d'une note technique intermédiaire en juin 2018 ([6], [7]) afin de cibler et de préparer la campagne d'investigation. Nous rappelons ici les principaux points et résultats de ces analyses que nous pouvons confronter avec les résultats globaux.

4.2.1. Glissements historiques 2001-2014

L'ensemble de l'exploitation a fait l'objet d'une analyse détaillée des orthophotos historiques de la carrière afin de cartographier dans le temps l'ensemble des glissements passés. Une synthèse des cartes éditées en 2018 [6] est présentée ici (**Figure 11**).

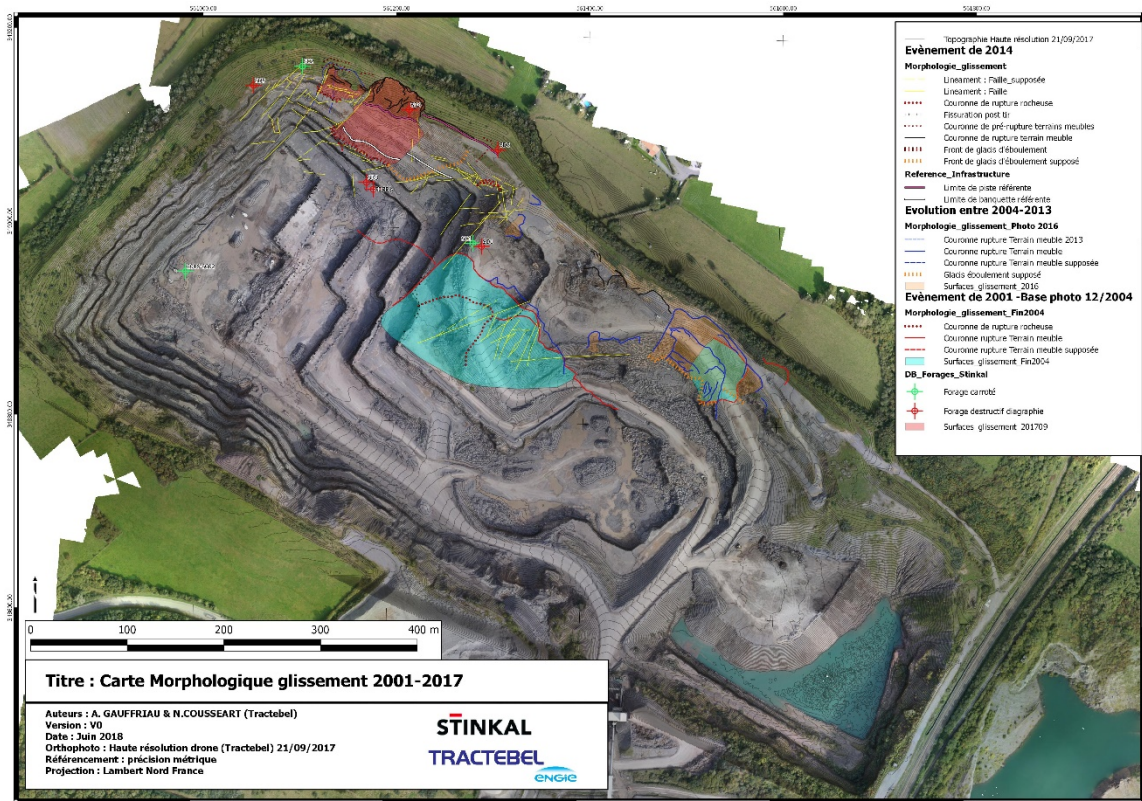


Figure 11 : Glissement de synthèse 2001-2017 avant le glissement d'octobre 2017. Dernier glissement significatif en 2014 dans le bloc B sur le front nord (rouge)

Depuis 2001, on constate que:

- Plusieurs plans de de glissements ont été activés lors des différentes phases d'exploitation,
- Les plus anciens plans identifiés correspondent à plusieurs niveaux stratigraphiques quasiment disparus à ce jour : les Schistes de Magne (niveau -1), et l'argile intra-récifale (niveau 0) ;
- Ces plans se situent au-dessus de ceux incriminés dans le glissement de 2017 ;

- Ces glissements plus anciens ont mobilisé des volumes relativement restreints et sont principalement liés à des ruptures de banquettes segmentées par les failles transverses décalant les blocs tectoniques ;
- Le plus significatif est celui de 2014, situé au sommet du front nord du bloc D ; la cicatrice « fossile » du glissement sera remobilisée par celui de 2017.

L'analyse des glissements passés démontre donc que dans cette série sédimentaire, **chacun des plans argileux est un candidat au glissement.**

4.2.2. Glissement de 2017- analyse dynamique

La zone du glissement de 2017 est cartographiée en détails avant/après glissement sur base de photos de haute résolution acquises par drone et de reconstitution de modèles topographiques 3D. La comparaison des photos sert de base à l'interprétation des mouvements et des mécanismes associés [6] dont les points principaux sont redétaillés ici.

Les dernières zones de tirs avant glissement sont intégrées aux cartes. Les résultats cartographiques sont présentés dans les Figure 12 et Figure 13 ci-dessous. Pour rappel, la reconstitution en 3D de l'ancien modèle géologique définissait l'intersection possible en surface des niveaux de faiblesse de la série de Blacourt (niveau 0, pointillé mauve, niveau 1, pointillé bleu).

On observe que :

- le niveau argileux 0 a été vraisemblablement activé lors du glissement de 2014;
- le niveau argileux 1 incriminé pour le glissement de 2017 était initialement suggéré (modèle Terrasol, [2]) comme pouvant se prolonger très loin derrière le merlon suivant l'ancien modèle monoclinale et planaire continu ; il est aujourd'hui mesuré comme redressé.
- avant le glissement, et sur environ 40% du pied du front, le plan du niveau argileux 1 n'était pas encore mis à jour par les tirs de mines, et donc une partie du bloc rocheux le surplombant restait encore empiété.

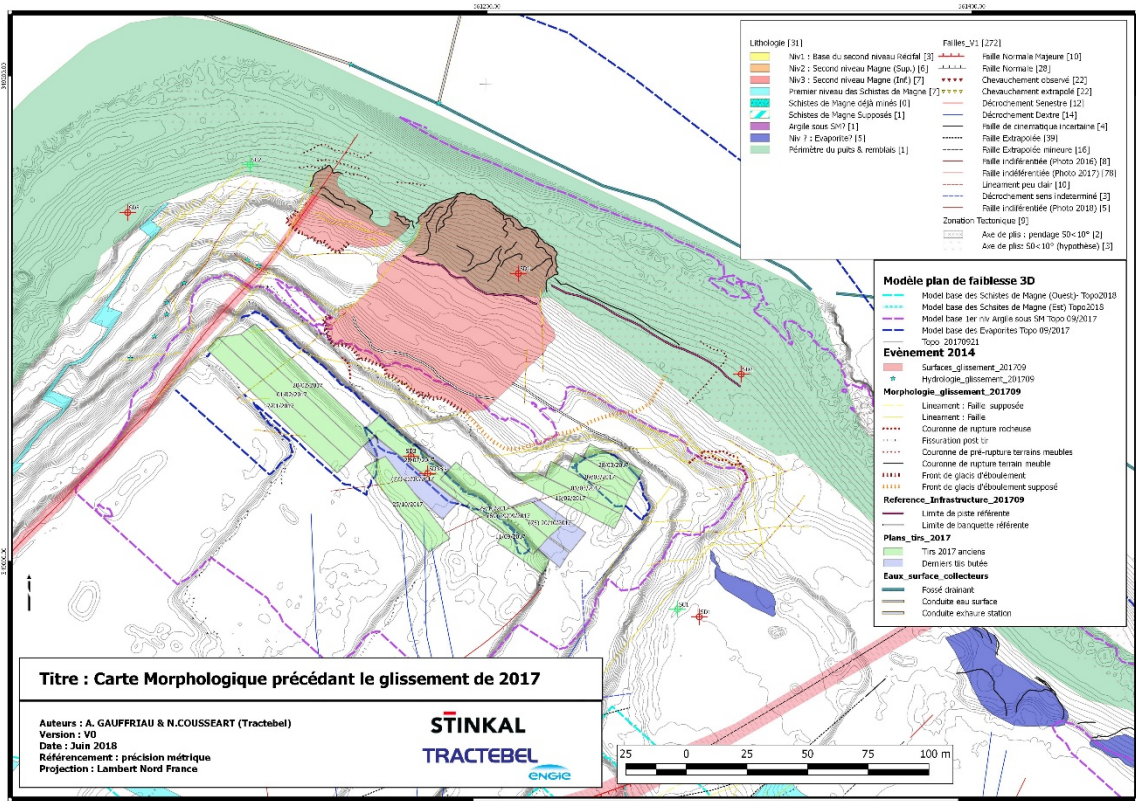


Figure 12 : Cartographie morphologique **avant** glissement d'octobre 2017. Glissement de 2014 sur le front nord. On note la présence du collecteur d'eau de pluie situé derrière le merlon tel que présenté sur la **Figure 2**.

Après le glissement (Figure 13), on observe que la masse glissée se divise en deux zones morphologiques :

- Les terrains meubles avec les merlons remaniés et éboulés en partie supérieure recouvrant en partie le toit des terrains rocheux ;
- Les blocs rocheux (blocs rocheux 1 à 7) des anciens fronts éboulés en partie inférieure délimités par des plans de ruptures majeurs.

On observe un important réseau de drainage et de nombreuses sources d'eau :

- Elles sont résurgentes sous la ligne de crête des terrains meubles de la zone réaménagée directement après le glissement ;
- Cela indique qu'il existait une importante source d'eau qui saturait la tête du glissement ;
- Il se forme un réseau de drainage qui disparaît dans des cavités masquées sous une faible épaisseur de couverture (cf. dans le bloc rocheux 5, Figure 13) et pénètre plus bas dans les fractures rocheuses ouvertes ;

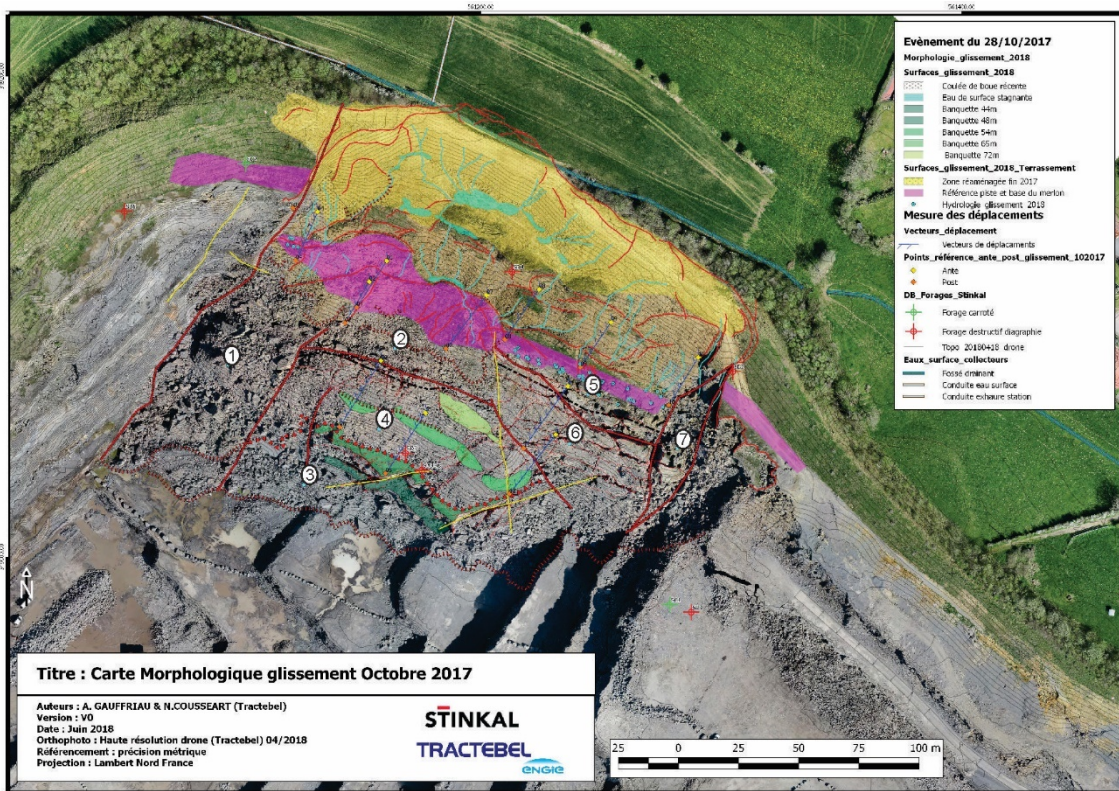
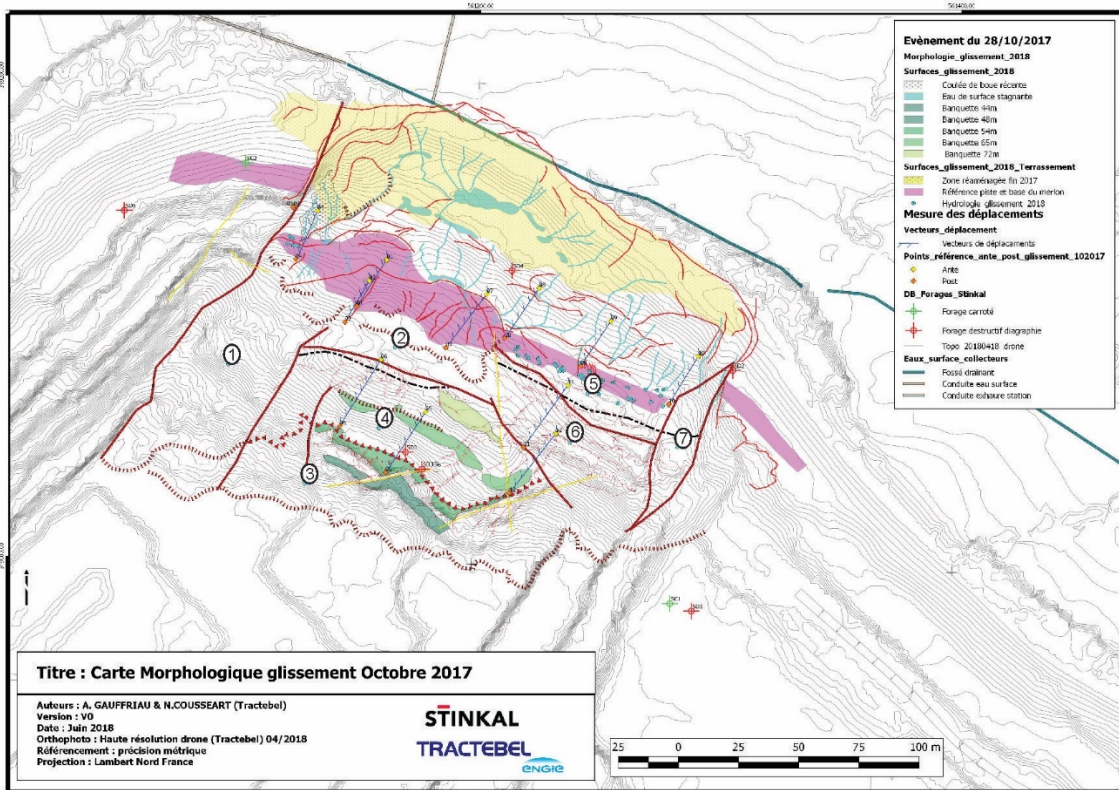


Figure 13 : Cartographie morphologique après glissement. On constate que la rupture a affectée l'ancien fossé de drainage situé derrière l'ancien merlon.

Les mesures des vecteurs de mouvement de points référents visibles sur les images drones avant et après le glissement montrent que :

- Les vecteurs de glissements sont homogènes et parallèles à la stratigraphie ;
- Les blocs rocheux avals 3 et 4 ont glissés de 32 m ;
- Le bloc rocheux 5 est affecté par une fracturation importante, son amplitude de glissement est équivalente ;
- Jusqu'en amont du bloc rocheux 5, on n'observe pas d'extension significative entre les blocs rocheux 3, 4 et 5. ;
- Le bloc 1 est fortement déstructuré et fragmenté accusant un mouvement global plus important.

4.2.3. Suivi des déformations de surface en 2018

Les nuages de points (photogrammétrie par drones) acquis par Stinkal sont comparés par entre novembre 2017 et avril 2018 (Figure 14). On constate une absence de mouvement significatif pouvant être attribué à des instabilités et/ou des glissements résiduels.

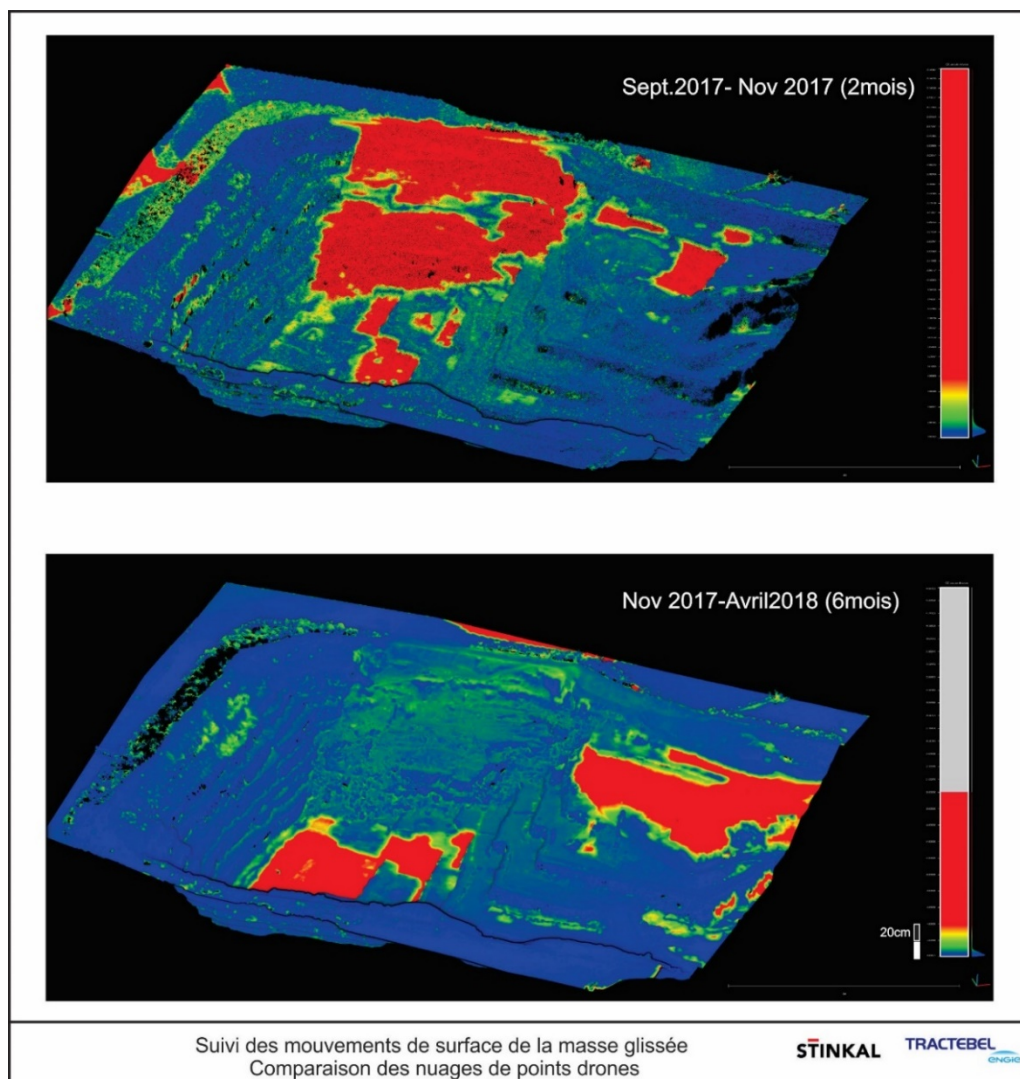


Figure 14 : Contrôle passif des mouvements de la masse glissée. Absence de déformation et de mouvement après l'évènement

La comparaison entre les nuages de points d'avril et de décembre 2018 ne montre pas non plus de mouvements. Le glissement est donc resté stable pendant au moins un an.

4.3. Hydrogéologie

4.3.1. Caractéristiques de l'aquifère

Les calcaires de Blacourt et les grès de Caffiers (Figure 16) forment un aquifère fracturé qui est situé entre deux formations plus imperméables (schistes de Beaulieu et Schistes Siluriens), d'après les cartes de l'étude d'impact de 1999 [12]. L'eau de cet aquifère est rabattue par pompage au niveau du carreau inférieur de la carrière.

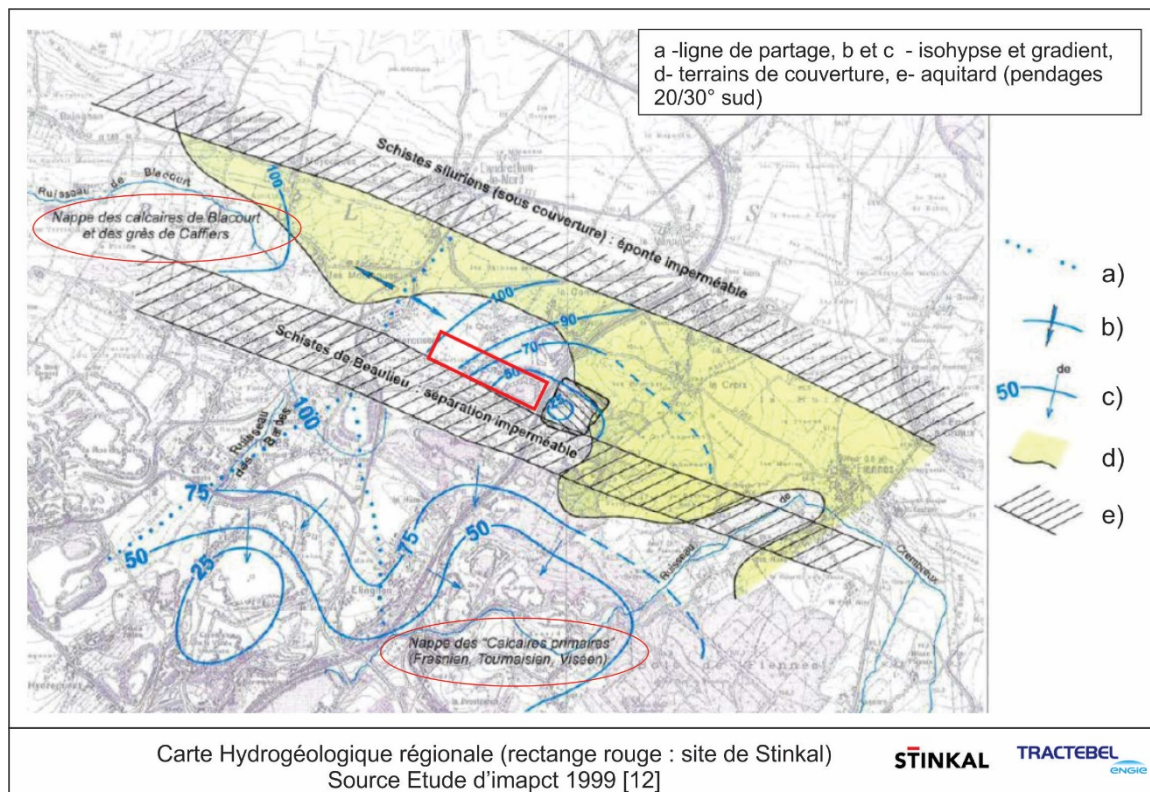


Figure 15 : Carte hydrogéologique régionale

Le contexte hydrogéologique local autour de la carrière est mal documenté. En l'absence d'un réseau de suivi, les caractéristiques du niveau piézométrique rabattu derrière les fronts ne sont pas clairement établies. Il n'existe pas de données fiables de caractérisation des aquifères (essais de pompages, etc).

Nos observations suggèrent cependant (Figure 16) :

- L'existence de réseaux karstiques identifiés dans la carrière. Une partie de ces karsts sont remplis par des fines venant de la surface ou d'argiles plastiques et variées. Des débits de ruissellement non négligeables (de l'ordre de 15-30 l/min) ont été observés ;

- La présence de résurgences d'eau dans le champ au nord-est du glissement, plus précisément au niveau de la rupture de pente située au droit des grès (Figure 16).
- Que les niveaux d'eau mesurés dans les forages au sud de la faille sont relativement bas par rapport à ceux estimés dans les grès;
- L'existence d'une fracturation plus importante à l'approche de la faille, qui induit une perméabilité plus grande dans les grès et les calcaires ;
- Une barrière hydraulique possible que formerait la zone de faille, la zone de brèche pouvant être, en effet, moins perméable.

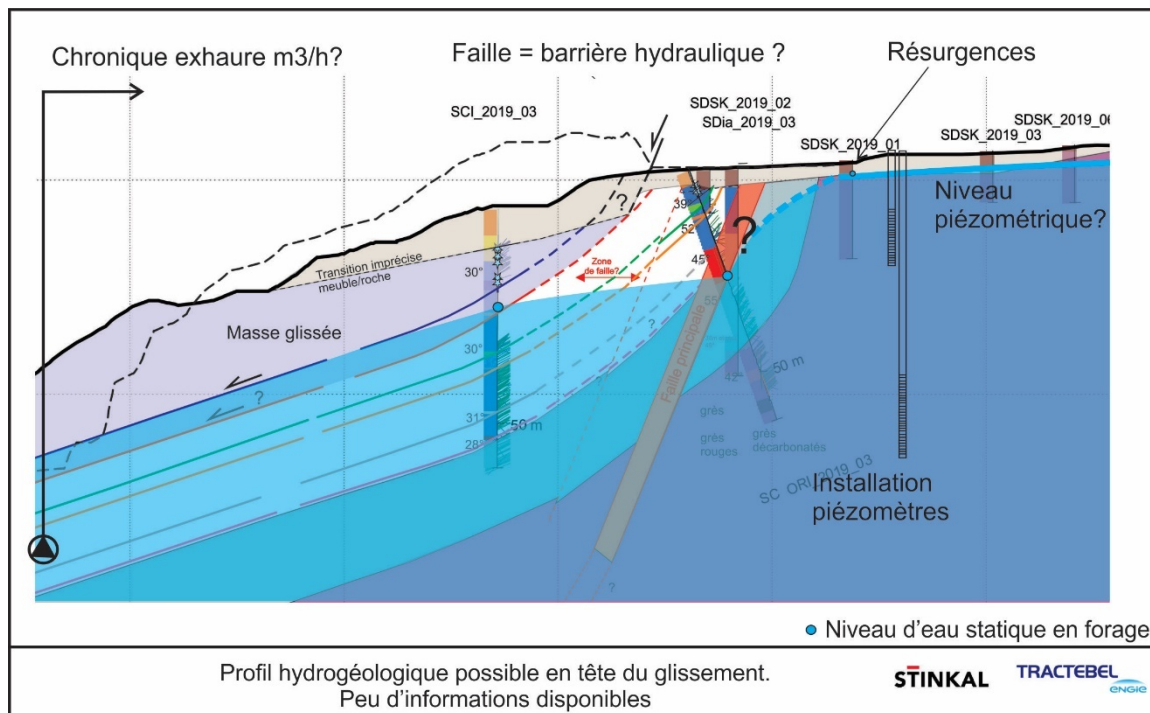


Figure 16 : Contexte hydrogéologique local possible en tête de glissement

La géométrie du toit de la nappe rabattue par les pompages en fond de fosse est donc approximative. **Le rôle probable de barrière hydraulique de la faille (gouge argileuse) n'est pas suffisamment documenté.** Le ressaut possible du niveau d'eau de part et d'autre mérite d'être mieux investigué.

4.3.2. Infiltration de surface

Un fossé de collecte des eaux pluviales de plusieurs villages alentours longe le pieds extérieur de l'ancien merlon et tout le front nord de la carrière (cf. **Figure 1**). Ce fossé recueille également les eaux à la sortie de la station d'épuration. Avant le glissement, ce collecteur était creusé à même les terrains naturels de couverture et sans aucune étanchéité.

Suite à nos recommandations lors de la visite de terrain, le fossé a été rapidement canalisé au printemps 2018 de manière temporaire mais efficace. En effet, **ce fossé constituait une source importante et permanente d'alimentation et de saturation des terrains meubles en tête de glissement**, et de l'aquifère fracturé des calcaires et grès sous-jacents. La saturation des terrains meubles est confirmée par l'analyse géomorphologique et la présence d'un réseau de résurgences en tête de glissement (Figure 13).

La situation d'un fossé ouvert en terrain naturel sans étanchéité était sans conteste de nature à contribuer à l'instabilité de zones à risque de glissement. Les quantités significatives d'eau maintenant observables suite à sa canalisation attestent de l'importance des infiltrations passées dans le sol.

4.4. Cause et mécanisme de glissement - synthèse

Les modèles géotechniques de stabilité établis lors des études précédentes (i.e. [11]), pour calculer les ruptures et expliquer ces glissements, reposaient sur des paramètres géotechniques uniquement indicatifs et non validés par des essais. Ces modèles établissent comme hypothèse de base de base, l'équilibre entre les frottements sur les plans stratigraphiques comme stabilisateur, et des pressions interstitielles comme moteurs. Par ailleurs, il n'existe pas de données géotechniques ni de calculs de coefficients de sécurité des pentes dans les sols et terrains meubles recouvrant le gisement.

La présente étude montre que les causes du glissement et les mécanismes associés sont les suivants :

- Le principal mécanisme mis en évidence est une rupture sur plan argileux, mécaniquement plus faible que les calcaires, parallèle à la stratification ; le plan incriminé principal est le niveau argileux 1 pour le glissement de 2017 ;
- L'ensemble des plans argileux de la série, et non pas un plan particulier, sont propices au glissement et activables avec des pentes de 20° minimum lorsqu'aucune butée de pied ne vient contrer la gravité en aval du pendage ;
- La géologie et sa structure faillée particulière sur le front nord est défavorable et localement très défavorable pour la stabilité, lorsque la série calcaire est fortement redressée vers la fosse (angle supérieur à 45°) ;
- Les pressions interstitielles au niveau des plans argileux, sont augmentées par l'apport d'eau infiltrée. La mise en pression diminue le caractère cohésif des joints de façon quasi instantanée ;
- Les observations des plans des niveaux incriminés en forages montrent que ceux-ci sont originellement jointifs et fermés dans la série, il existe deux causes principales permettant de les fragiliser et de les rendre perméables :
 - Fragilisation mécanique rapide de joints sains en conséquence des tirs de mines, et de la décompression de la roche associée ;
 - Altération de surface, dissolution in-situ lente liée (ou non) aux réseaux karstiques ;
- La présence des infiltrations d'eau depuis la surface par l'alimentation du fossé dans les fractures et des tirs de mines effectués en pieds de talus sont autant des facteurs amenant à une augmentation des pressions interstitielles qui ont conduit à la rupture.

En conclusion, l'ensemble des données anciennes et nouvelles confirme donc le mécanisme de glissement en plan proposé par Terrasol en 2018 [2]. Néanmoins, la présente étude y apporte les compléments d'information primordiaux et nuances suivants :

- Le glissement de 2017 a eu lieu **le long d'au moins un banc argileux (niveau argileux 1, et possiblement partiellement le niveau argileux 2)** déclenché très rapidement après la mise au jour du plan et le retrait des dernières butées ;
- Le mécanisme de glissement est **consécutif à des pertes de cohésion des joints argileux** (au moins pour partie), et non un mécanisme actif simplement en terrain purement frottant comme proposé par Terrasol [2] ;
- Nous supportons notre diagnostic par **de nouvelles évidences de terrain** :
 - **La présence d'une faille nouvellement découverte qui longe le front nord, dont le rôle est primordial,**
 - **La géométrie des plans argileux jointifs redressés à 50° à l'approche de la faille (crochon)** en comparaison avec les 20° dans la carrière ;
 - **La fracturation plus importante de la zone de faille** qui augmente la perméabilité de la zone et facilite le drainage vers le point d'exhaure en fond de carrière ;
 - **La présence supposée d'un niveau piézométrique proche de la surface au nord de la zone de faille** et un approfondissement rapide au sud de la faille ; le rôle de barrière hydraulique de la zone de faille (gouge argileuse) n'est pas encore bien documenté.

Ces facteurs (géométrie et pression d'eau) sont très défavorables à la stabilité, et donc à éviter pour la suite de l'exploitation. Il faut veiller à réduire les pressions d'eau interstitielles et à décharger les têtes de glissement.

Contrairement aux conclusions précédentes de l'étude Terrasol [2], il est possible d'agir sur certains facteurs pour réduire l'aléas du glissement de terrain moyennant le respect des conditions reprises ci-dessous. Cependant leurs efficacités sont limitées compte tenu de la forte pente des plans propices au glissement. La géométrie du gisement demeure un facteur dominant.

5. RECOMMANDATIONS

5.1. Ediction de la condition principale

La condition principale à respecter pour les deux étapes (i) de la reprise de la masse glissée, et (ii) pour le design global des fronts nord, s'articule en trois points :

- 1. Systématiquement **privilégier les excavations en amont du pendage**. Si cela s'avère impossible pour des raisons d'exploitation, alors les **plans stratigraphiques des niveaux argileux de la série situés en amont des zones à excaver devront toujours être empiétés** (cf. définition des niveaux/plans argileux au §4.1.1). Autrement dit, les plans argileux ne doivent jamais être mis à jour sur aucun des fronts subparallèles à la stratification ; la zone de faille elle-même ne peut pas être considérée comme un empiètement stable ;
- 2. **Définir une géométrie détaillée globale du front, adaptée aux conditions géologiques et aux variations des pendages observés, tout en respectant le point 1.** ; la pente globale ne nécessite plus d'être fixée à 18° comme initialement prescrite mais être adapté aux variations de pendages observés ;
- 3. **Limitier les résurgences d'eau en front** par la mise en place de drainages et/ou d'un **rabattement adapté si requis** ; à fortiori ce choix reposerait sur une meilleure connaissance des niveaux d'eau à l'arrière du front nord.

L'application stricte de cette condition principale permet de garantir, en l'état actuel des connaissances, la stabilité des futurs fronts et donc l'absence de glissement rocheux affectant les zones externes (dont le hameau de la Cédule au nord-est).

Afin de satisfaire aux réglementations administratives, deux étapes principales sont définies et guident les conditions d'exploitation à venir :

- i. La reprise de la masse glissée *stricto sensu* ;
- ii. La poursuite de l'exploitation impliquant un nouveau design du front nord et une extension du périmètre d'autorisation du site.

5.2. Conditions de reprises de la masse glissée

Les conditions de reprise de la masse glissée recouvrent plusieurs aspects :

- La stabilité des fronts rocheux en arrière de la masse glissée ;
- La sécurisation de la reprise de son exploitation.

5.2.1. Stabilité des fronts et de la zone en tête de glissement

La masse rocheuse éboulée constitue par son poids un appui pour les masses rocheuses situées en amont susceptibles de s'ébouler.

Sous condition d'application de la condition principale, **la reprise de manière sécurisée de la masse glissée est possible tout en garantissant la stabilité du hameau de la Cédule.**

En effet, les résultats montrent que :

- Premièrement et en l'état des connaissances actuelles, il n'est pas identifié de bloc en appui sur le massif glissé, au-delà de la couronne de rupture en tête de glissement qui serait en position instable (cas de l'ancien modèle, Figure 8),
- Deuxièmement, l'empiètement des plans argileux formant la base de la masse glissée (niveau rouge par mesure de précaution) peut être maintenu lors de sa reprise sans significativement élargir l'emprise des excavations.

Une séquence de reprise possible est illustrée schématiquement sur la coupe ci-dessous (Figure 17).

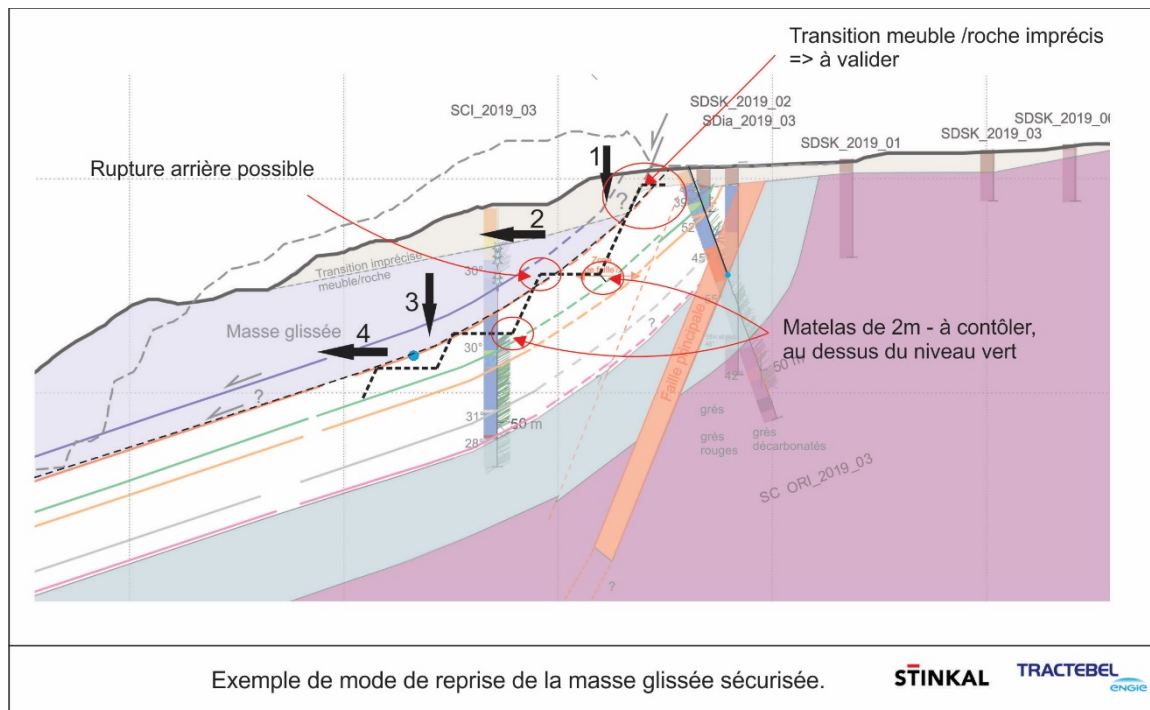


Figure 17 : Exemple d'excavation sécurisée de la masse glissée respectant la condition principale, et points d'incertitudes à lever lors des contrôles de terrain durant l'excavation.

Afin de permettre l'application de la condition principale, **un modèle géologique 3D servant de base à un plan d'exploitation détaillé doit être développé.** Il doit prendre en compte les remarques et limitations suivantes:

- La transition terrain meuble / roche demeure localement imprécise et doit être validée, notamment dans la zone d'émergence de la couronne de rupture principale ; les angles des fronts devront en effet s'accorder selon la nature meuble ou rocheuse des terrains,
- Les pendages stratigraphiques, comme ceux des plans argileux, varient latéralement le long de la faille (>45° à l'Ouest - coupe 01 et 35° à l'Est - coupe 03), et la faille est légèrement sécante par rapport à la stratigraphie ; la géométrie globale du front doit donc s'y adapter,

- Les plans argileux ne doivent jamais être mis au jour sur les fronts lorsque leur azimuts respectifs sont proches (fronts et plans argileux subparallèles) ; cela n'est donc pas applicable pour les fronts latéraux comme celui limitant les blocs tectoniques A et B par exemple ;
- La séquence d'excavation (1,2,3 etc.) permet de rester en amont du pendage des masses glissées, et en aval de plans argileux empiétés. Ici la cible du début de l'excavation doit se situer en amont du plan rouge et aval du plan vert.

En support du développement initial du modèle 3D des fronts, la géométrie finale du front (Figure 17) est possible avec :

- Un premier front de 15m suivant la verticalité accrue des pendages, puis des paliers de 10m de large et des fronts de 10m, etc;
- Le respect d'un banc matelas estimé à ce stade à minimum 2m au-dessus du plan vert, quitte à générer des ruptures arrières sur les bords des banquettes que recourent le plan rouge (risques prévisibles et contrôlables durant l'exploitation);

L'épaisseur du banc matelas sera validé par les relevés de terrains.

Le design des plans d'exploitation requière donc un contrôle et une validation pour minimiser des risques résiduels d'instabilité, et adapter le plan d'excavation au fur et à mesure de l'avancement. Le premier contrôle doit intervenir après la découverte.

5.2.2. Principes de sécurisation dans la masse glissée

Considérant l'état fracturé de la masse glissée, la possibilité de basculement de blocs de très larges dimensions et l'impossibilité de les prédire, il est recommandé :

- D'effectuer une extraction temporaire en banquettes réduites (c.a. 5 m de hauteur) afin de réduire le risque de chutes de blocs principalement dans la zone de la masse glissée ;
- D'adapter les méthodes et plans de tirs au cas par cas, et de dégager les blocs fracturés par pétaradages individuels ou au brise-roches ;
- D'éviter l'usage non encartouché d'explosifs ;
- D'effectuer des contrôles de terrain réguliers par des géologues expérimentés lors des premières étapes (1 et 2 principalement) et de mettre à jour le modèle géologique 3D et le plan d'exploitation lorsque requis.

5.3. Poursuite de l'excavation des fronts nord et accès au gisement

L'application de la condition principale (cf. §5.1) conditionne aussi les excavations des fronts nord, pour accéder, dans un second temps, au gisement sous la masse glissée et vers le sud-est. La proximité directe du hameau de la Cédule implique de devoir le sécuriser au maximum.

La position du front nord doit donc être définie d'après les conditions **géologiques existantes en priorité là où le hameau est le plus proche du gisement** (cf. la coupe 3bis de la Figure 18, implantation Figure 19). L'extension possible au nord-ouest et au sud-est du front en découlera.

5.3.1. Coupe géologique proximale du hameau de la Cédule

Sur cette coupe géologique (Figure 18) on observe que :

- La masse glissée est délimitée au nord par une diaclase d'azimut NS,
- Le merlon et les terrains meubles ne sont pas affectés par le glissement,
- L'épaisseur des terrains meubles naturels est faible (inférieure à 3m),
- Les pendages des plans argileux sont de minimum 35°, et devraient se verticaliser à l'approche de la faille,
- La base du gisement (toit du Griset b) arrive proche de la surface en étant tout proche de la zone de faille,
- Une partie des informations structurales sont extrapolées, notamment au nord de la faille dans les grès (à priori >40°),
- Les conditions de stabilité de grès ne sont pas bien documentées,
- La zone de faille est une zone de faiblesses relative (vis-à-vis des calcaires et des grès), et délimite la limite sud des propriétés,
- La distance entre la base externe du merlon actuel et les propriétés voisine n'est que de 30 m.

D'après ces conditions géologiques, sans confortement du massif, et dans la limite des connaissances actuelles, **afin de sécuriser le hameau de la Cédule il est recommandé:**

- De positionner la crête du **premier front rocheux à une distance d'au moins 10 m au sud de la zone de faille**, afin de créer une **butée minimale stabilisant la faille et les terrain gréseux** au nord-est dont les conditions de stabilité restent mal connues ;
- De maintenir ici aussi un banc matelas d'au moins 2m quitte à sacrifier à terme des ruptures arrières sur les banquettes, dont la stabilité est sous le contrôle de l'exploitant et dont la probabilité de rupture peut-être calculée par analyse cinématique ;
- De ne pas dépasser à priori des pentes de 2/1 dans les talus des terrains meubles limoneux sans justification géotechnique complémentaire, ou sans confortement des terrains meubles ;
- De ne pas dépasser des pentes de 65° dans les fronts calcaires du Griset a, comme effectué historiquement dans la carrière, afin de limiter les glissements localisés ;
- D'ajuster la géométrie des banquettes en profondeur afin de ne pas mettre à jour les niveaux argileux.

Un exemple conceptuel de design en fronts et banquettes de 10m est représenté sur la Figure 18 pour illustrer la possibilité de s'approfondir au maximum en sécurité en respectant les conditions ci-dessus.

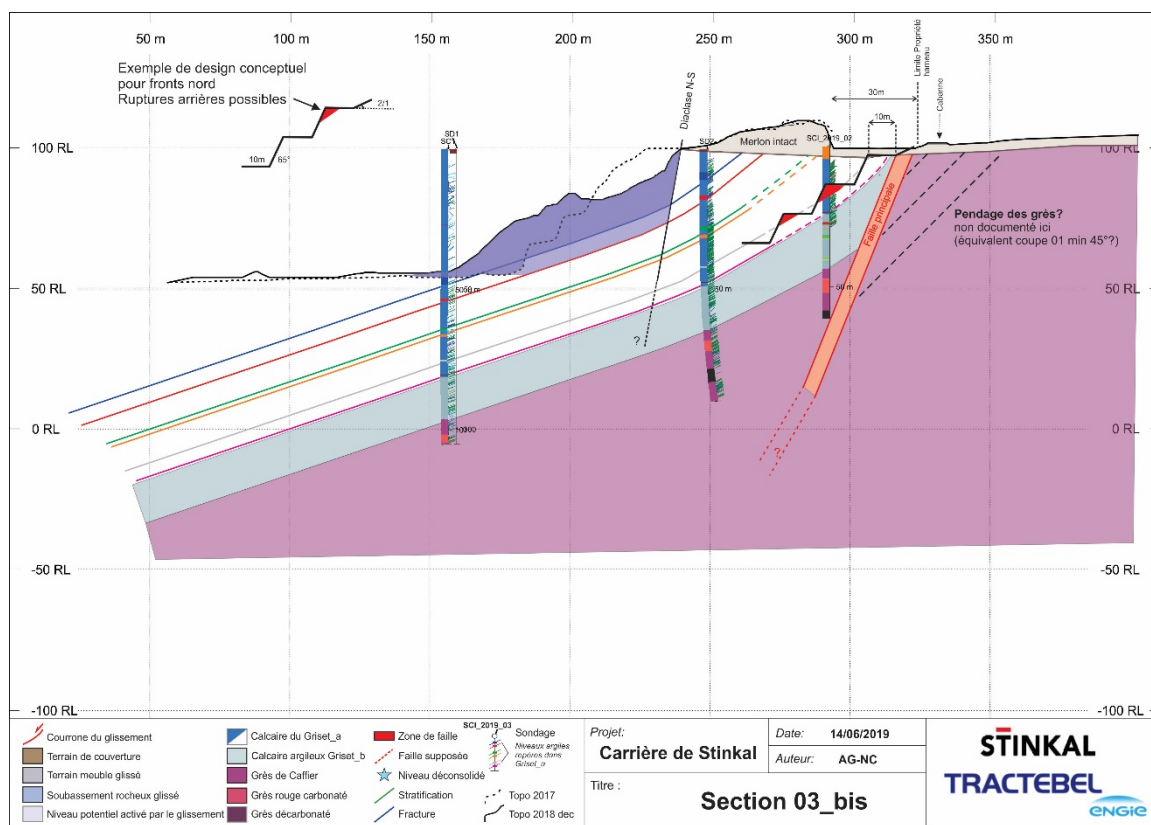


Figure 18 : Exemple d'excavation conceptuelle. Coupe 3bis où le hameau est le plus proche du gisement. La faible distance entre les niveaux gris et rose induite des ruptures arrières possibles.

Cependant, dans ce cas, l'accès au gisement n'est pas complet. Il est limité au-dessus du niveaux argileux rose (niveau 6).

On rappelle que ce design n'a qu'une valeur conceptuelle. Le modèle 3D de phasages de l'exploitation doit être développé et justifié par Stinkal.

Des solutions alternatives impliquant des confortements spécifiques et mise en sécurité des premiers fronts sont aussi possibles.

5.3.2. Limite cartographique sécurisée du front nord

La limite cartographique maximale des premières excavations rocheuses (Figure 19) est déterminée d'après la coupe 03bis et justifiée par les résultats de cette étude:

- Vers le sud-est à partir de la coupe 03 bis, son tracé doit être parallèle à la stratigraphie, ce qui permet, tout en augmentant la largeur de la butée devant la faille (>30m), d'atteindre le gisement au-dessus du niveau 6 (rose) ;
- Vers le nord-ouest, jusqu'à la coupe 01, le maintien d'une butée calcaire de 10 m devant celle-ci (limite pointillée sud) ne permet plus d'accéder au gisement de la même manière (accès au-dessus du niveau argileux 6 - rose) ; en effet ce niveau s'enfonce de plus en plus vers l'ouest (Figure 20), et les niveaux argileux supérieurs seraient mis à jour sur les fronts dont la géométrie ne peut pas varier si rapidement;

Au-delà de la coupe 02 vers le nord-ouest, la position de la limite n'impacte plus la stabilité du hameau; ici, il est nécessaire de recourir au modèle 3D d'exploitation pour définir et justifier la géométrie exacte des fronts.

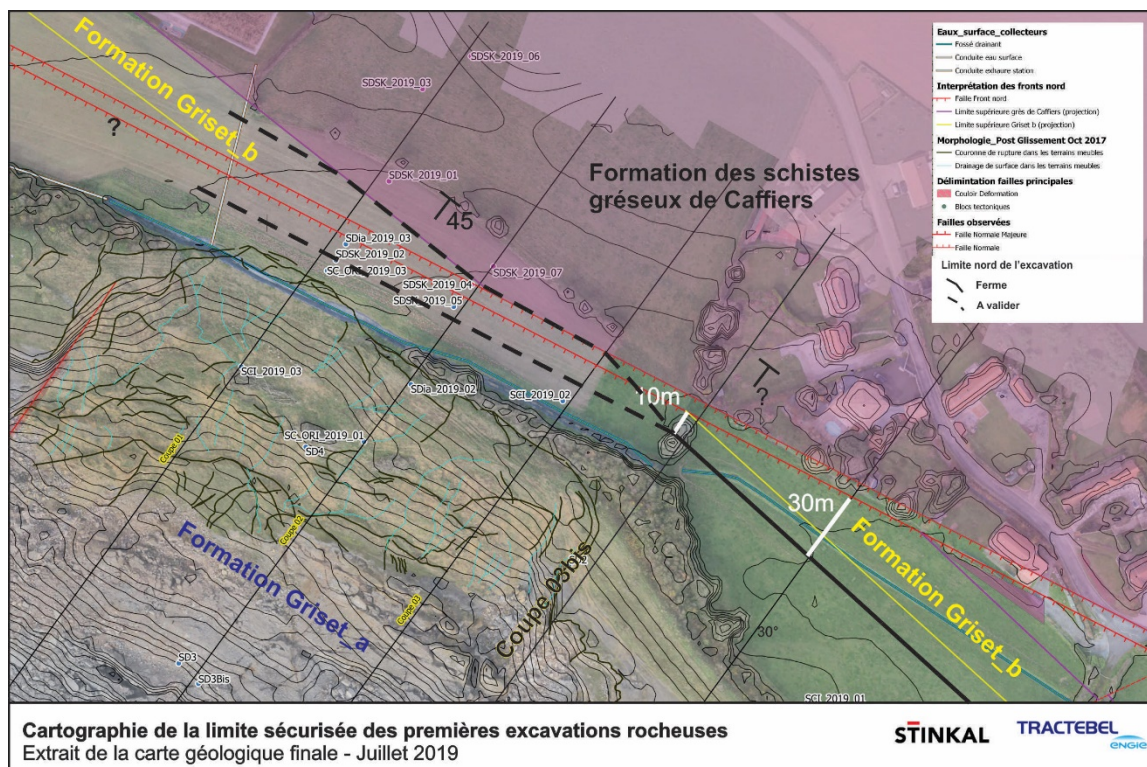


Figure 19 : Cartographie de la limite sécurisée de la position des premières excavations rocheuses. Sécurisation du hameau de la Cédule. Tracé des fronts nord à valider pour la partie nord-ouest

5.3.3. Problématique et solution pour la zone nord-ouest

Dans cette zone, la présence du Griset b au nord de la faille pourrait aussi servir de butée soutenant l'ensemble des grès. De plus, les structures dans ces deux formations y sont fortement verticalisées ce qui limite les risques d'instabilité (empiètement assuré). Cependant, on rappelle que les conditions géotechniques y sont mal documentées.

L'analyse comparée des coupes et 01 et 02 et 03 montre que (Figure 20):

- La seule possibilité géométrique permettant l'accès complet au gisement est de placer le premier palier sur la faille de la coupe 03 et 02 (limite en pointillés nord sur la carte de la Figure 19) et de s'enfoncer directement dans le Griset b ;
- Cela implique que sur la coupe 01 le premier palier se retrouve dans le Griset b et que la faille soit sur le palier 3.

De cette manière, la condition principale est respectée, et on évite quasi-complètement les problèmes de rupture arrière sur les fronts en plaçant les fronts au sein de la formation épaisse du Griset b.

Néanmoins, ce design conceptuel des fronts implique de **devoir proposer des solutions de confortement** sur les fronts supérieurs à partir de la coupe 03 et vers le nord-ouest.

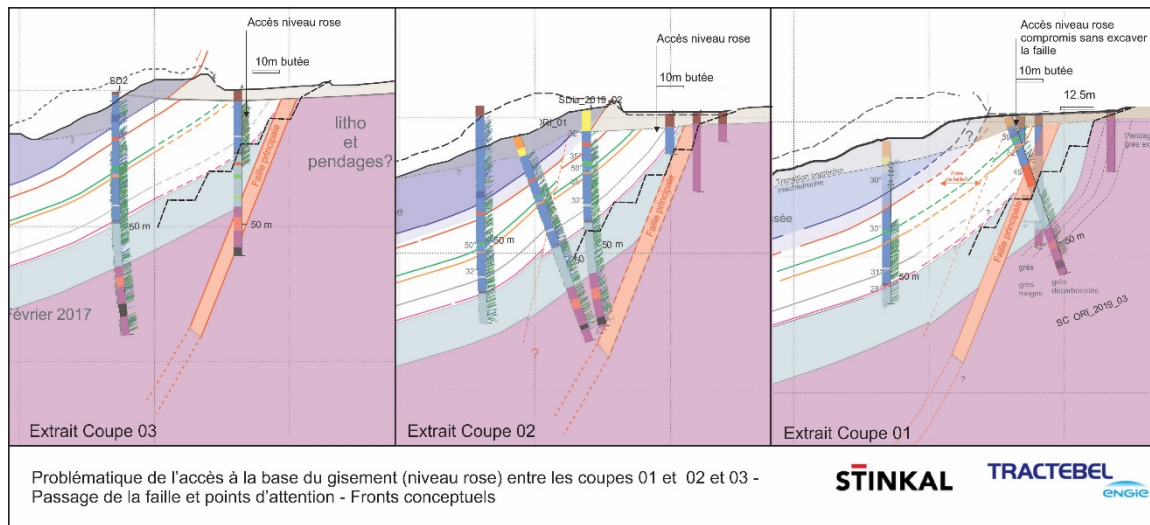


Figure 20 : Analyse comparée des coupes 01 à 03 et géométrie conceptuelle des fronts à étudier.

La possibilité de reculer le front en recoupant la faille peut dès lors être envisagée, considérant **la sécurité qu'offre l'empiètement des grès et du griset b**, sous couvert de solutions de confortements qui restent à étudier / proposer pour garantir la stabilité au niveau des grès et de la faille.

En corollaire et résumé, on constate que si la proposition initiale de la coupe 03bis - accès au niveau rose (Figure 18) est possible sans confortement vers le sud-est, elle n'est plus applicable vers le nord, où, même en limitant l'accès au gisement au niveau rose, des confortements seront dans tous les cas à étudier ou à envisager. La solution la plus sécurisante est de placer la majorité des fronts dans le gris et b en confortant localement les niveaux supérieurs, aux endroits requis.

Les résultats croisés de l'étude hydrogéologique en cours, du modèle géologique 3D et des scénarios de plans de phasage devront permettre de juger de la nécessité et de l'étendue d'une étude géotechnique et de design de solutions de confortement optimales.

5.4. Validation des plans d'extraction & monitoring

Le programme de phasage de la reprise de l'exploitation et des fronts nord et celui du monitoring de la stabilité (mesures, contrôle de terrain et surveillance) découle des résultats de la tierce expertise. Il s'établit en deux phases afin de satisfaire aux prescriptions administratives en vigueur :

- i. pour la reprise de la masse glissée (phase 1)
- ii. pour la poursuite de l'exploitation des fronts nord (sous les formations éboulés) nécessitant une extension du périmètre d'autorisation (phase 2).

Le schéma fonctionnel permettant de mener ces deux phases en parallèle est décrit sur la Figure 21 ci-dessous.

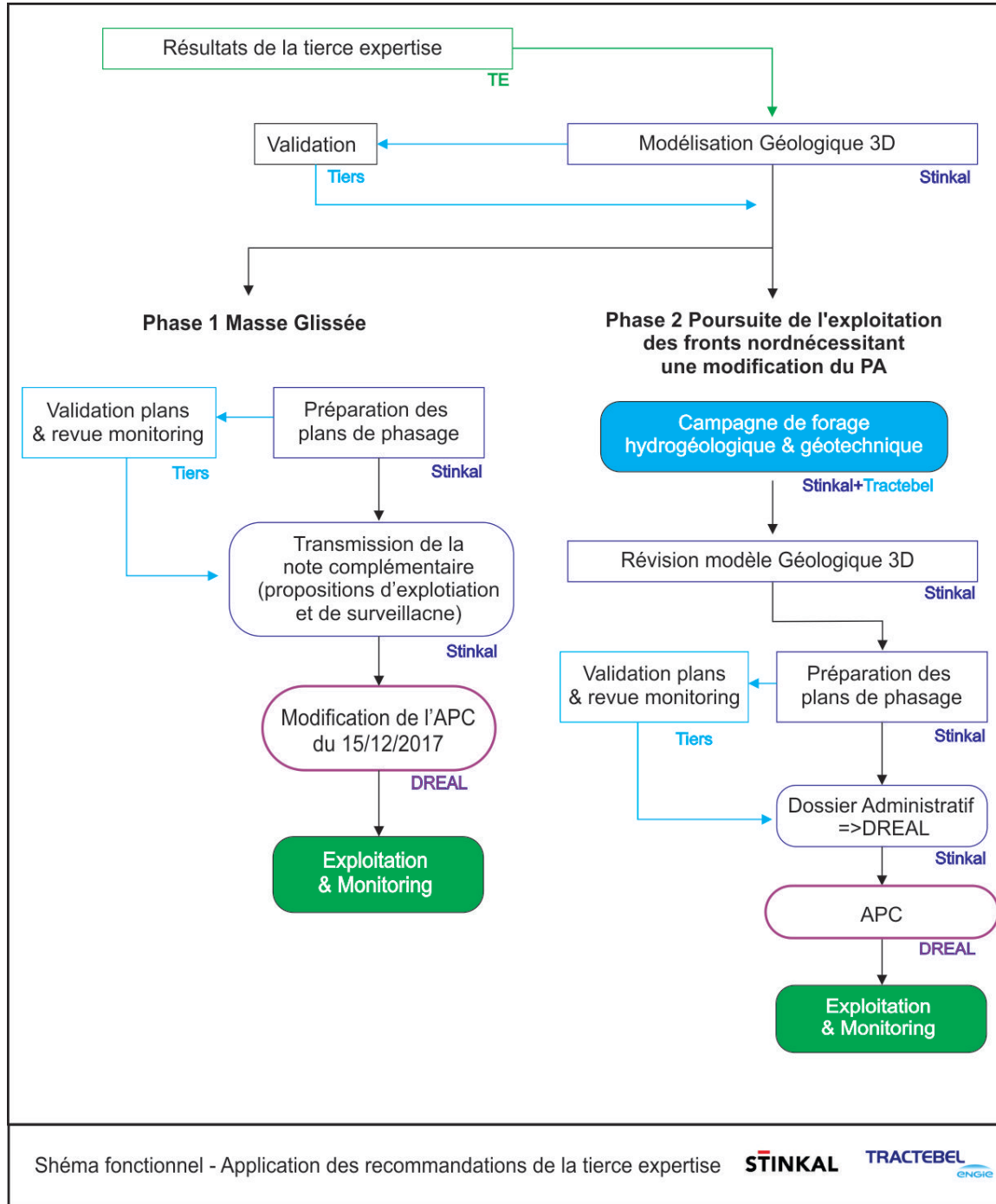


Figure 21 : Schéma fonctionnel en application des résultats et de la recommandation de la tierce expertise.

This document is the property of Tractebel Engineering S.A. Any duplication or transmission to third parties is forbidden without prior written approval

5.4.1. Modélisation géologique 3D & validation des plans d'exploitation

Les actions concrètes prescrites sont applicables pour chaque phase:

1. Développement d'un modèle géologique 3D numérique précis,
2. Préparation des plans de phasage détaillés (inclus la géologie, les limites administratives, etc.),
3. Préparation d'une note explicative de synthèse associée aux plans d'exploitation et justifiant le respect de la condition principale (notamment pour la zone nord-ouest),
4. Validation du modèle et de la note explicative décrivant le phasage d'exploitation par un tiers expert.

Pour la phase 1 (reprise de la masse glissée), ces actions peuvent être lancées dès à présent. Pour la phase 2, une campagne de reconnaissance hydrogéologique et structurale en préparation viendra compléter la base de données afin de pouvoir valider les plans d'exploitation.

5.4.2. Monitoring et contrôle de la stabilité

Les programmes de monitoring décrits ci-dessous seront revus, précisés et détaillés après la préparation et la validation des plans d'exploitation (cf. §0 et Figure 21).

L'acceptation de l'ensemble devrait permettre le levé pour la phase 1 de l'interdiction d'exploitation consécutif à l'APC du 15/12/2017 [1].

5.4.2.1. REPRISE DE LA MASSE GLISSÉE

Les actions concrètes prescrites sont les suivantes :

5.4.2.1.1. Sécurisation des accès :

1. Contrôle de stabilité actuelle de la masse glissée (relevés drones et modèle numérique de surface du terrain, relevés des inclinomètres),
2. Validation des accès sur la masse glissée avant démarrage physique des travaux (remblais, déblais des découvertes, etc.).

5.4.2.1.2. Monitoring de stabilité et mise à jour itérative du modèle géologique

Afin de garantir la sécurité, la combinaison des observations de terrain, des relevés de surface et en profondeur, doit permettre de valider le modèle géologique et l'adéquation des plans d'exploitation de manière régulière et itérative. Cette approche permet de s'affranchir de la mise en œuvre de systèmes de mesures permanentes des déformations de surface par station totale robotisée.

1. Support de levé drone (mensuel), comparaison des nuages de points,
2. Mesures inclinométriques régulières (mensuelles) et rapport interprétatif,
3. Contrôles de terrain réguliers par des géologues expérimentés (voir détail ci-dessous),
4. Analyse morphostructurale sur base de drones et données de terrain,
5. Contrôle de la validité/amendement du modèle géologique et mise à jour de la cartographie 3D si requis,

6. Recommandations au cas par cas du phasage et de la mise en œuvre de moyens de surveillance ou de stabilisation complémentaires si requis (butée temporaires, mise en place d'extensomètres, alarmes, etc...)

Les données géologiques suivantes devront être collectées :

- Mesures structurales des pendages, relevés directs de la zone de faille, des failles secondaires, identification de la position dans la série stratigraphique si possible,
- Identification des zones de karsts, et zones spécifiques sujettes à instabilités locales, observations hydrogéologiques, résurgences, etc.

5.4.2.2. POURSUITE DE L'EXPLOITATION DES FRONTS NORD

Les actions concrètes prescrites sont similaires à celle recommandées ci-dessus pour la reprise de masse glissée, mais concerneront les premières phases d'exploitation uniquement.

Cependant, une attention particulière sera requise pour l'approfondissement de la partie nord-ouest du gisement.

6. CONCLUSION

Les causes et mécanismes responsables des instabilités ayant menés au glissement de 2017, ainsi que leurs conséquences, sont mieux identifiés. Des reconnaissances complémentaires dédiées (campagne de cartographie géologique puis forages) menées entre les printemps 2018 et 2019 viennent en appui de cette étude. Ces nouvelles données sont combinées à l'analyse historique des photos aériennes et des photos drones récentes (développement d'une cartographie 3D et cartographie géomorphologique détaillée).

Les résultats montrent que plusieurs plans de stratification (niveaux argileux de la série calcaire du Griset) furent à l'origine de glissements indépendants par le passé. L'unique caractère monoclinale homogène de la carrière (pendage moyen de 18-20° vers le sud) tel que proposé antérieurement est en réalité plus complexe. Nos résultats permettent de découvrir que la série sédimentaire est affectée par **une faille normale décrochante orientée ONO-ESE (azimut N120, pendage S65°) qui délimite globalement le front nord**. Dans le Bloc tectonique « B » siège du glissement de 2017, **les couches se verticalisent d'environ 30° par rapport à leur état initial, et ceci sur une bande de plus de 50 m de long au sud de la faille**. Dans les blocs tectoniques plus au sud-est (C et D), des structures similaires sont attendues. **Cette faille était inconnue jusqu'à présent**. Elle n'était ni précisée dans la bibliographie, ni mentionnée sur les cartes du BRGM.

Le mécanisme de glissement proposé en 2017 a donc été révisé sur base de ce nouveau modèle géologique, et qui dès lors conditionne : **i.** l'intervention sur la masse glissée ainsi que la méthodologie de reprise en exploitation de cette masse, **ii.** les périmètres de risques de nouveaux glissements ainsi que **iii.** les procédures de limitation des risques et de surveillance de l'exploitation.

Les causes géotechniques des instabilités sont liées à la géométrie des plans redressés, à la présence d'eau en tête de glissement et à la fragilité induite dans certains plans argileux « faibles » présents au sein de la série calcaire. Les joints argileux étant à l'origine fermés, leur perte de cohésion est à rechercher dans les fragilisations mécaniques liées aux tirs de mines et à la décompression du massif au cours de son exploitation.

En conséquence, les aléas géologiques identifiés permettent de proposer des solutions fiables pour réduire les risques d'exploitation. Une **condition principale** d'exploitation est de **devoir systématiquement privilégier les excavations en amont du pendage de la série calcaire comprenant des plans de glissements potentiels**. Les plans stratigraphiques des blocs rocheux situés en amont des zones à excaver **devront toujours être empiétés, et l'angle du front au-dessus de la banquette sera au maximum celui de la stratigraphie**. La géométrie du front nord devra donc s'adapter aux variations des pendages observés, mais ne nécessite plus d'être fixée à 18° comme initialement prescrit.

A ce jour, **la reprise de la masse glissée de manière contrôlée et sécurisée pour la zone alentour (hameau de la Cédule y compris) est donc possible et acceptable, en respectant la condition principale, et en suivant des principes d'exploitation flexibles** (banquettes réduites etc.). Pour l'ensemble des fronts nord, afin de satisfaire aux conditions précitées, **une excavation sécurisée pour accéder au gisement actuellement autorisé (cote 5m NGF) implique de devoir reculer la position actuelle des fronts au-delà de la limite d'exploitation autorisée à ce jour**.

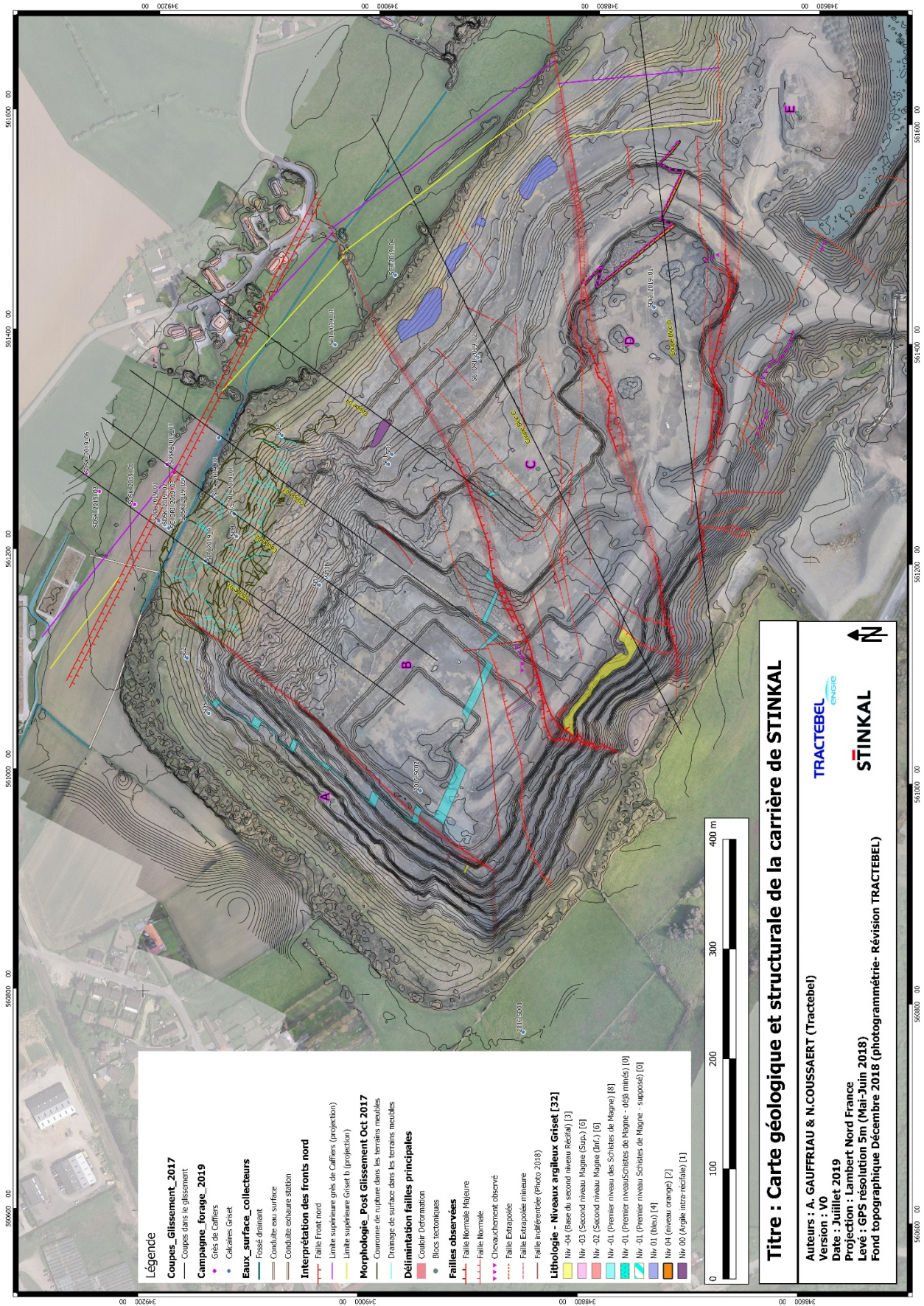
En l'état actuel des connaissances, **nos résultats permettent de statuer sur une limite cartographique maximale d'exploitation des fronts rocheux permettant à l'exploitant de poursuivre son activité, d'accéder à son gisement tout en garantissant la stabilité des zones alentours**. Cette limite est ferme au sud du hameau de la Cédule. Au nord-ouest, elle devra être validée par des propositions technique incluant des confortements des fronts possibles.

En clôture de la tierce expertise, des prescriptions complémentaires sont fournies pour l'application en pratique des recommandations des résultats finaux de la tierce expertise, de la validation des plans d'exploitation et de la définition préliminaire des moyens de surveillance de la stabilité lors des travaux de reprise à venir.

Il est **demandé à l'exploitant de réaliser un modèle géologique 3D détaillé pour permettre d'établir les plans de phasage d'exploitation en 3D**. L'ensemble devrait être validé par un tiers et permettra d'affiner le programme de surveillance de monitoring qui sera intégré à chacun des dossiers soumis à l'administration.

Pour le dossier de demande de levé de l'interdiction d'exploitation de la masse glissée, les données géologiques actuelles permettent dès à présent d'établir les plans d'exploitation pour validation. Pour le dossier de la demande d'extension du PA (examen au cas par cas), une campagne de reconnaissance hydrogéologique et géotechnique est recommandée et sera intégrée aux résultats existants.

ANNEXE I : CARTES GÉOLOGIQUES ET MORPHOLOGIQUES AUX DIVERS FORMATS DE LA CARRIÈRE



Légende

Coupes_Glissement_2017
— Coupes dans le glissement

Campagne_forage_2019
● G1 de Caiffers
● Caiffers Griset

Eaux_surface_collecteurs
— Fossé drainant
— Conduite eau surface
— Conduite souterraine station

Interprétation des fronts nord
— Faille Front nord

Morphologie - Post Glissement Oct 2017
— Limite supérieure gbs de Caiffers (projection)
— Limite supérieure Griset b (projection)
— Couronne de ruptures dans les terrains meubles
— Drainage de surface dans les terrains meubles

Délimitation failles principales
— Couleur Déformation
● Blocs tectoniques

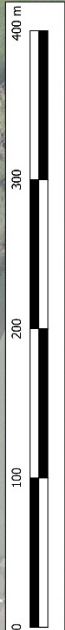
Failles observées
— Faille Normale Majeure
— Faille Normale
— Chevauchement observé

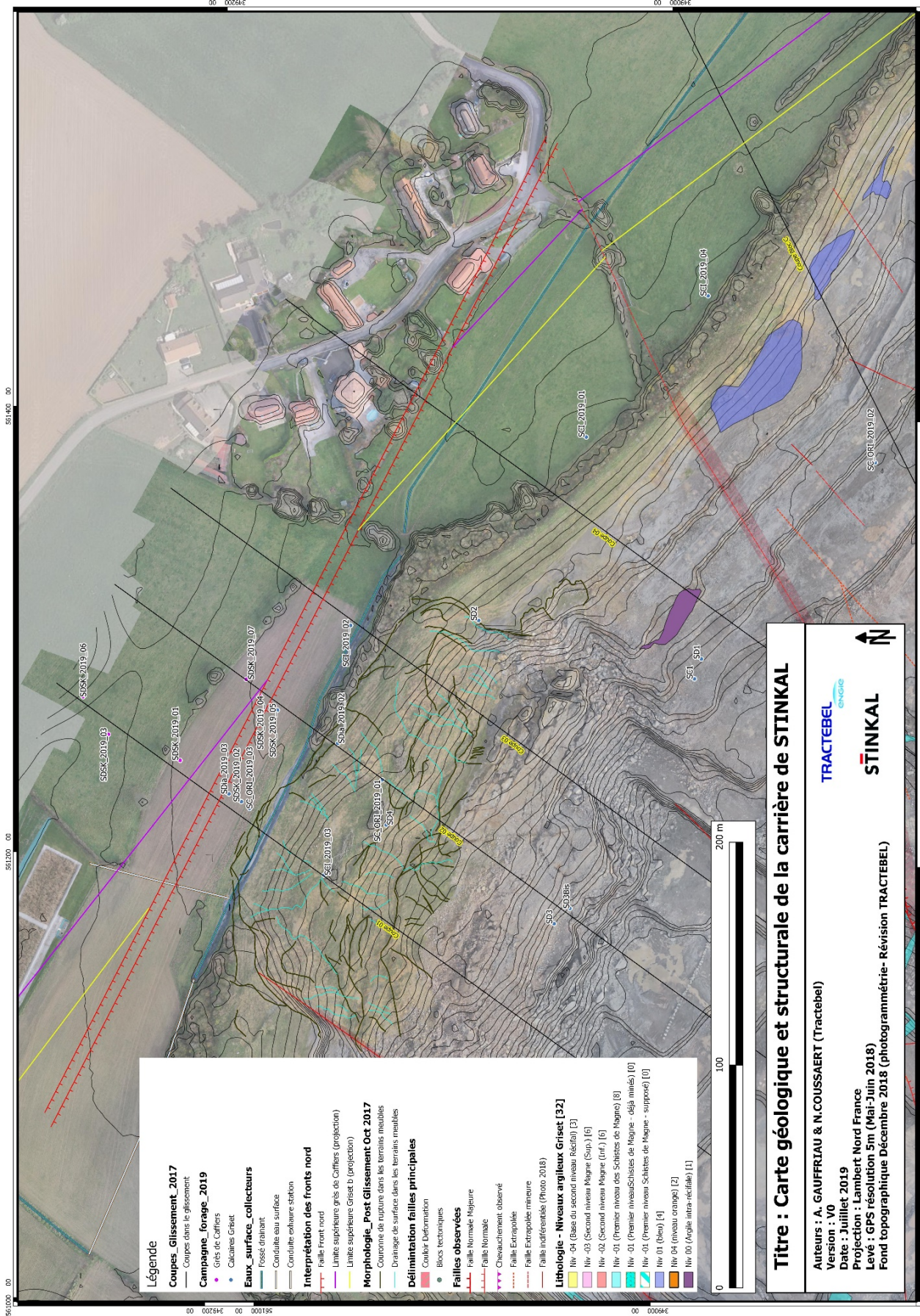
Faille Extrapolée
— Faille Extrapolée minière
— Faille Interférencée (Photo 2018)

Lithologie - Niveaux argileux Griset [32]
— Niv -04 (base du second niveau récipro) [3]
— Niv -03 (Second niveau Magne Sup.) [6]
— Niv -02 (Second niveau Magne Inf.) [6]
— Niv -01 (Premier niveau des Schistes de Magne) [8]
— Niv -01 (Premier niveau Schistes de Magne - désh minés) [0]
— Niv -01 (Premier niveau Schistes de Magne - supposé) [0]
— Niv 01 (bleu) [4]
— Niv 04 (niveau orange) [2]
— Niv 00 (Argile intra récipro) [1]

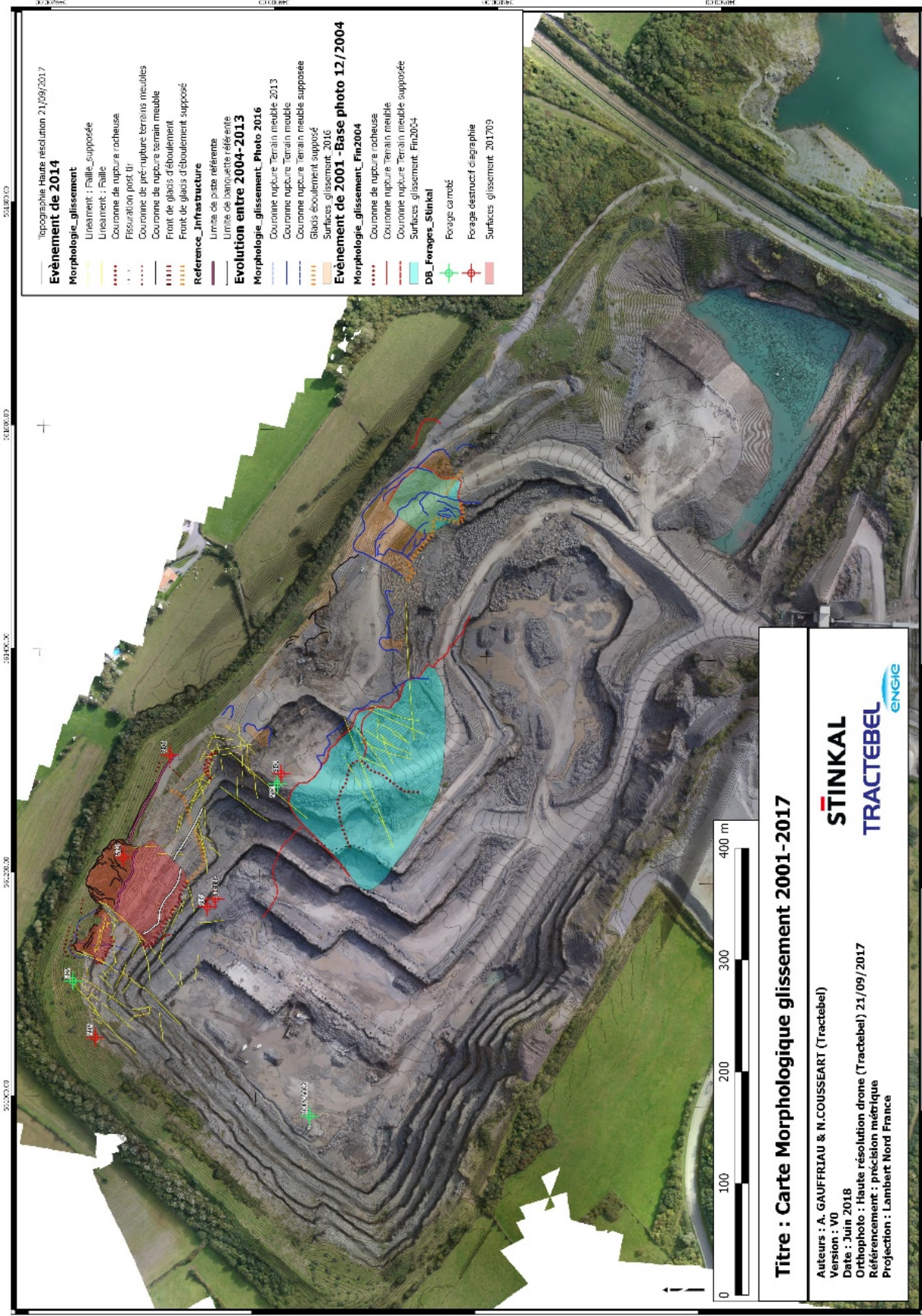
Titre : Carte géologique et structurale de la carrière de STINKAL

Auteurs : A. GAUFFRIAU & N. COUSSAERT (Tractebel)
Version : V0
Date : Juillet 2019
Projection : Lambert Nord France
Levé : GPS résolution 5m (Mai-Juin 2018)
Fond topographique Décembre 2018 (photogrammétrie- révision TRACTEBEL)





ANNEXE II : CARTES MORPHOLOGIQUES DU GLISSEMENT DE 2017



Topographie Haute résolution 21/09/2017

Evènement de 2014

Morphologie_glissement

- Lineament : Faille_souppée
- Couronne de rupture rocheuse
- Fissuration post-tr
- Couronne de pré-rupture terrains meubles
- Couronne de rupture terrain meuble
- Front de glacs déboulément
- Front de glacs déboulément souppé

Reference_Infrastructure

- Limite de piste référente
- Limite de banquette référente

Evolution entre 2004-2013

Morphologie_glissement_Photo 2016

- Couronne rupture Terrain meuble 2013
- Couronne rupture Terrain meuble
- Couronne rupture Terrain meuble souppée
- Glacis écoulement souppé
- Surfaces glissement 2016

Evènement de 2001 - Base photo 12/2004

Morphologie_glissement_Fin2004

- Couronne de rupture rocheuse
- Couronne rupture Terrain meuble
- Couronne rupture Terrain meuble souppée
- Surfaces glissement Fin2004

DB_Ferages_Stinkel

- Ferage caroté
- Ferage destructif diagraphie
- Surfaces glissement 201709

Titre : Carte Morphologique glissement 2001-2017

Auteurs : A. GAUFFRAU & N. COUSSEART (Tractebel)

Version : V0

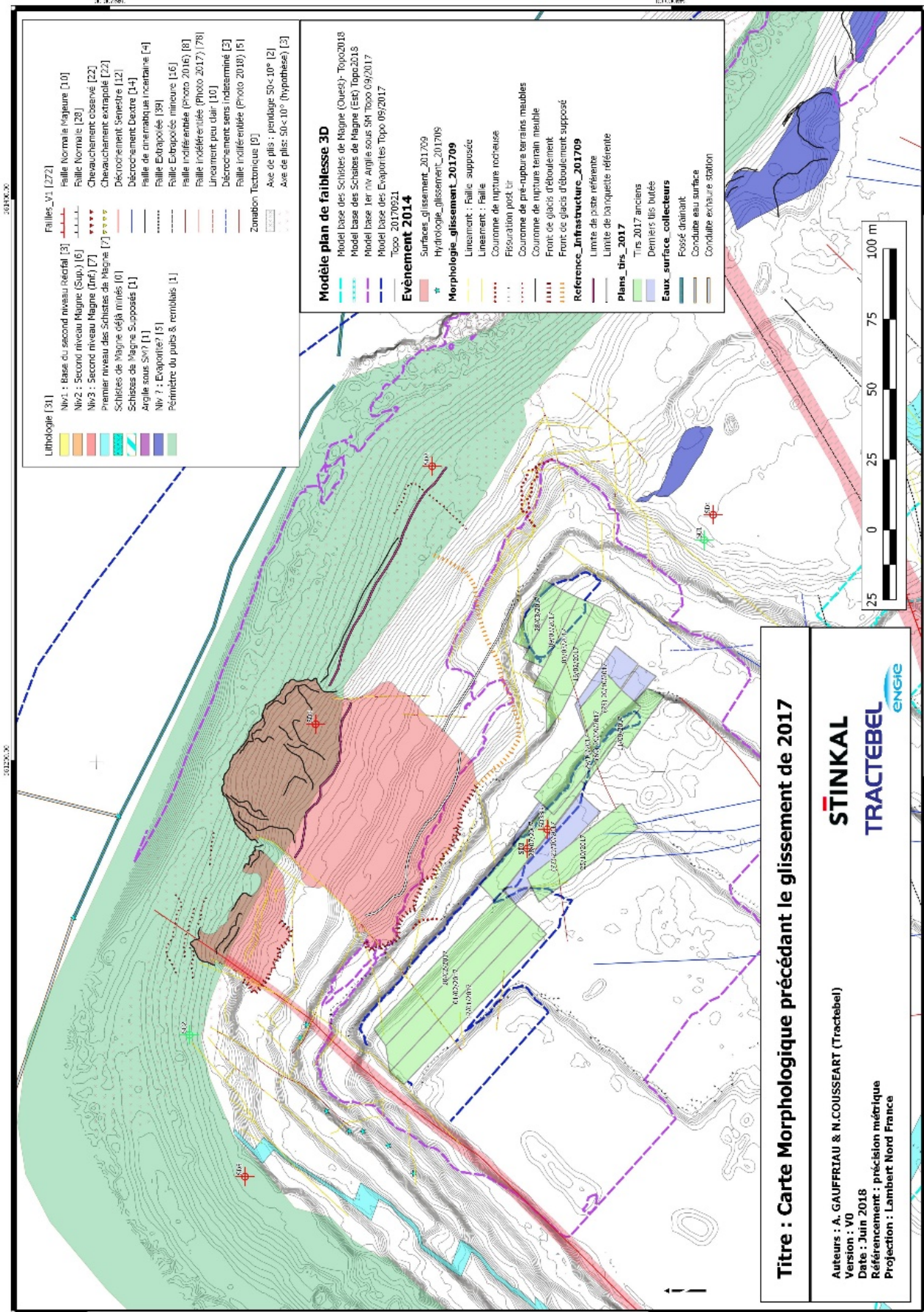
Date : Juin 2018

Orthophoto : Haute résolution drone (Tractebel) 21/09/2017

Référencement : précision métrique

Projection : Lambert Nord France





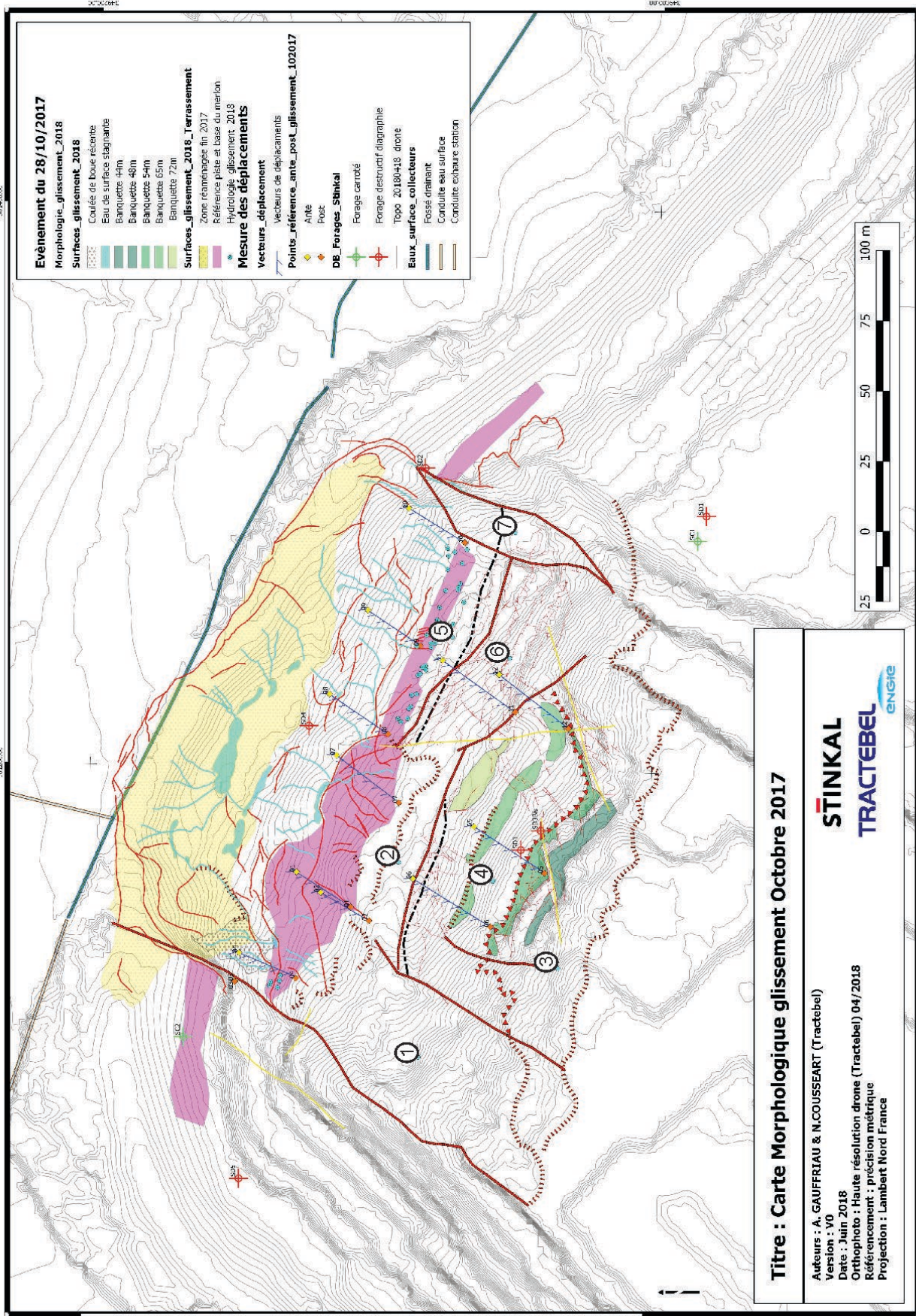
- Lithologie [31]**
- Niv1 : Base du second niveau Nécrial [3]
 - Niv2 : Second niveau Migne (Sup.) [6]
 - Niv3 : Second niveau Migne (Inf.) [7]
 - Premier niveau des Schistes de Migne [7]
 - Schistes de Migne (déjà minés) [0]
 - Schistes de Migne Supposés [1]
 - Argile sous SKV [1]
 - Niv 7 : Evaporites? [5]
 - Périmètre du puits & remblais [1]
- Faillles_V1 [272]**
- Faillie Normale Majeure [10]
 - Faillie Normale [28]
 - Chevauchement observé [22]
 - Chevauchement extrapolé [22]
 - Décrochement Serré [12]
 - Décrochement Dextré [14]
 - Faillie de cisaillement tectonique [4]
 - Faillie Extrapolés [39]
 - Faillie Extrapolés mineure [16]
 - Faillie inclinée entrée (Photo 2016) [8]
 - Faillie inclinée entrée (Photo 2017) [79]
 - Linéament peu clair [10]
 - Décrochement sens indéterminé [2]
 - Faillie inclinée entrée (Photo 2018) [5]
 - Zonation Tectonique [0]
 - Axe de plis : pendage 50<10° [2]
 - Axe de plis : 50<10° (hypothèse) [3]

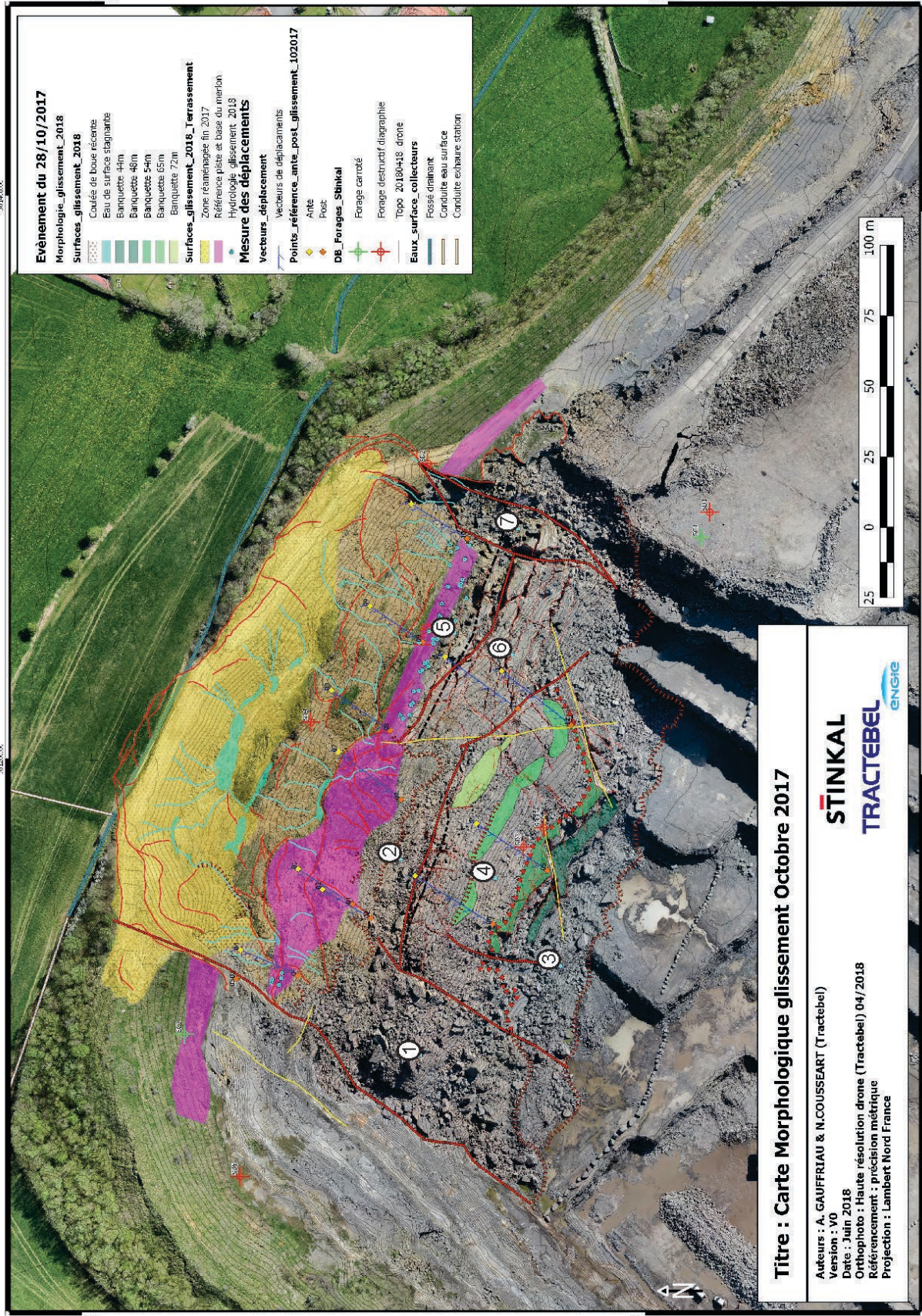
- Modèle plan de faiblesse 3D**
- Modèle base des Schistes de Migne (Ouest) - Topo2018
 - Modèle base des Schistes de Migne (Est) - Topo2018
 - Modèle base Ter niv Argiles sous SKV 09/2017
 - Modèle base des Evaporites Topo 09/2017
 - Topo 20170921
- Evènement 2014**
- Surfaces_glissement_201209
 - Hydrologie_glissement_201709
- Morphologie_glissement_201709**
- Linéament : Faillie supposée
 - Couronne de rupture rocheuses
 - Fissuration post-tr
 - Couronne de pré-rupture terrains meubles
 - Couronne de rupture terrain meuble
 - Front de glaci déboulement
 - Front de glaci déboulement supposé
- Reference_Infrastructure_201709**
- Limite de zone référence
 - Limite de banquette référence
- Plans_birs_2017**
- Tirs 2017 anciens
 - Derniers tirs butés
 - Eaux_surface_collecteurs
 - Fossés drainant
 - Conduite eau surface
 - Conduite extraire station

Titre : Carte Morphologique précédant le glissement de 2017

STINKAL
TRACTEBEL

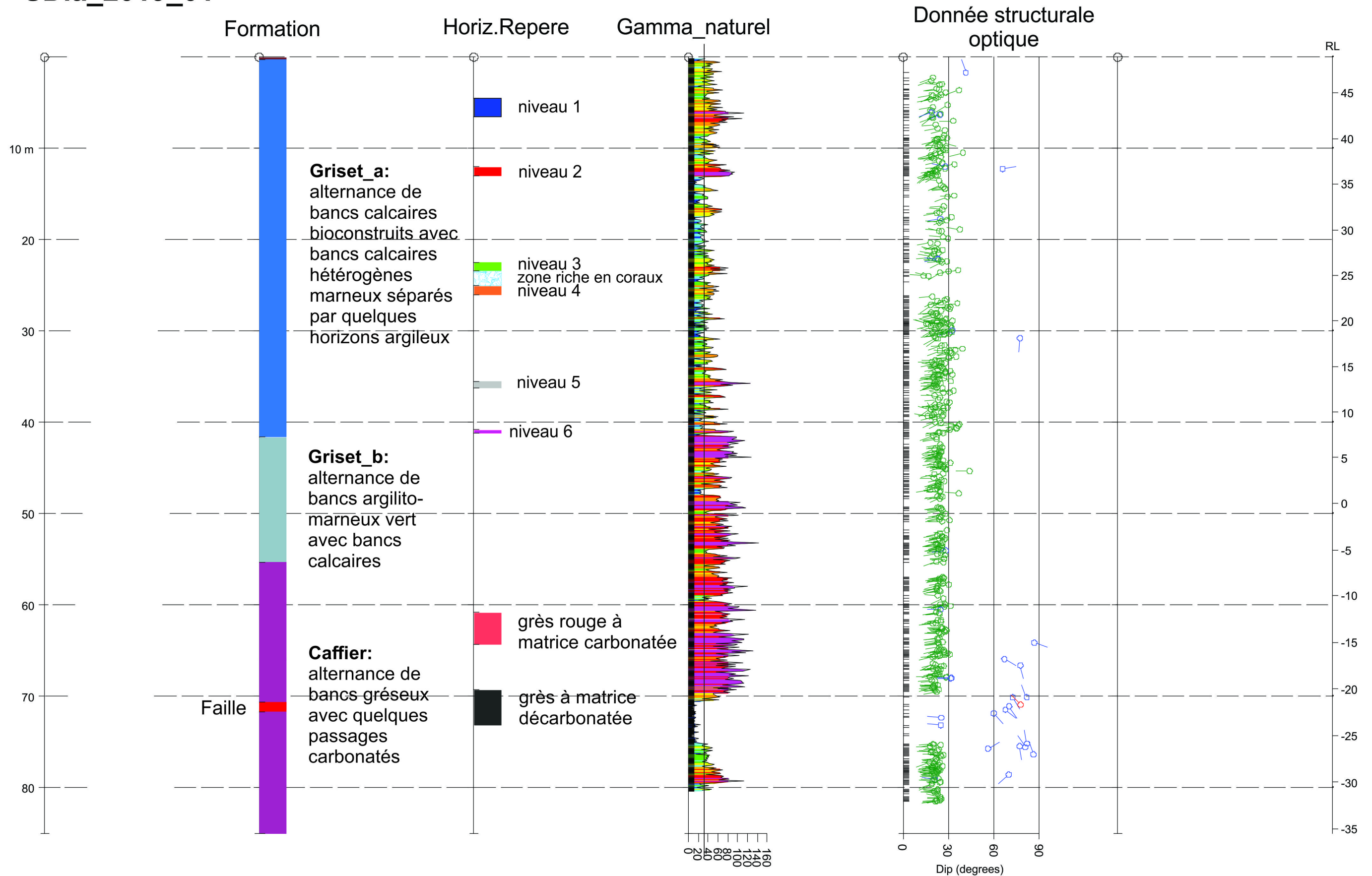
Auteurs : A. GAUFFRIAU & N. COUSSEART (Tractebel)
Version : V0
Date : Juin 2018
Référencement : précision métrique
Projection : Lambert Nord France





ANNEXE III : LOGS INTÉGRÉS ET HOMOGENÉISÉS DES FORAGES DE LA CAMPAGNE DE 2019 ET DES CAMPAGNES PRÉCÉDENTES

SDia_2019_01



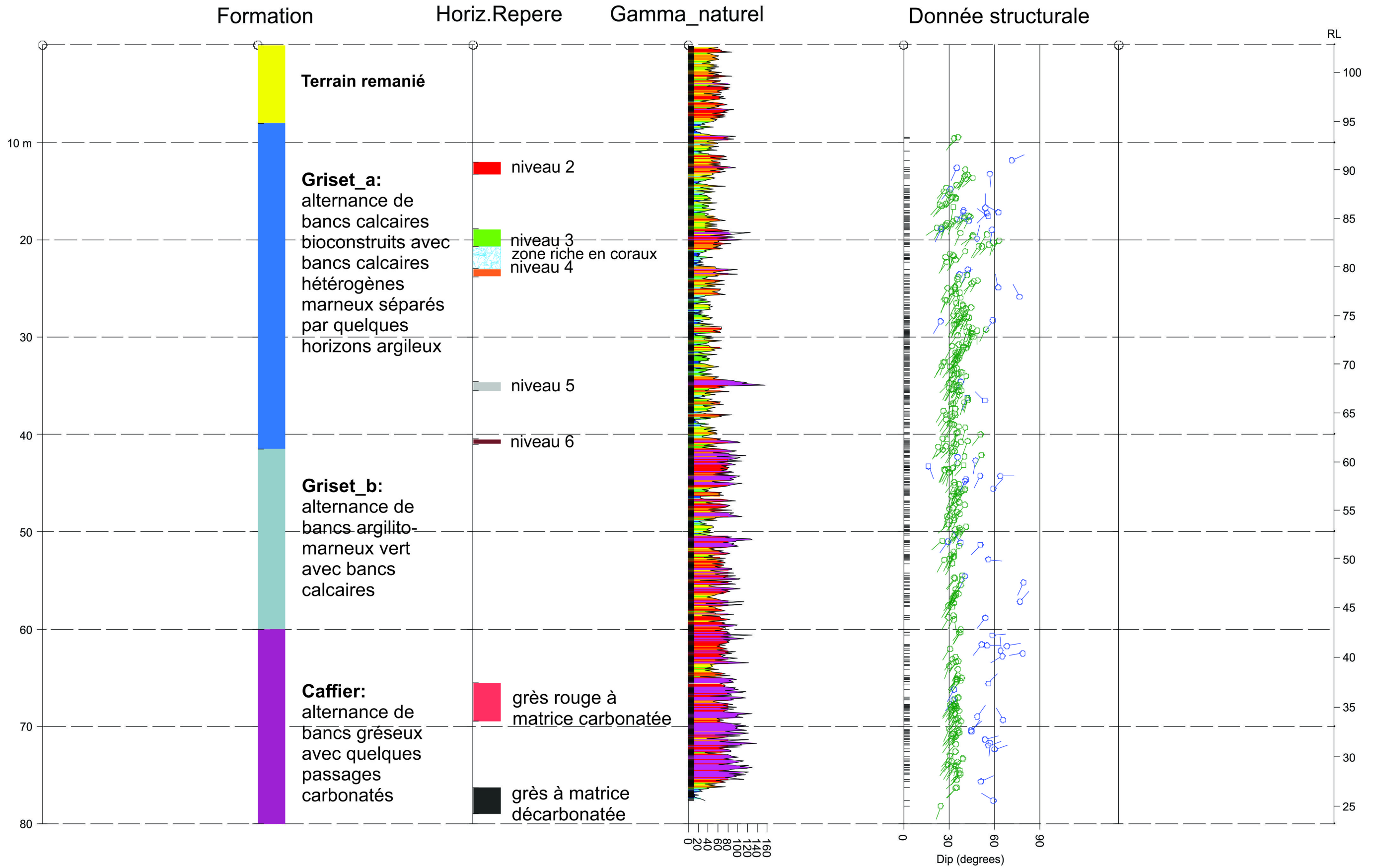
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone riche en coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100	Date: 17-06-2019
	Auteur: NC
Titre :	Strip-log sondage SDia_2019_01

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE

SDia_2019_02



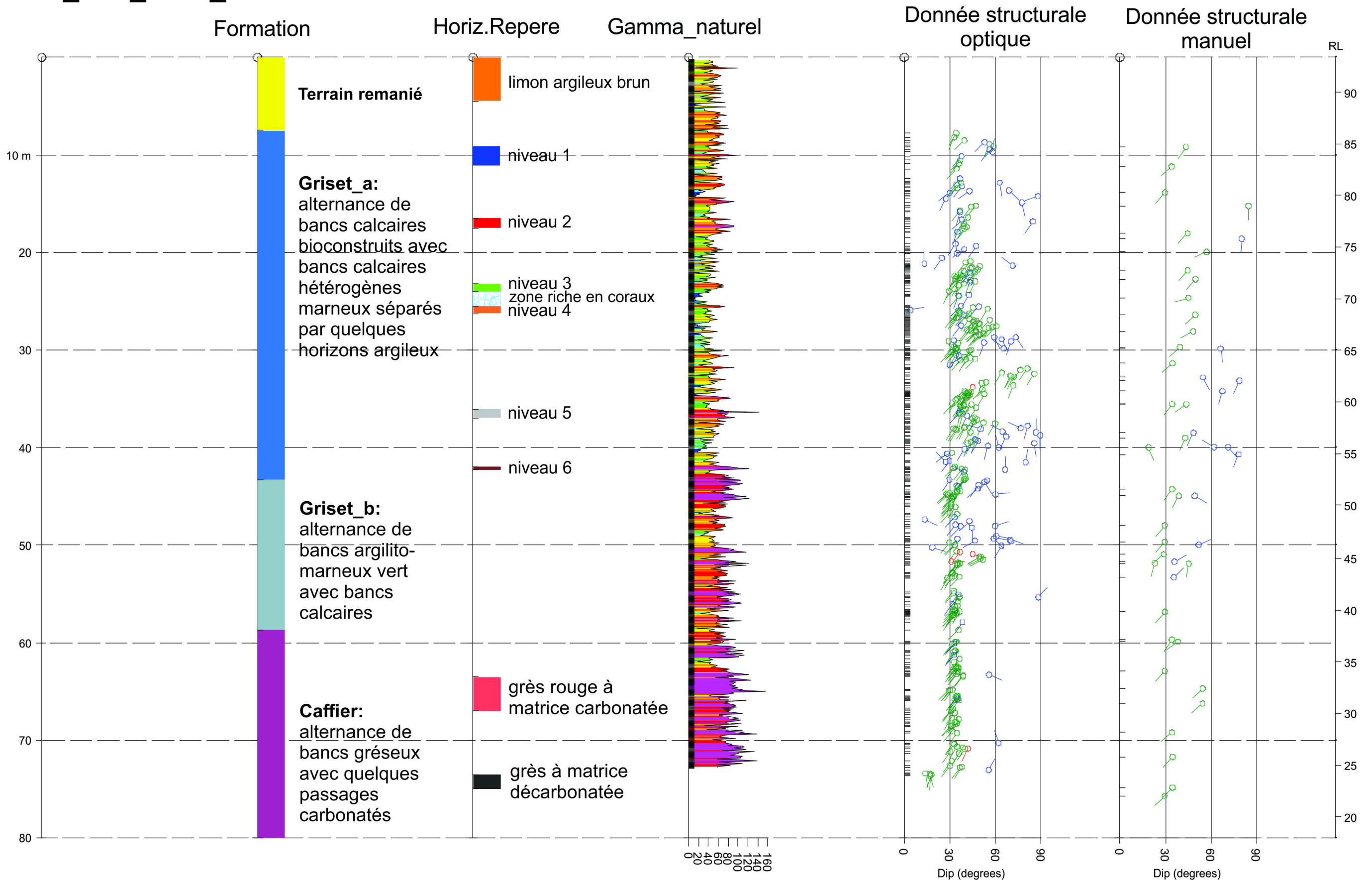
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			zone à coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100	Date: 17-06-2019
	Auteur: NC
Titre :	Strip-log sondage SDia_2019_02

STINKAL
TRACTEBEL

SC_ORI_2019_01



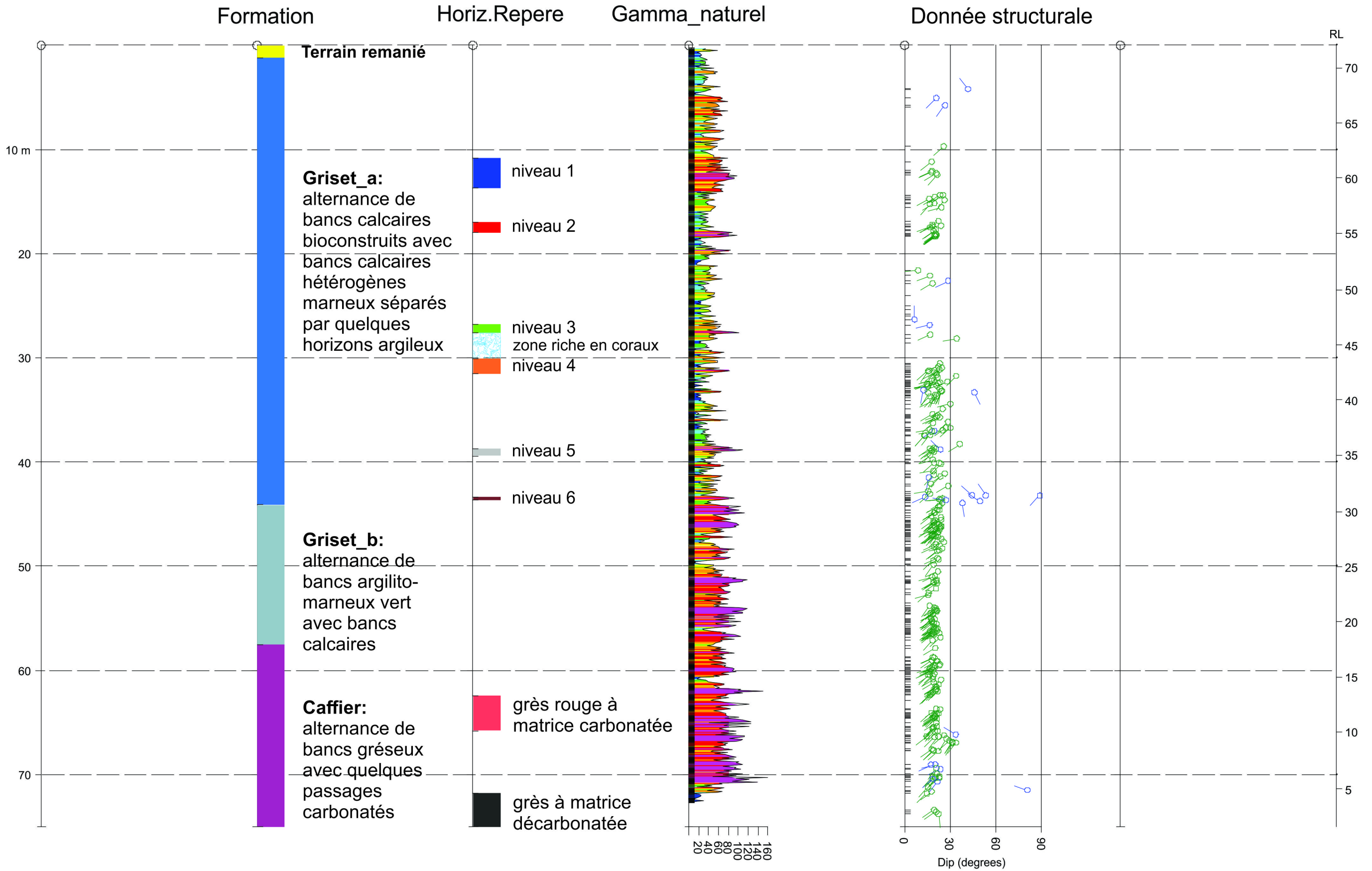
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone à coraux niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100	Date: 17-06-2019
	Auteur: NC
Titre : Strip-log sondage SC_ORI_2019_01	

STINKAL
TRACTEBEL

SC_ORI_2019_02



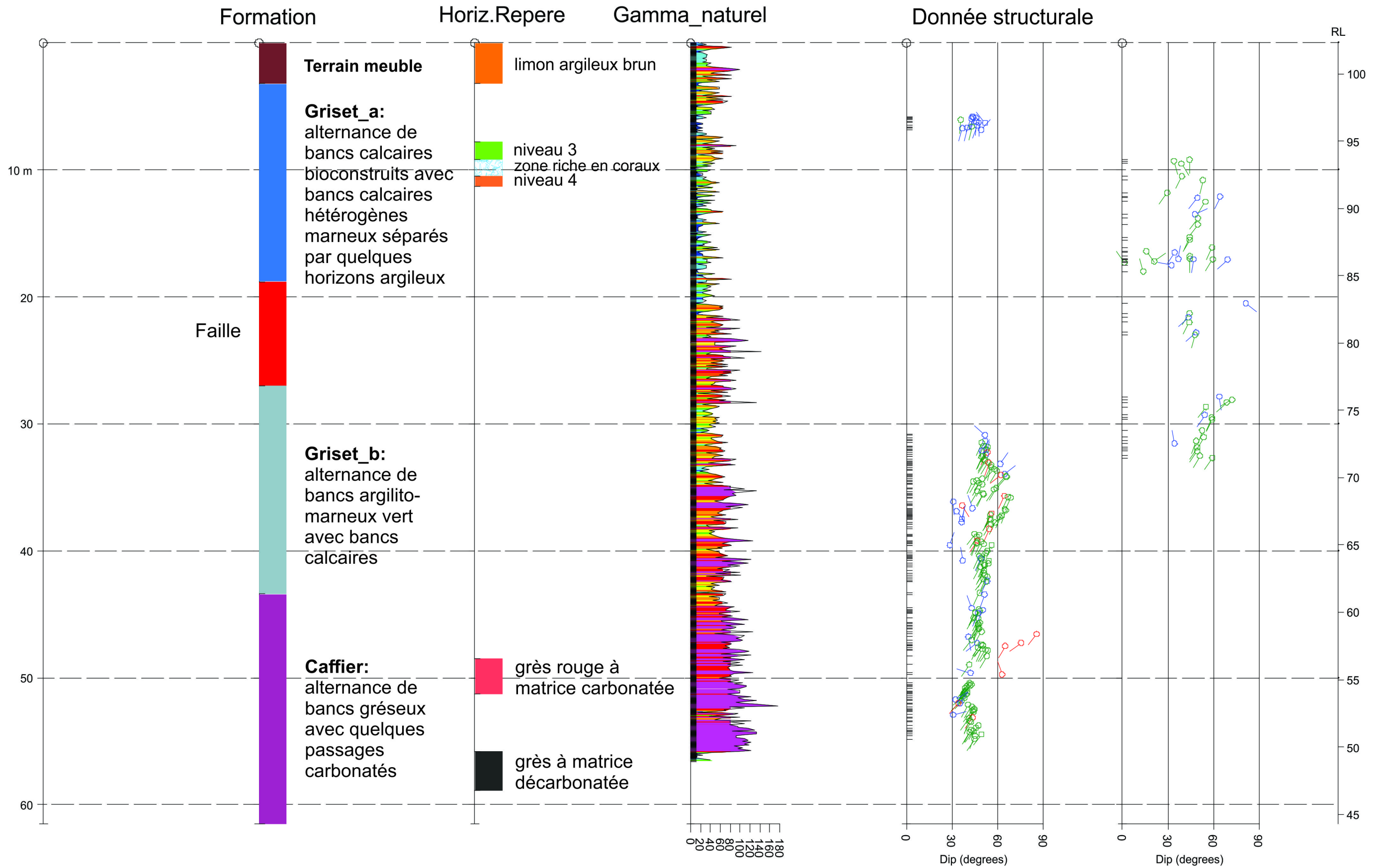
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			zone à coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100	Date: 17-06-2019
	Auteur: NC
Titre : Strip-log sondage SC_ORI_2019_02	

STINKAL
TRACTEBEL

SC_ORI_2019_03



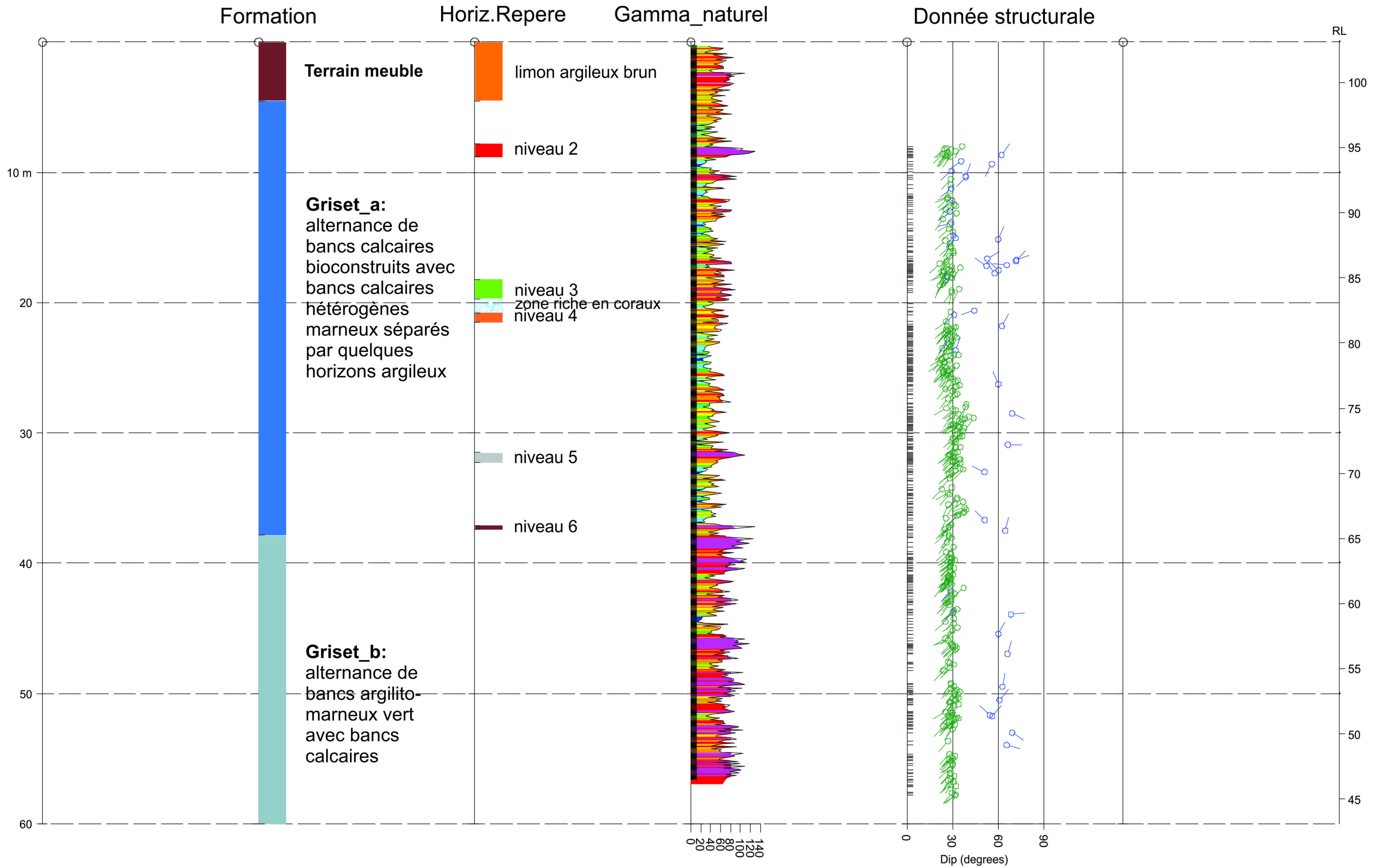
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Fracture	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté	Fracture	niveau 3
		Fracture	zone à coraux / niveau 4
		Fracture	niveau 5
		Fracture	niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100	Date: 17-06-2019
	Auteur: NC
Titre :	Strip-log sondage SC_ORI_2019_03

STINKAL
TRACTEBEL

SCI_2019_01



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 2
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 3
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	zone riche en coraux
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 5
			niveau 6

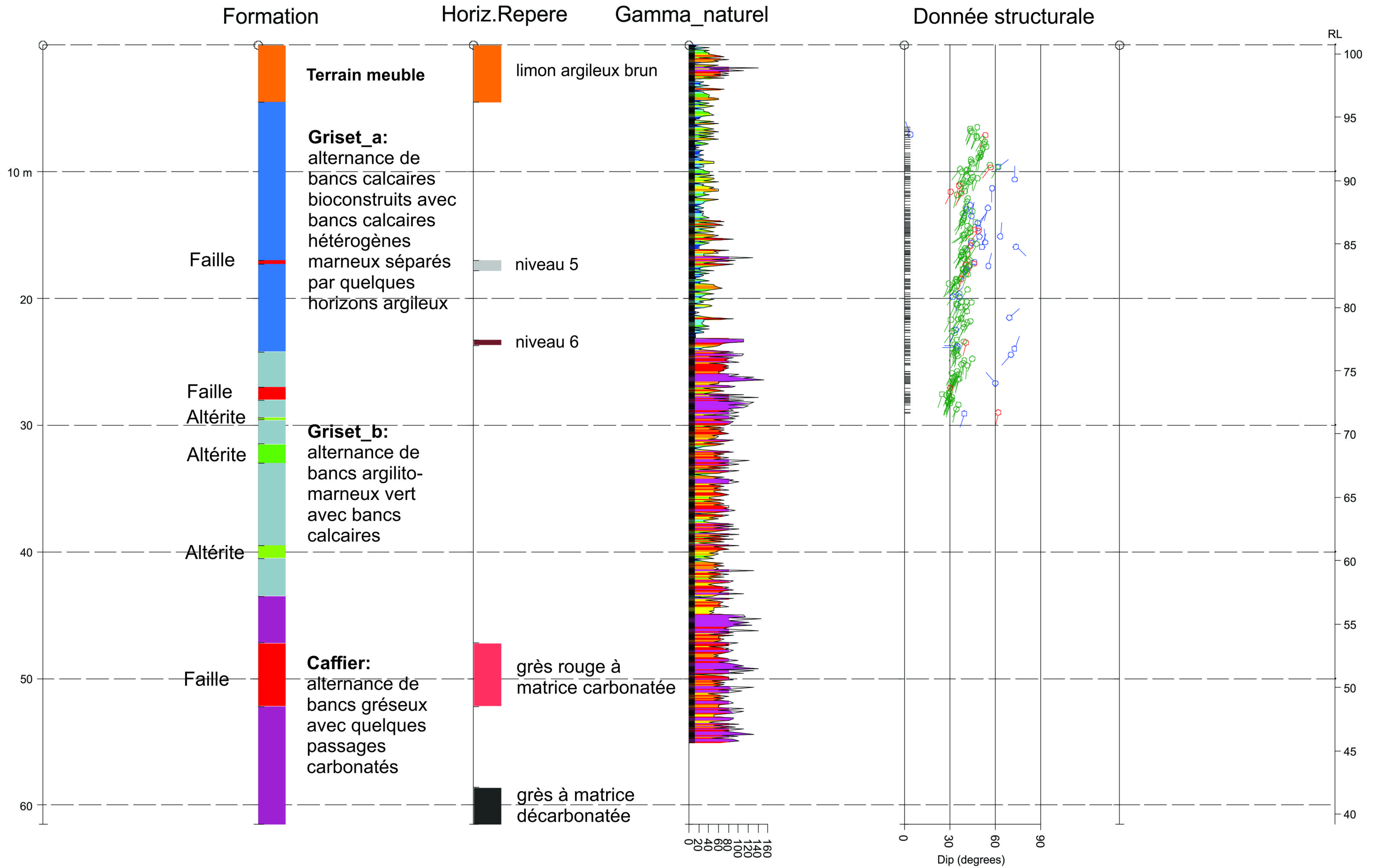
Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage SCI_2019_01

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet:
P.012959.0100

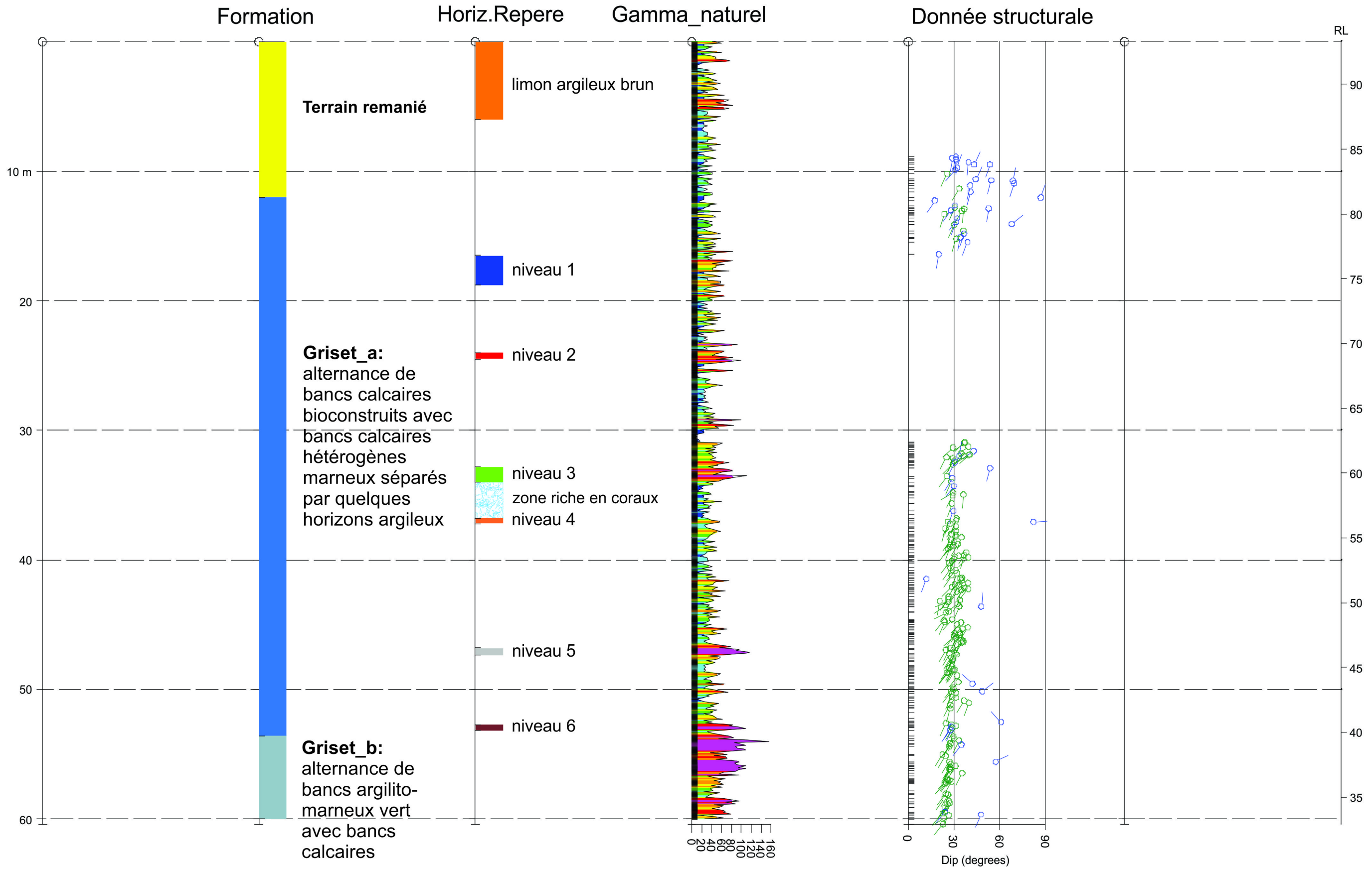
Date: 17-06-2019

Auteur: NC

Titre :

Strip-log sondage
SCI_2019_02

SCI_2019_03



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			zone à coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

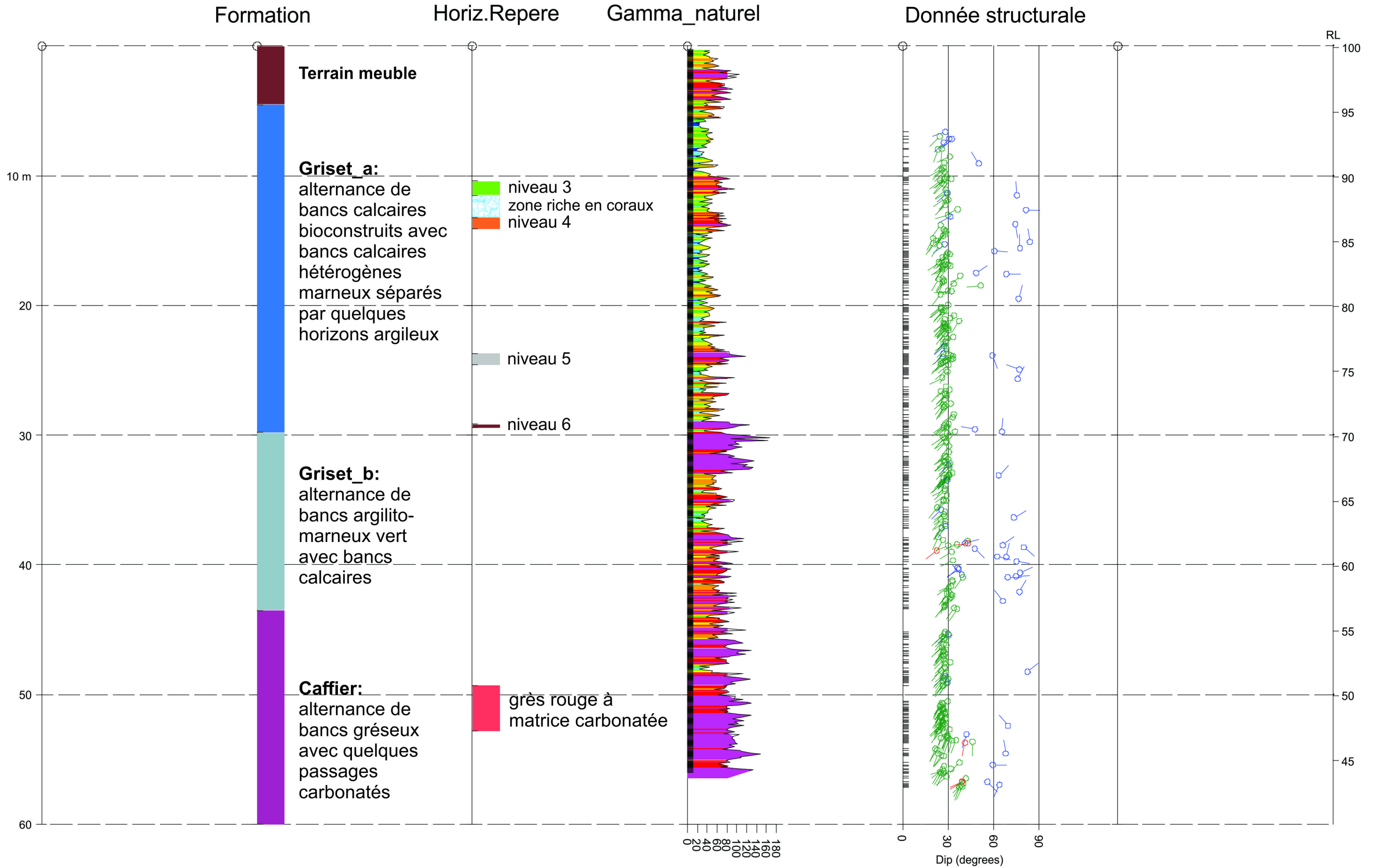
Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage SCI_2019_03

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			zone riche en coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

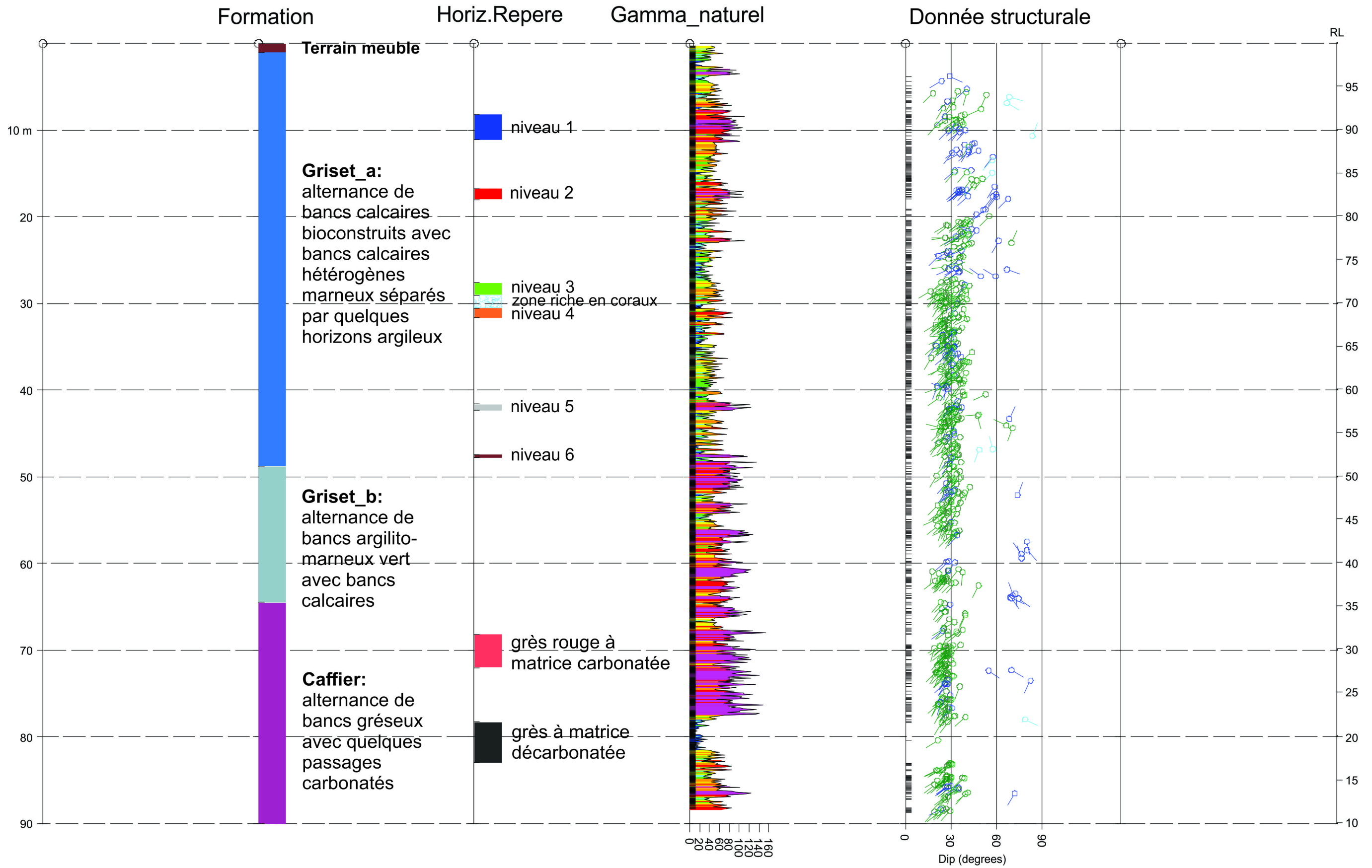
Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage SCI_2019_04

Sd2 (Ginger 2010)



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

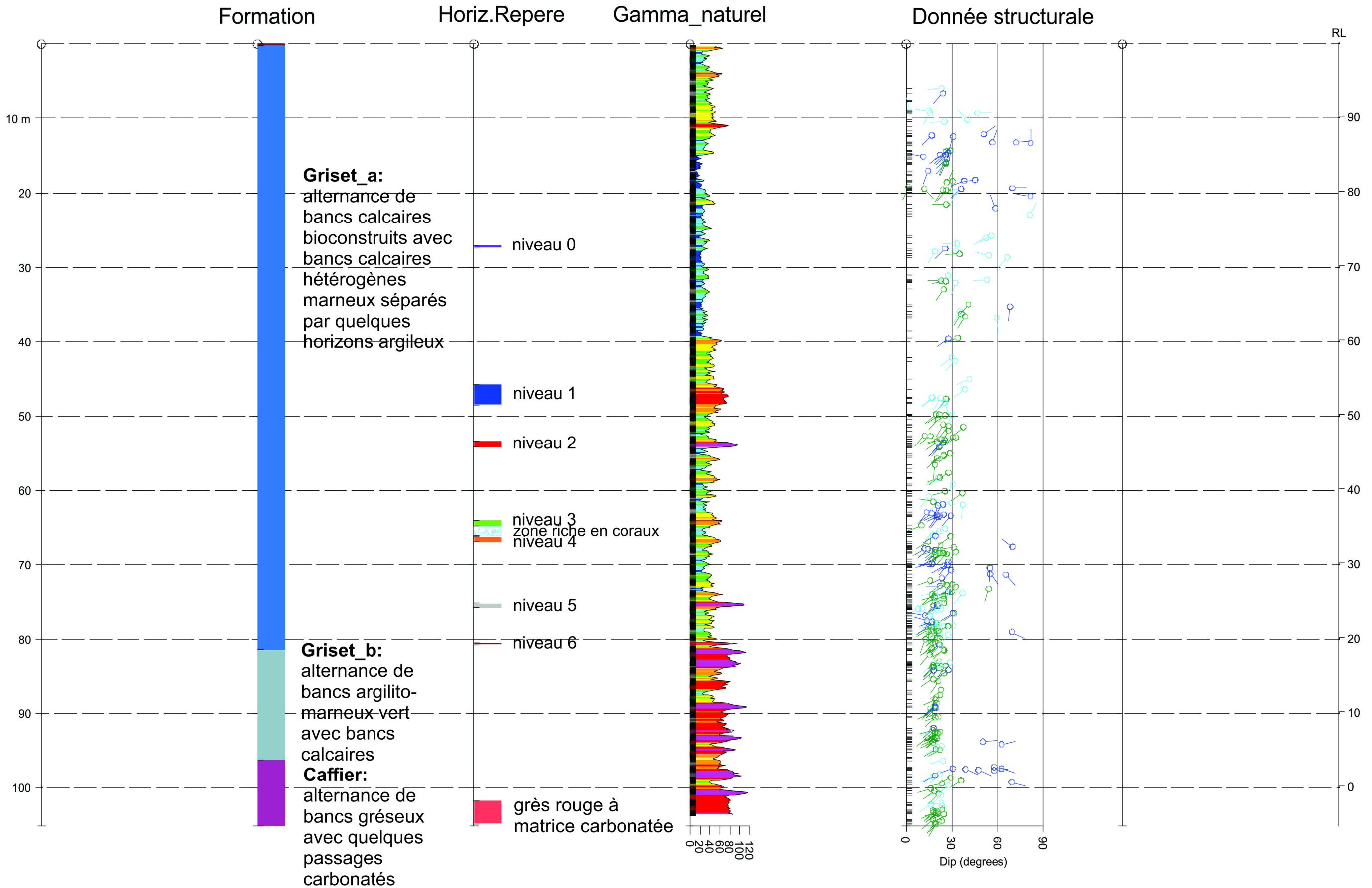
Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage - SD2

STINKAL
TRACTEBEL

Sc1 (Ginger 2010)



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone à coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

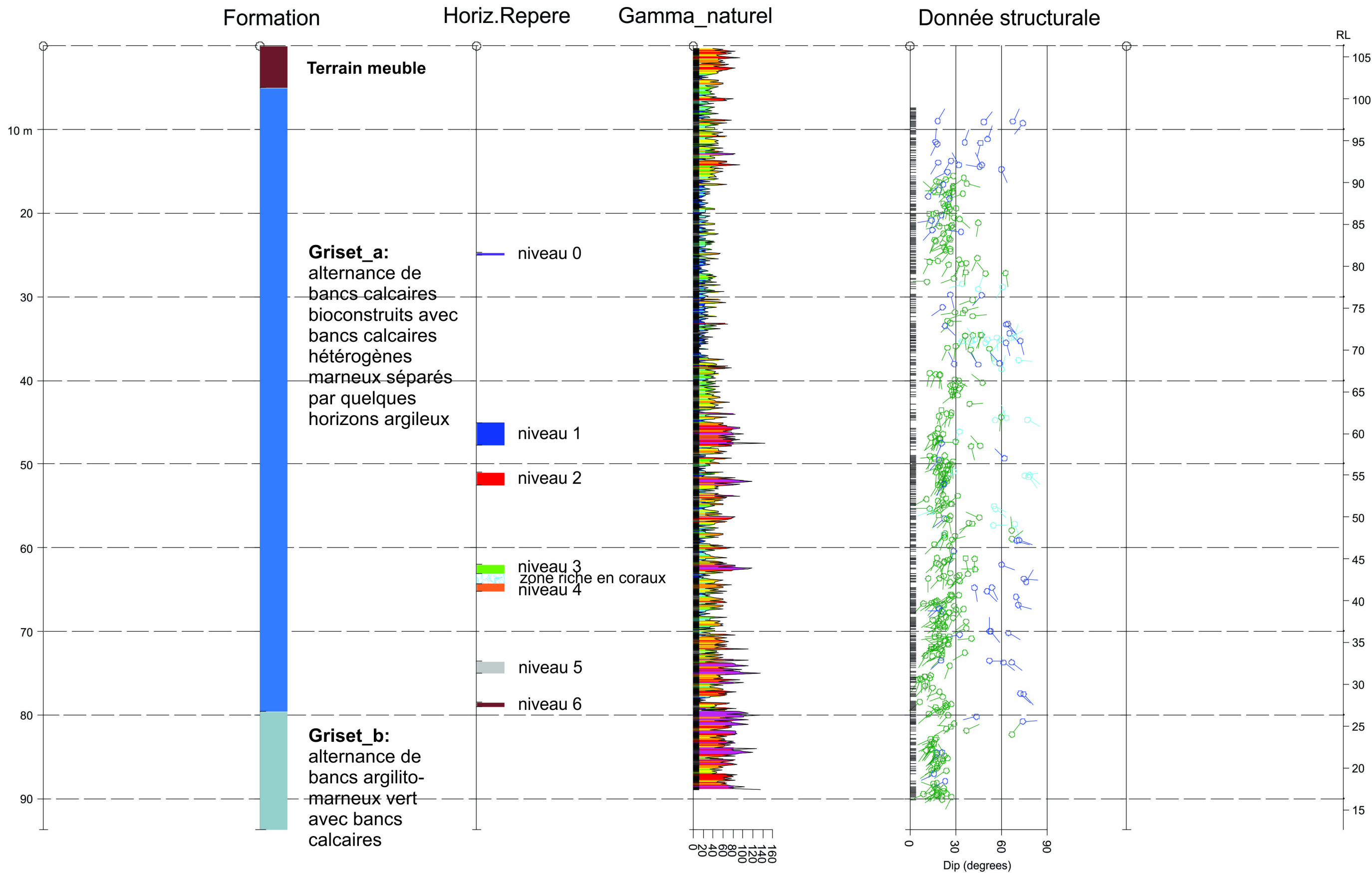
Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage - SC1

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE

Sc2 (Ginger 2010)



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone riche en coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

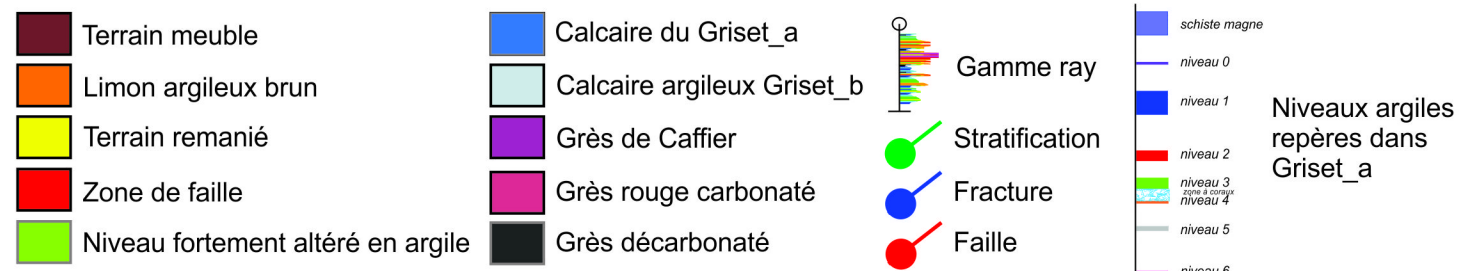
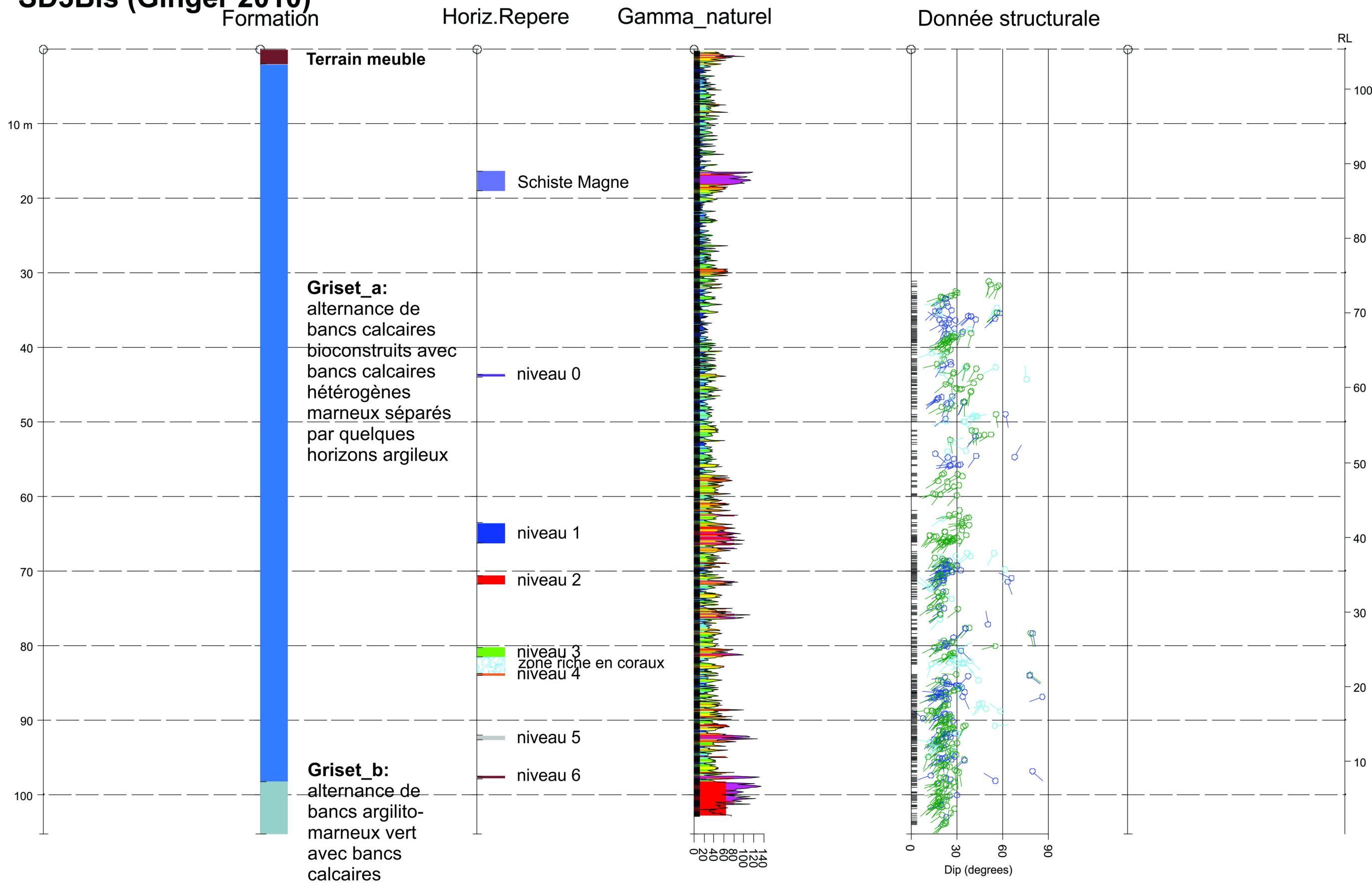
Projet:
P.012959.0100

Date: 17-06-2019

Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage - SC2

SD3Bis (Ginger 2010)



Projet: P.012959.0100

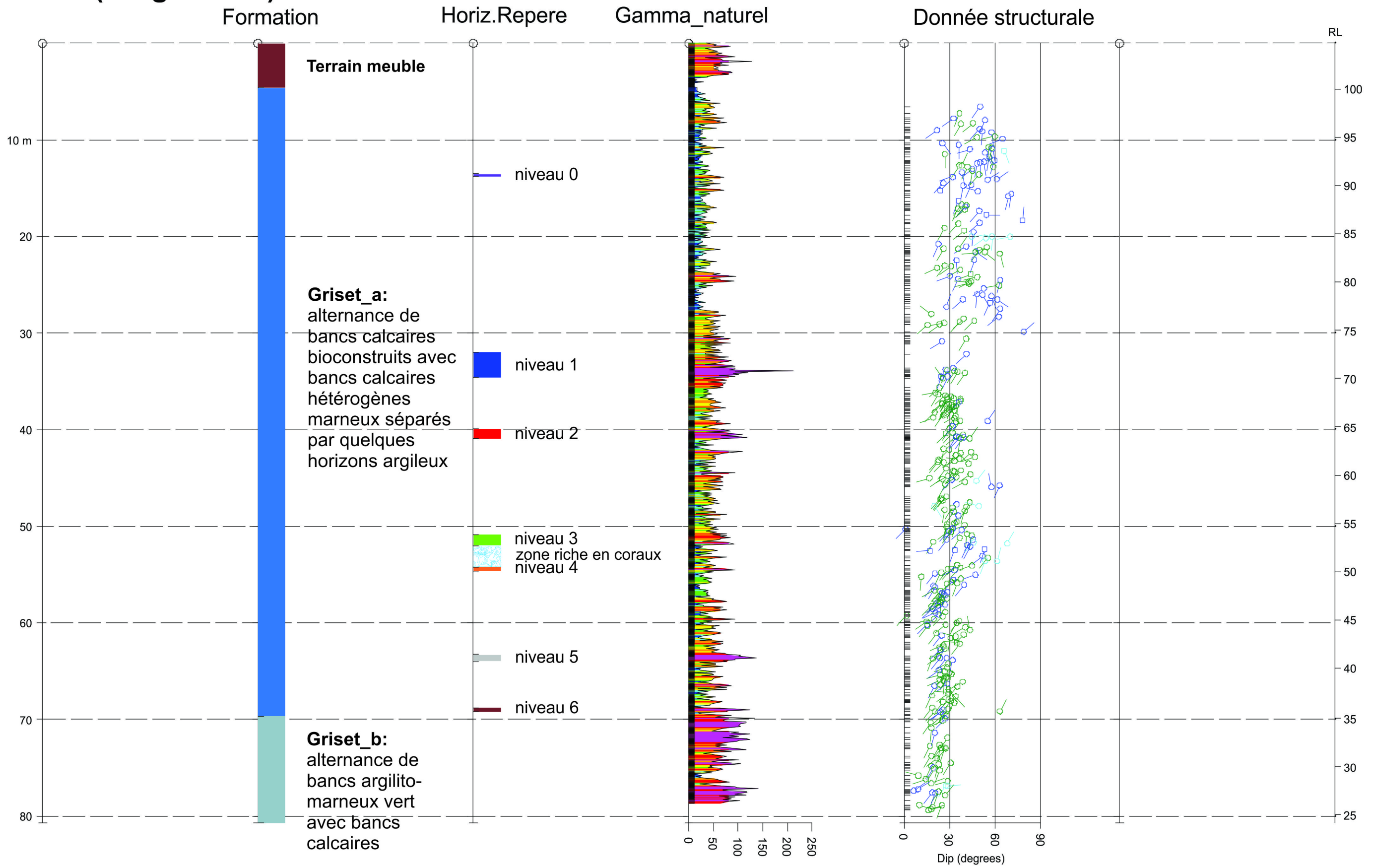
Date: 17-06-2019

Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage - SD3bis



Sd4 (Ginger 2010)



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone riche en coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

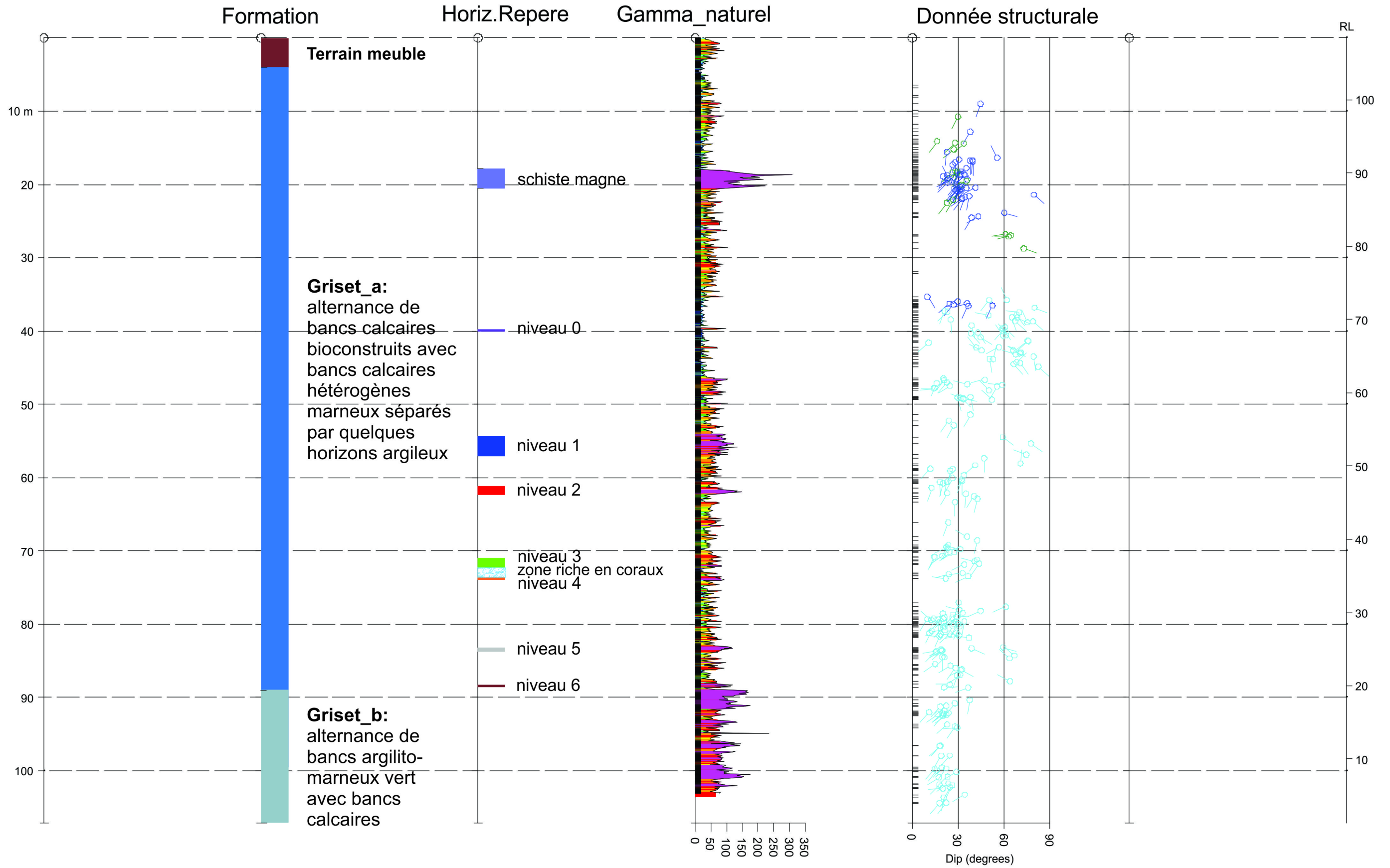
Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage - SD4

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE

SD5 (Ginger 2010)



Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone riche en coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100	Date: 17-06-2019
Titre : Strip-log sondage - SD5	Auteur: NC

STINKAL
TRACTEBEL

[3] : Carrière du Stinkal – Développement sud du gisement (Terrasol – Ref. 009.37184/03/REV1 – 12/08/2016)



terrasol

setec

Carrière du Stinkal Développement sud du gisement



ANALYSE DU SECTEUR SUD - OUEST



12/08/2016

009.37184 / 03 / REV 1

SOMMAIRE

1.	Objet	4
2.	Références	4
3.	Contexte du projet	4
3.1.	Description du projet	4
3.2.	Géologie régionale	5
3.3.	Observations du site	6
3.3.1.	STRATIGRAPHIE	6
3.3.2.	TECTONIQUE	8
4.	Analyse des résultats de la campagne	9
4.1.	Positionnement de la faille N100°	10
4.2.	Apparition de la dolomie des Noces	12
4.3.	Recouvrement stérile vers le SW	12
4.3.1.	PENDAGE	12
4.3.2.	REJET DE LA FAILLE N100°	12
4.4.	Stabilité des fronts SW	13
4.4.1.	FRONT ROCHEUX	13
4.4.2.	FRONT SCHISTEUX	13
5.	Conclusion	14

Annexe 1 : Conditions générales de Terrasol

Annexe 2 : Implantation des reconnaissances et des coupes

Annexe 3 : Coupes interprétatives

DIFFUSION

Sociétés	Destinataires	Mode de diffusion
SAS Stinkal	Mme Bouchain	e-mail

REVISIONS

Version	Date	Établi par	Vérifié par
1	12/08/2016	Fabien BINET	Fabien BINET

Modifications : 1^{ère} émission

2

3

COORDONNEES

Adresse

terrasol

Immeuble Central Seine
42 - 52 quai de la Râpée - CS 71230
75583 PARIS CEDEX 12
FRANCE

Tél : +33 1 82 51 52 00
Fax : +33 1 82 51 52 99
info@terrasol.com

1. Objet

À la demande et pour le compte de la carrière du Stinkal, Terrasol réalise une mission de conseil technique dans le cadre de l'hypothèse du développement vers le sud de la fosse existante. Ce rapport vise à analyser les données géologiques disponibles afin d'envisager les réserves de matériaux accessibles et les prescriptions géotechniques applicables à l'extension.

Le présent rapport est rédigé dans le cadre d'une mission de type G1 phase « Principes Généraux de Construction » au sens de la norme NF P 94-500 révision 2013 annexée à nos conditions générales (annexe 1).

2. Références

La rédaction de ce rapport a fait appel à la consultation des documents suivants :

- [1] « Carte géologique de la France au 1/50 000 feuille de Marquise N°2, carte et notice éditée par le BRGM ;
- [2] « Projet de développement de la carrière du Banc Noir » rapport Terrasol 009.25300/04 ind0 d'octobre 2010 ;
- [3] « Diagnostic géologique du front Sud », rapport de Terrasol 009.37184/01/REV1 de septembre 2015 ;
- [4] « Développement sud du gisement », compte rendu de reconnaissances de Fondasol NSO_16.017-pièce N°001 – 1^{ère} édition de juillet 2016.

3. Contexte du projet

3.1. Description du projet

La SAS Stinkal a le projet d'ouvrir une extension de la fosse actuellement en exploitation vers le Sud-Ouest du site.

L'évaluation de l'intérêt économique de cette extension est conditionnée par la définition du contexte géologique, en particulier la hauteur du recouvrement stérile à décaper au-dessus du gisement, sachant que les données régionales indiquent :

- Un pendage de 20°-25° en direction de l'extension (le gisement s'approfondit vers le Sud - Ouest)
- La présence d'une faille située à l'arrière du front S-W et qui à son franchissement induit :
 - o Un décalage de la stratigraphie (dans le sens d'un approfondissement du gisement)
 - o Une altération de la rhéologie des formations (dépréciation locale du gisement, problématique de stabilité locale).

Un premier levé de site [3] a indiqué comme probable que le gisement ne soit plus économique au-delà de la faille au vu de l'augmentation importante de la hauteur de recouvrement.

Une campagne de reconnaissance a dès lors été lancée afin de déterminer :

- La position de la faille
- L'ampleur du décalage par faille
- La qualité des matériaux présents dans l'extension en profondeur du gisement

Les résultats de ces reconnaissances, réalisé par Fondasol [4] sont exploités dans le présent rapport.

3.2. Géologie régionale

La carrière du Stinkal se situe dans la « Boutonnière anticlinale » du boulonnais. Ce plissement tectonique d'échelle pluri kilométrique a permis la surélévation de formations géologiques anciennes (Paléozoïque) dont le passage par un enfouissement profond a permis le métamorphisme des roches d'origine et conféré des caractéristiques rhéologiques élevées propices à l'exploitation d'agrégats.

Au droit du site du Stinkal, la succession des couches géologiques régionales est présentée dans la figure ci-dessous :

Lithologie	Stratigraphie	
	<p><u>Limon</u> silto-argileux à cailloux de silex : sédimentée en une couche d'épaisseur variable, conforme à la surface.</p>	Quaternaire
	<p><u>Schiste de Beaulieu</u> marneux avec un débit schisteux, avec des couleurs variant du rouge brun au noir en passant par le gris bleuté, on observe le passage de bancs calcaires d'ordre décimétrique.</p> <div data-bbox="512 752 948 972" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p><u>Dolomie des Noces</u> : calcaire dolomitique de couleur noir – roux contenu dans l'ensemble schisteux sous forme de bancs lenticulaires.</p> </div>	Frasnien inférieur
	<p><u>Calcaire du Bastien</u> : calcaires marneux gris vert en dalles et contenant de nombreux fossiles.</p>	
	<p><u>Schiste de Couderousse</u> : marne à débit schisteux de teinte gris bleutée.</p>	
	<p><u>Calcaire noir de Blacourt</u> : ensemble calcaire bio-clastique et bio-construit qui constitue le gisement exploité, ils peuvent comporter des niveaux plus marneux telles les argiles de Magne en position intermédiaire développées sur quelques mètres et assez continue.</p>	Givétien sup
	<p><u>Grès de Caffier</u> : grès et schiste gréseux, micacés et de teinte rougeâtre.</p>	Givétien inf

Figure 1 : Colonne stratigraphique régionale

3.3. Observations du site

Les observations du site et notamment des fronts de taille sud sont reporté le rapport de diagnostic [3].

3.3.1. STRATIGRAPHIE

- Les schistes de Beaulieu sont des marnes schisteuses rouges - brun à noir avec de fins bancs calcaires. Mais la formation, stratigraphiquement au-dessus des autres formations

n'est pas visible en continuité stratigraphique. Elle apparaît systématiquement isolée par un contact faillé son épaisseur semble importante. Des lentilles hectométriques de dolomie (dolomie des Noces) sont reportées dans cet ensemble mais ne sont pas observées à l'affleurement dans la carrière. Des ressauts morphologiques au sud de la fosse sont probablement liés à sa présence en sub-surface.



Photo 1 : Aspect des schistes de Beaulieu

- Des calcaires marneux schisteux de couleur gris vert et très fossilifère (Calcaires de Bastien) de minimum 35m d'épaisseur, accessible en sommet de fosse à l'angle S-W,
- Des schistes gris bleutée à stratification diffuse (schiste de Couderousse), pour environ 15 m d'épaisseur, difficilement accessible car affleurant en travers des fronts sud uniquement,
- Le calcaire noir de Blacourt jusqu'en fond de fosse, avec des faciès variables entre les calcaires fossilifères (ancien récif) et des calcaires plus micritiques (débris calcaire entre les récifs). Dans les 2 cas la roche est compacte et constitue le gisement de matériaux de la carrière. Au demeurant, des inter-lits argileux voire une composante marneuse se développe vers le bas de la formation avec un impact possible sur la qualité du matériau [2].



Photo 2 : Aspect des 3 formations visible dans la fosse

3.3.2. TECTONIQUE

L'observation des fronts sud a permis de visualiser les arguments tectoniques qui sont précisés par la campagne de reconnaissance.

On distingue 2 formats de faille :

Une faille Est –Ouest (N100°) observée dans la partie Est de la fosse. Elle comporte un décalage pluri-décamétrique et a un impact majeur sur le recouvrement du gisement



Photo 3 : Faille (N100°) mettant en contact les calcaires (droite) et schiste (gauche)

Une série de failles méridiennes avec des re-jeux métriques mais une répétition d'ordre pluri-décamétrique.



Photo 4 front Sud-Ouest affecté d'une série de failles avec faible re-jeux de la stratigraphie.

4. Analyse des résultats de la campagne

La campagne de reconnaissance réalisée par Fondasol [4] consistait en :

- Un profil de géophysique, pour situer le passage de la faille majeure N 100° dans le secteur de l'extension SW).
- Un forage destructif dans l'extension latérale SW, afin de quantifier le rejet de la faille et l'état structural du massif.
- Un forage carotté en fond de fosse afin de réaliser l'échantillonnage des matériaux dans l'extension en profondeur.

La campagne de Fondasol n'a pu être menée avec exhaustivité en raison de problèmes de stabilité mal maîtrisés des parois de forages.

En particulier, les diagraphies Gamma-Ray n'ont pu être réalisées sur la hauteur de sondage, sans corrélation possible sur cette base entre les sondages. L'imagerie orientée de parois (OPTV), n'a permis aucun enregistrement lisible des terrains ni d'orientation des discontinuités dans le forage destructif 2016-SD01.

En conséquence :

- le recalage stratigraphique au Sud de la faille majeure reste imprécis. Au demeurant le décalage minimum constaté fournit une hauteur de stérile rédhitoire.

- L'analyse structurale du massif dans lequel seront formés les futurs fronts de tailles n'est pas possible, mais la situation comparable du massif (parcouru par une faille majeure) est connue plus à l'Est et fait partie de l'expérience de l'exploitant.

4.1. Positionnement de la faille N100°

Le profil de géophysique (résistivités électriques) [4] a fourni un profil clair et cohérent avec la succession attendue [3]. Cette interprétation de Fondasol est reporté en Figure 2. Sur ce profil figure en teintes chaudes (jaune rouge) les horizons résistants (calcaire, dolomie), en teintes froides (vert bleu) les horizons conducteurs (schistes, limons, karst comblé d'argile).

Entre les électrodes 1 à 20 on obtient une succession conforme aux observations faites dans le front de taille de la carrière. Au-delà, outre l'apparition des schistes de Beaulieu immédiatement au passage de la faille, il apparait que la « faille N100° » est en fait composée de plusieurs ruptures se succédant vers le sud – ouest. La totalité des failles peuvent ne pas être visible dès lors que les terrains de part et d'autre ne comportent pas de contraste de résistivité.

Le décalage par faille dès la première rupture est au minimum de 35 m (pas de repère commun entre les 2 côtés de la faille permettant une estimation plus précise).

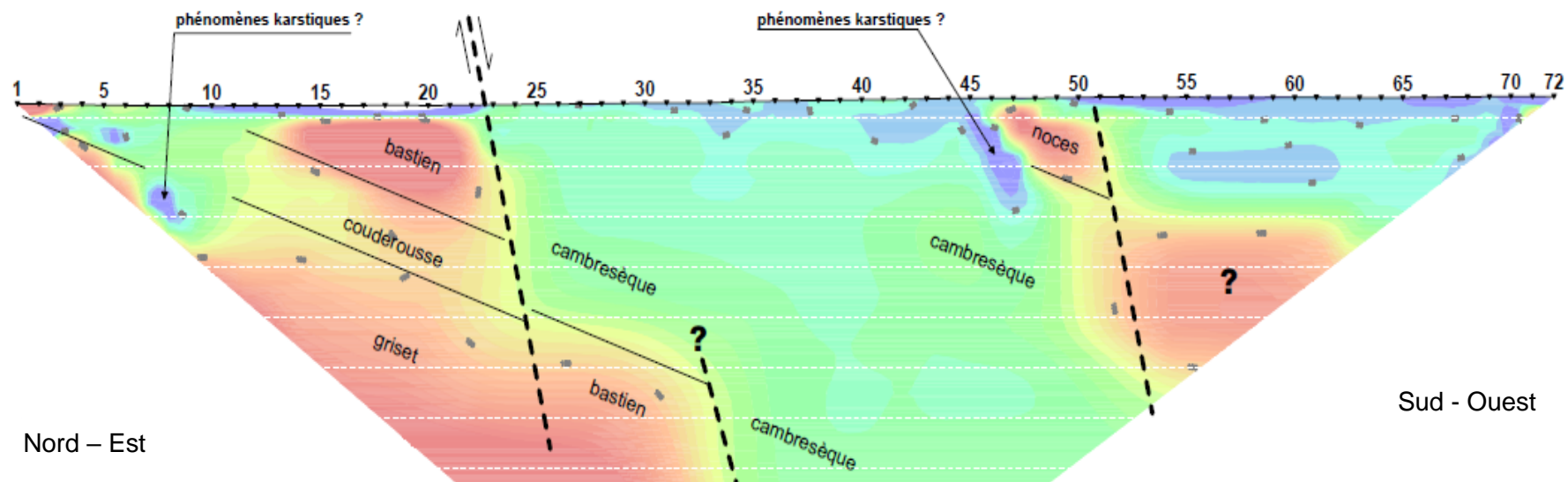


Figure 2 : Extrait du profil géophysique interprété (Fondasol), (Cambresèque = schiste de Beaulieu ; grisset = calcaire de Blacourt).

4.2. Apparition de la dolomie des Nocés

Au-delà au Sud – Ouest de la faille N100°, apparaît des halos résistifs dans l'ensemble des schistes, qui selon toutes vraisemblances sont liées aux lentilles de dolomie (dolomie des Nocés). La position de ces pointements est cohérente avec les observations géomorphologiques réalisées précédemment [3], observations qui semblaient impliquer un morcèlement de la couche de dolomie par faille. Ces matériaux n'ont pas été rencontrés en sondage ou à l'affleurement.

4.3. Recouvrement stérile vers le SW

Le recouvrement stérile (schiste de Couderousse, calcaire du Bastien, schiste de Beaulieu, évolue vers le sud – ouest selon 2 processus

4.3.1. PENDAGE

Le profil de géophysique confirme la prolongation du pendage observé dans la fosse à savoir de 20-25° vers le Sud-Ouest. Au-delà de la faille, ce pendage n'est plus observable, d'une part en l'absence de contact visible en géophysique (schiste de Beaulieu homogène) et d'autre part en l'absence de données d'imagerie de parois permettant de les mesurer dans le forage 2016-SD01.

Enfin, les cotes de l'interface schiste de Beaulieu / calcaire du Bastien comportent des variations dans le sens transversal au pendage général :

- 60 m NGF sur le profil de géophysique au droit de l'électrode 30
- 72 m NGF dans le sondage 2016-SD01

Cet écart peut traduire soit une variation de la direction du pendage, soit l'effet de la série de failles secondaires N70-90° (cf. §3.3.2).

Quoi qu'il en soit, le recouvrement a tendance à augmenter également en direction du Nord-Ouest, quoiqu'avec une intensité moindre que dans la direction principale SW.

4.3.2. REJET DE LA FAILLE N100°

Un objectif de la campagne était l'évaluation du rejet de la faille qui se traduit en recouvrement stérile supplémentaire. Cependant, entre le compartiment Nord (fosse du Stinkal) et le compartiment Sud (au-delà de la faille N100°), aucun repère commun n'a été identifié.

En effet les descriptions lithologiques dans un sondage destructif ne peuvent être que des indicateurs flous en l'absence de remonté d'échantillon. Dans le cas particulier du forage 2016-SD01, les diagraphies Gamma-Ray et OPTV n'ont pu être menées jusqu'à la cote souhaitée ne permettant pas la valorisation des données du sondage au niveau envisagé. Par conséquent il n'existe pas de niveau repère commun entre les deux compartiments de la faille permettant d'établir une continuité de la stratigraphie.

Dans le sondage 2016-SD01 on constat 2 changements de signature de la radioactivité naturelle :

- 72 m NGF, interface schiste de Beaulieu et calcaire du Bastien,
- 33 m NGF, interface non qualifiée peut être entre calcaire du Bastien et schiste de Couderousse.

Si cette interprétation est correcte, le rejet minimum de la faille serait de l'ordre de 35 m, soit un approfondissement du gisement dès le franchissement de la faille.

4.4. Stabilité des fronts SW

4.4.1. FRONT ROCHEUX

Le retour d'expérience des fronts sud de la carrière du Stinkal indique un comportement satisfaisant des fronts taillés aux rochers francs (calcaire de Blacourt, calcaire du Bastien, schistes de Couderousse) selon la disposition réglementaire (front de 15 m, banquette de 5 m, soit 1H/3V global).

Les fronts actuels montrent que la fracturation du rocher peut découper des dièdres rocheux altérant à disposition en banquette mais respectant la pente globale.



Photo 5 : plan de faille à pendage nord, guidant la stabilité locale du front

4.4.2. FRONT SCHISTEUX

Pour les schistes de Beaulieu, le caractère rocheux est moins évident, ou plus exactement l'évolutivité du massif schisteux exposé superficiellement (hydratation - dessiccation, gel - dégel, ruissèlement...), montre une dégradation accélérée des matériaux vers une pente d'équilibre inférieure aux dispositions réglementaires de 1H/3V global. Il est préférable d'anticiper cette

géométrie afin de ne pas créer des situations de vulnérabilité à terme au sommet des fronts (équipement, tiers riverains).

L'observation des pentes les plus anciennes des fronts sud conduite à préconiser une pente à 1/1 pour obtenir un talus stable en particulier vis-à-vis de l'érosion.

5. Conclusion

L'extension Sud - Ouest est contrainte par la présence d'une faille en travers de la zone d'extension. La contrainte apportée est de 2 ordres

- Approfondissement du gisement de l'ordre de 35 m
- Talutage à 1/1 des schistes de Beaulieu présent au-delà de la faille.

Dans le 2 cas, les volumes de stérile à manipuler augmentent avec le franchissement de la faille N100°.

Dans les coupes jointes en annexe, il est proposé le profil type de la fosse dans la zone d'extension SW, prenant comme hypothèse que l'approfondissement de l'ordre de 35 m du gisement était rédhibitoire, mais que la réalisation de talutage dans les schistes de Beaulieu ne l'était pas. On constate :

- Au droit de la coupe BB, la fosse est fermée en raison de la proximité des limites d'exploitation et des conditions de talutage, aucun volume significatif n'est exploitable :
- Au droit de la coupe AA, la fosse peut encore gagner 37 m vers le Sud – Ouest. La coupe est prolongée au nord pour relier les forages réalisés lors de l'étude de 2010 [2] ;
- Au droit de la coupe CC, la fosse ne peut plus gagner que 15 m vers le Sud - Ouest en raison de la proximité immédiate de la faille.

Deux pistes d'optimisation des volumes exploitables dans ce contexte peuvent être recherchées, sans toutefois constituer des volumes importants :

- Calcaire du Bastien, si la formation comporte les qualités requises, les fronts supérieurs pourraient être redessinés pour maximiser leur exploitation sous faible couverture. Ces calcaires sont accessibles actuellement en sommet de l'angle SW de la fosse pour les tester et pourraient offrir un gîte de 30 m d'épaisseur.
- Dolomie des Noces, dont la présence est confirmée au Sud Ouest mais isolée de la fosse. A condition de qualité de matériaux compatible, ces dolomies pourraient être extraites par des grattages superficiels, contrastant avec la logique industrielle de la fosse actuelle.

ANNEXE 1 : CONDITIONS GENERALES DE TERRASOL

CONDITIONS GENERALES DES MISSIONS DE TERRASOL

En conformité avec la norme NF P 94-500 (version du 30/11/2013)

1. ETENDUE DE LA MISSION

1.1. Rappel des principes

Par référence à la norme NF P 94-500 sur les missions d'ingénierie géotechnique (dont un extrait du chapitre 4 est joint à la présente proposition ou au présent rapport), il appartient au maître d'ouvrage (ou à son mandataire) de veiller à ce que toutes les missions d'ingénierie géotechnique nécessaires à la conception puis à l'exécution de l'ouvrage soient engagées avec les moyens opportuns et confiées à des hommes de l'Art.

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique suit la succession des phases d'élaboration du projet, chacune de ces missions ne couvrant qu'un domaine spécifique de la conception ou de l'exécution :

- les missions d'étude géotechnique préalable (G1) (phases Étude de Site - ES- et Principes Généraux de Construction – PGC), d'étude géotechnique de conception (G2) (phases AVP, PRO et DCE/ACT), d'études géotechniques de réalisation (G3/G4) (phases EXE/VISA et DET/AOR) sont réalisées dans l'ordre successif ;
- exceptionnellement, une mission confiée à Terrasol peut ne contenir qu'une partie des prestations décrites dans la mission type correspondante après accord explicite, le client confiant obligatoirement le complément de la mission à un autre prestataire spécialisé en ingénierie géotechnique ;
- l'exécution d'investigations géotechniques engage Terrasol uniquement sur la conformité des travaux exécutés à ceux contractuellement commandés et sur l'exactitude des résultats qu'elle fournit ;
- toute mission d'ingénierie géotechnique n'engage Terrasol sur son devoir de conseil que dans le cadre strict, d'une part, des objectifs explicitement définis dans notre proposition technique sur la base de laquelle la commande ou le contrat et leurs avenants éventuels ont été établis, d'autre part, du projet du client décrit par les documents graphiques ou plans cités dans le rapport ;
- toute mission d'étude géotechnique préalable (G1) ou de diagnostic géotechnique (G5) exclut tout engagement de Terrasol sur les quantités, coûts et délais d'exécution des futurs ouvrages géotechniques. De convention expresse, la responsabilité de Terrasol ne peut être engagée que dans l'hypothèse où la mission suivante d'étude géotechnique de projet lui est confiée ;
- une mission d'étude géotechnique de conception (G2) engage Terrasol en tant qu'assistant technique à la maîtrise d'œuvre dans les limites du bon de commande ou du contrat fixant l'étendue de la mission et la (ou les) partie(s) d'ouvrage(s) concerné(s).

1.2. Recommandations sur l'enchaînement des missions

Il est précisé que toute mission d'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.

Il est notamment rappelé que, conformément à la logique d'enchaînement des missions géotechniques telle que définie dans la norme

NF P 94-500, l'ingénierie géotechnique chargée de l'étude et du suivi géotechnique d'exécution (mission G3) devra être informée de tout élément géotechnique nouveau mis en évidence lors de l'exécution des travaux et qui peut avoir une influence sur les conclusions et recommandations des études géotechniques conduites lors des étapes précédentes (missions G1 et G2), et ce afin qu'elle en analyse les conséquences sur les conditions d'exécution voire la conception de l'ouvrage géotechnique. En particulier tout caractère évolutif nouveau mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), doit conduire à une validation, par l'ingénierie géotechnique en charge d'une étape de la conception ou de l'exécution, de l'application des recommandations des étapes précédentes. En effet, un tel caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations, notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

1.3. Les documents établis dans le cadre d'une mission

Le rapport géotechnique constitue le compte-rendu de la mission d'ingénierie géotechnique définie par la commande ou le contrat au titre de laquelle (duquel) il a été établi et dont les références sont rappelées sur le rapport. A défaut de clauses particulières contractuelles, la remise du rapport géotechnique fixe la fin de la mission. Le rapport géotechnique et ses éventuelles annexes constituent un ensemble indissociable. Les deux exemplaires de référence en sont les deux originaux conservés : un par le client et le second par Terrasol. Dans ce cadre, toute conclusion qui pourrait être tirée d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de Terrasol. En particulier l'utilisation, même partielle, de ces conclusions par un autre maître d'ouvrage ou par un autre constructeur, ou pour un autre ouvrage que celui objet de la mission confiée, ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de Terrasol.

2. RESPONSABILITÉ

La responsabilité de Terrasol ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission délimitée par la présente proposition et des documents (rapport ou autres) qui seront établis par lui. En particulier, toute modification apportée au projet ou à son environnement nécessite la réactualisation des documents et ce dans le cadre d'une nouvelle mission.

Terrasol certifie qu'il est titulaire de polices d'assurances couvrant sa responsabilité civile professionnelle pour tous les risques liés à l'exécution des prestations, objet de la présente proposition.

La responsabilité de Terrasol sera strictement limitée à la réparation des dommages matériels et immatériels dont il serait prouvé qu'ils ont été causés par un manquement ou une inexécution de ses obligations et ce, dans la limite du montant des honoraires reçus au titre de la présente proposition.

3. MODALITÉS D'EXÉCUTION DE LA MISSION

La mission de Terrasol ne saura débuter sans la transmission par écrit par le client d'une commande qui devra être acceptée par Terrasol.

Cette commande pourra prendre la forme d'un bon de commande ou d'un contrat auquel sera annexée la présente proposition.

ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

(Extraits de la norme NF P 94-500 du 30 novembre 2013 – Chapitre 4.2)

Le Maître d'Ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la Maîtrise d'Œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception, puis de réalisation de l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage, ou son mandataire, doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives à la Maîtrise d'Œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés tableau 1 et page suivante. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phase de la maîtrise d'œuvre	Missions 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	Études géotechniques 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	Études géotechniques 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 : Étude géotechnique de réalisation (G3/G4)		A la charge de l'entreprise	A 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 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

CLASSIFICATION DES MISSIONS D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES PRELABLES (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases:

Phase étude de site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase principes généraux de construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE PROJET (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases:

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRQ)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE/ATC

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ÉTAPE 3 :

ETUDES GÉOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps 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. Elle comprend deux phases interactives:

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques: notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs: plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaires si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

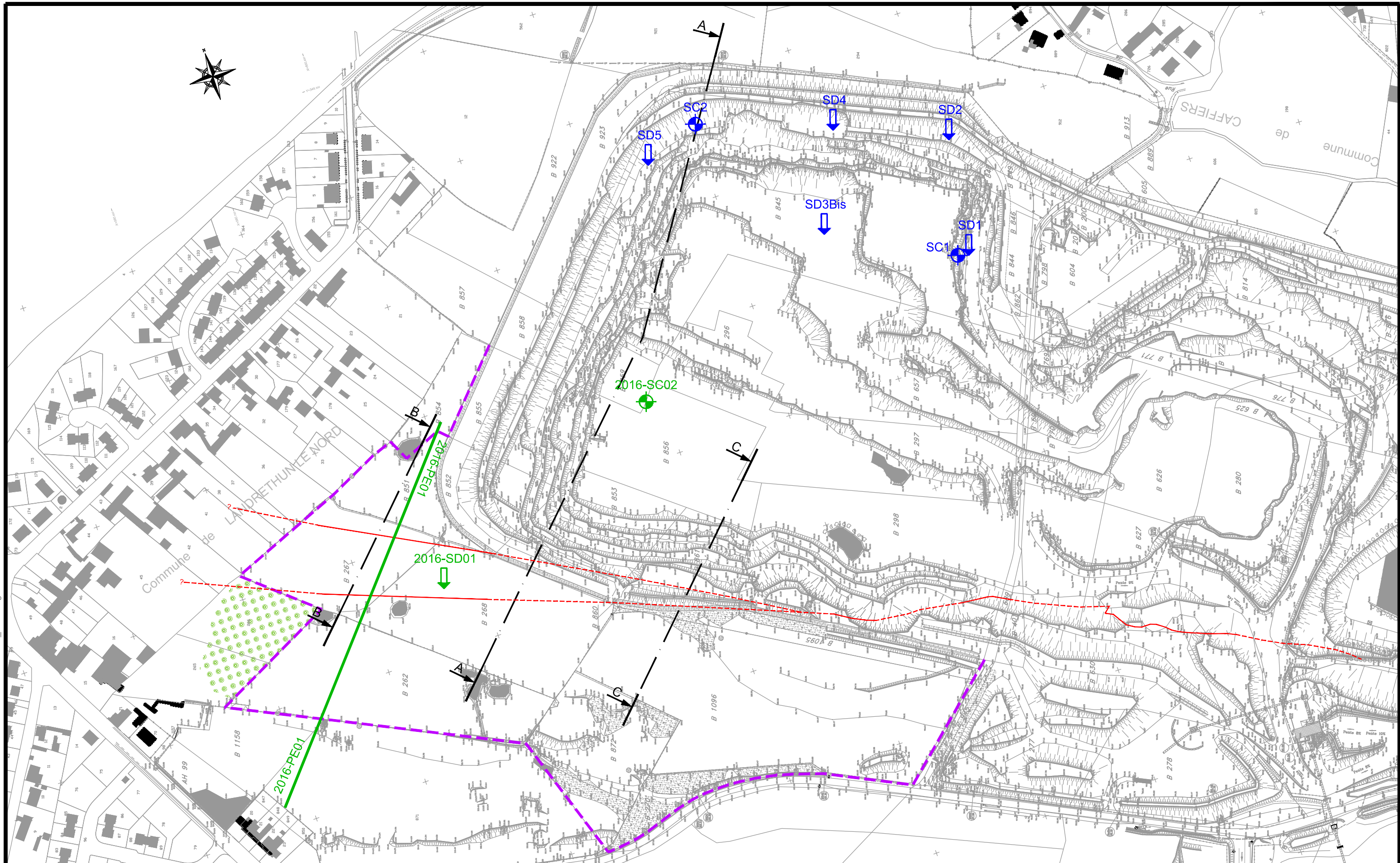
- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

ANNEXE 2 : IMPLANTATION DES RECONNAISSANCES ET DES COUPES

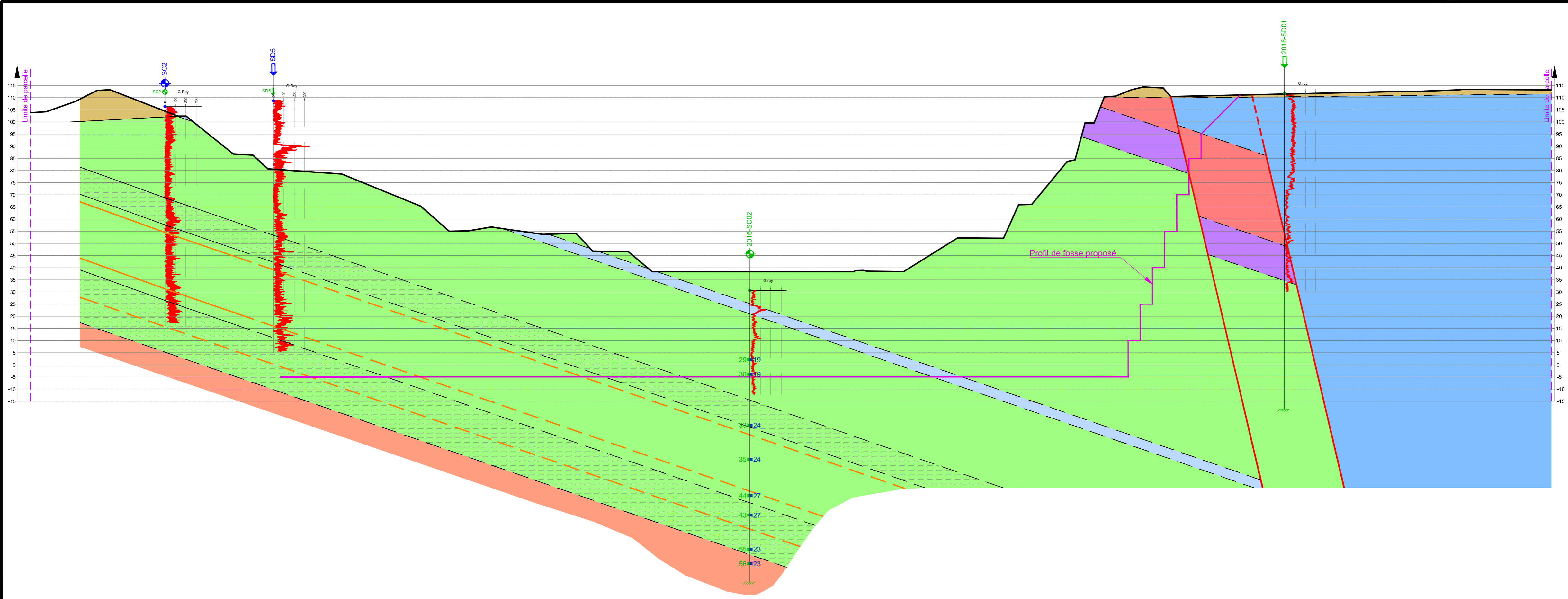


Carrière du Stinkal
Développement sud
Vue en plan



R:\Dessin\Affaires\Affaire 37000\37184 Dev. sud carrière du Stinkal\TS\37184-Stinkal_IndC.dwg

ANNEXE 3 : COUPES INTERPRETATIVES



LEGENDE :

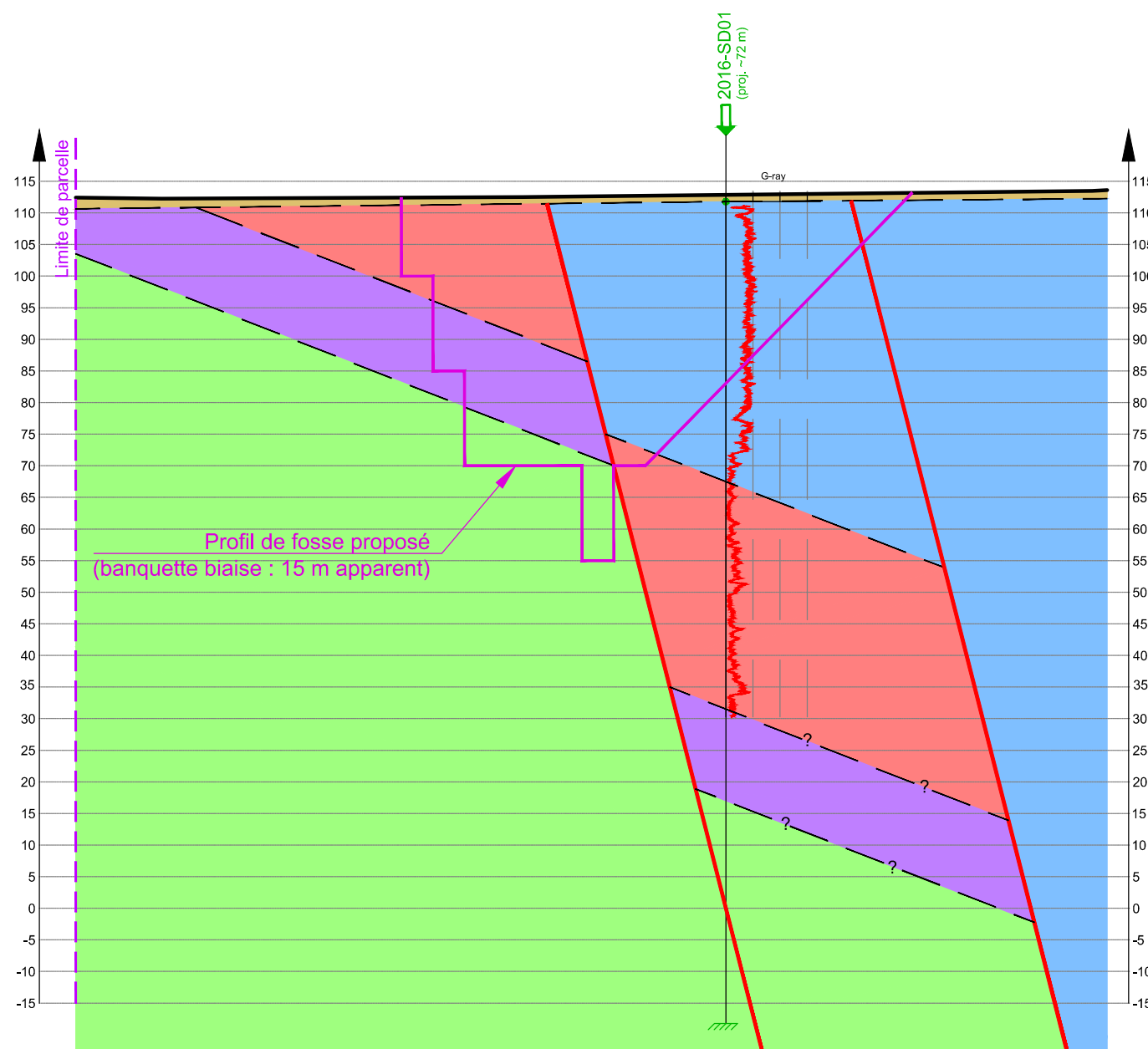
<ul style="list-style-type: none"> ↓ Destructif ⊕ Carotté 	<ul style="list-style-type: none"> Campagne de reconnaissances 2010 Campagne de reconnaissances 2016
---	--

<ul style="list-style-type: none"> ■ Limons ■ Schiste de Beaulieu ■ Calcaire du Bastien 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schiste de Couderousse ■ Calcaire de Blacours ■ Argile de Magne 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Calcaire marneux ■ Argilite ■ Grès et schiste de Caffiers 	<p>Gamma-ray</p>	<p>MDE LA</p> <p>29 ■ 19</p>
--	---	---	------------------	------------------------------

**Carrière du Stinkal
Développement sud
Coupe A-A**

Indice : C	Date : 10/08/2016	Echelle(s): 1/1000	Format: A3	Folio 1/1
------------	-------------------	--------------------	------------	-----------

R:\Dessin\Affaires\Affaire 37000\37184 Dev. sud carrière due Stinkal\TS\37184-Stinkal_IndC.dwg



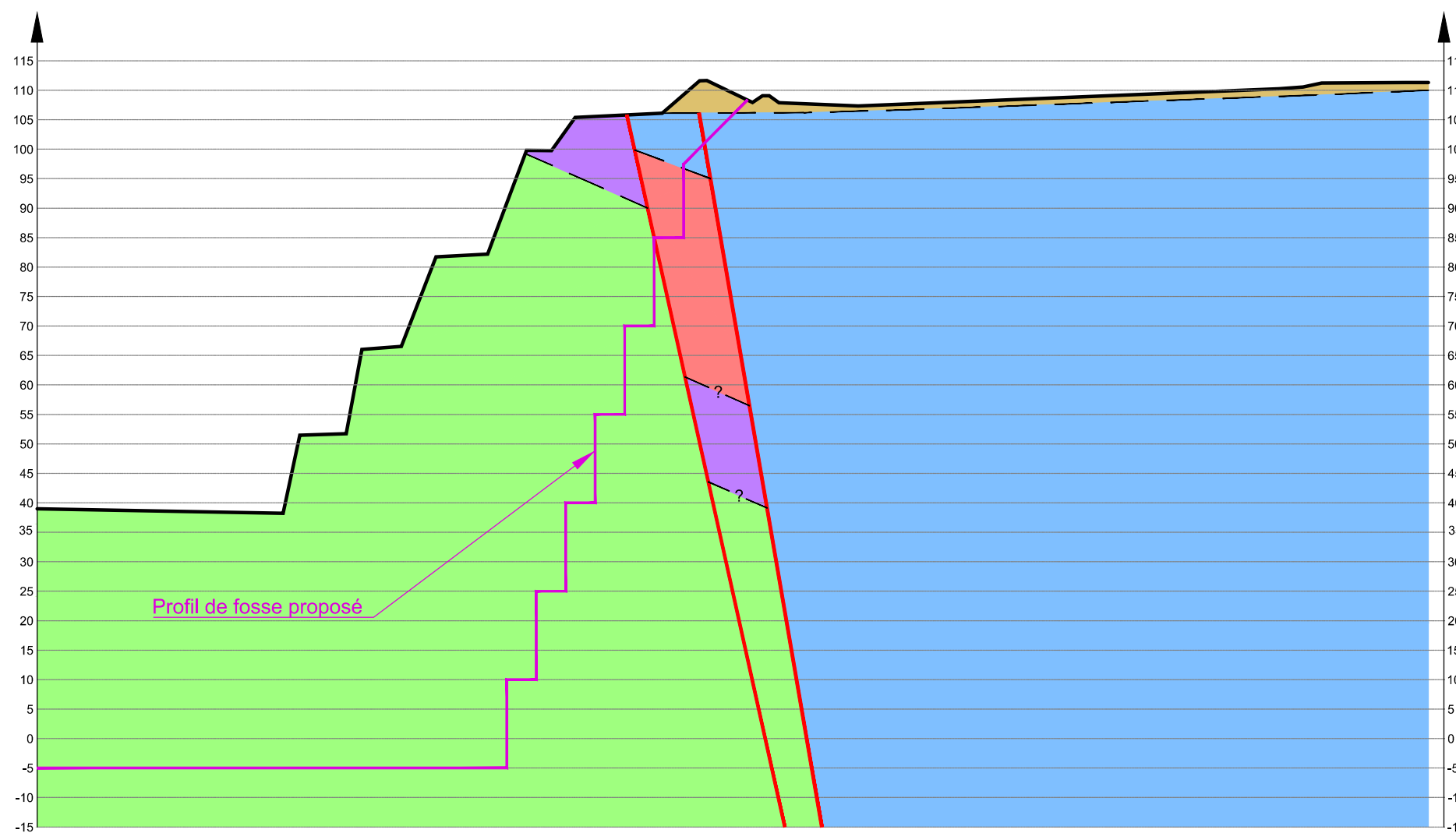
LEGENDE :

- Destructif
 } Campagne de reconnaissances 2010
- Carotté
 } Campagne de reconnaissances 2016

- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Limons Schiste de Beaulieu Calcaire du Bastien | <ul style="list-style-type: none"> Schiste de Couderousse Calcaire de Blacours Argile de Magne | <ul style="list-style-type: none"> Calcaire marneux Argilite Grès et schiste de Caffiers |
|---|--|--|

Carrière du Stinkal
Développement sud
Coupe B-B





R:\Dessin\Affaires\Affaire 37000\37184 Dev. sud carrière due Stinkal\TS\37184-Stinkal_IndC.dwg

LEGENDE :

↓ Destructif	} Campagne de reconnaissances 2010
⊕ Carotté	
	} Campagne de reconnaissances 2016

Limons	Schiste de Couderousse	Calcaire marneux
Schiste de Beaulieu	Calcaire de Blacours	Argilite
Calcaire du Bastien	Argile de Magne	Grès et schiste de Caffiers

Carrière du Stinkal
Développement sud
Coupe C-C





setec

www.terrasol.com

terrasol agence Paris

Immeuble Central Seine
42 - 52 quai de la Rapée – CS 71230
75583 PARIS CEDEX 12
FRANCE

Tél : +33 1 82 51 52 00
Fax : +33 1 82 51 52 99
info@terrasol.com

terrasol agence Rhône-Alpes

Immeuble le Crystallin
191 - 193 cours Lafayette – CS 20087
69458 LYON CEDEX 06
FRANCE

Tél : +33 4 27 85 49 35
lyon@terrasol.com

terrasol Tunisie

2 rue Mustapha Abdessalem
1004 EL MENZEH V- ARIANA
TUNISIE

Tél : +216 71 236 314
Fax : +216 71 753 288
www.terrasol.com.tn
k.zaghouani@terrasol.com.tn

[4] Dernière mise à jour du modèle géologique et de ressource 3D de la carrière du Stinkal – Logiciel Coralis (Stinkal – 2026)

[4] Coupe géologique extraite du modèle 3D CORALIS de Stinkal

