

DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

The logo for STINKAL, featuring the word "STINKAL" in a bold, black, sans-serif font. A small red horizontal bar is positioned above the letter "I".

Carrières de STINKAL – Demande de renouvellement de l'autorisation d'exploiter et d'approfondissement de la Carrière de calcaires du Banc Noir

Note en réponse des informations complémentaires demandées (annexe au courriel DREAL du 20/02/2026)

Référence Affaire : 2502-02

Date : 15/04/2026

Version : Version initiale – Version 1

Document établi par : Bérénice RANC & Sylvain LECIGNE
Bureau d'études AUREA



5, rue Neuve 80 860 NOUVION

Nicolas KETELERS, Norbert KLEINMAN &
Cécile PRINCE
Bureau d'études ANTEA GROUP

Noémie DELMOTTE
Carrières de STINKAL

Antoine GAUFFRIAUX
Bureau d'ingénierie TRACTEBEL


TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1. OBJET DE LA PRESENTE NOTE	3
CHAPITRE 2. REPONSES AUX INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES DEMANDEES.....	5
2.1 Concernant l'autorisation d'approfondissement de la carrière.....	6
2.1.1 Stabilité des sols – Dimensionnement des fronts de taille.....	6
2.1.2 Hydrogéologie.....	7
2.2 Concernant le projet de valorisation de sédiments marins et fluviaux.....	11
2.2.1 Justification du projet.....	11
2.2.2 Acceptabilité des sédiments sur site.....	13
2.2.3 Espèces invasives	14
2.2.4 Rejets aqueux	15
ANNEXES 19	
Annexe 1 : « STINKAL – DDAE 2025 – Demande de renouvellement de l'autorisation d'exploiter et d'approfondissement de la carrière du Banc Noir » – Annexe au courriel DREAL du 20/02/2026 – Demande d'informations complémentaires.....	21
Annexe 2 : Mémo technique « Stabilité des fronts Sud – Carrière du Stinkal » (TRACTEBEL – Rév. 00 – 18/03/2026)	22
Annexe 3 : Rapport « Lagunes de valorisation de sédiments marins et fluviaux – AVP – Gestion des eaux » (Antea Group – réf. A130980 – Version F – 07/04/2026).....	23

CHAPITRE 1. OBJET DE LA PRESENTE NOTE

Le dossier de demande d'autorisation environnementale de la société STINKAL (exploitant) a été déposé en téléprocédure le 17 décembre 2025 (version 1). Celui-ci a fait l'objet d'une demande d'informations complémentaires de M. le Préfet de la Région Hauts-de-France (DREAL) en date du 20 février 2026 (e-mail).

Les réponses de l'exploitant sont apportées dans la présente note, qui reprend en format *italique* les demandes puis détaille les réponses.

 **Annexe 1** : « *STINKAL – DDAE 2025 – Demande de renouvellement de l'autorisation d'exploiter et d'approfondissement de la carrière du Banc Noir* » – Annexe au courriel DREAL du 20/02/2026 – Demande d'informations complémentaires

CHAPITRE 2. REPONSES AUX INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES DEMANDEES

2.1 Concernant l'autorisation d'approfondissement de la carrière

2.1.1 Stabilité des sols – Dimensionnement des fronts de taille

Le projet comporte un approfondissement de l'extraction de 35 mètres supplémentaires par rapport à la situation actuelle. Cet approfondissement nécessitera une reprise des fronts Sud de la carrière du Banc Noir avec la création d'étages et de banquettes supplémentaires.

Le dossier comporte une étude réalisée en 2016 par le bureau d'études géotechniques TERRASOL dans le cadre du développement Sud du gisement ; cette étude propose des prescriptions géotechniques applicables à l'extension, notamment en termes de pentes d'exploitation.

A l'appui de cette étude, les pentes retenues dans le dossier sont de 1H/3V dans les fronts calcaires de Blacourt (l'étude TERRASOL de 2016 indique par retour d'expérience un comportement satisfaisant des fronts de tailles de 15 m de haut avec des banquettes de 5 m de large) et de 1H/1V dans les fronts schisteux présents en surface du front Sud.

Le dossier n'évoque à aucun moment le glissement de terrain survenu sur un front exploité le 30/10/2017, et ne met pas en comparaison les conclusions de l'étude TERRASOL de 2016 avec celles des études et rapports réalisés suite au glissement de terrain.

Il est demandé à l'exploitant une mise à jour de l'étude géotechnique réalisée dans le cadre du développement de l'exploitation au Sud du gisement en prenant en compte les conclusions des études réalisées suite au glissement de terrain. Cette étude devra se prononcer sur la stabilité des sols et fronts de tailles et préciser les dispositions retenues pour le suivi de cette stabilité.

L'étude géotechnique effectuée par TERRASOL en 2016 a été approfondie par la bureau d'ingénierie TRACTEBEL, dont les conclusions sont présentées dans la note technique disponible en Annexe 2.



Annexe 2 : Mémo technique « Stabilité des fronts Sud – Carrière du Stinkal » (TRACTEBEL – Rév. 00 – 18/03/2026)

Il a ainsi été montré que :

- Les données à la disposition de STINKAL étaient suffisantes pour démarrer l'exploitation des calcaires suivant le design établi par TERRASOL (angles des fronts proposés acceptables) ;
- 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 (objet du glissement de terrain de 2017), **ces plans sont donc bien orientés, empiétés et favorables à la stabilité des fronts.**

Précisons également qu'un **suivi de terrain** sera mis en place dès le début de l'exploitation, et qu'en cours d'exploitation une **cartographie complémentaire** (voire des investigations) sera effectuée pour valider définitivement le modèle géologique, identifier les aléas de stabilité ponctuels et éventuellement revoir le design des fronts.

Ces éléments ont été intégrés dans le dossier de demande d'autorisation environnementale :

- Compléments apportés dans l'étude d'impact (Etape 6 – PJ n°4 – Paragraphe 1.4.2.1 « Effets sur le sol et le sous-sol ») ;
- Harmonisation effectuée dans la description du projet (Etape 3 – PJ n°46 – Paragraphe 1.5.3.1 « Modification des périmètres d'autorisation et d'extraction »).

2.1.2 Hydrogéologie

Le dossier, qui comporte une étude de modélisation hydrogéologique réalisée en 2025 par la société ANTEA, présente le contexte hydrogéologique du site constitué par une formation aquifère correspondante aux calcaires de Blacourt.

Le dossier indique que cette nappe souterraine n'est pas exploitée, et seuls les puits de forage privés à proximité du site ont fait l'objet d'un recensement, sans reprendre les forages exploités aux alentours, notamment captages d'eau potable, et sans dimensionner le cône de rabattement lié à l'approfondissement de la carrière.

Concernant les effets de l'abaissement du niveau de la nappe liée à l'approfondissement de la carrière sur le bâti existant, le dossier indique un impact potentiel sur la ferme de Blacourt sans évaluer l'impact potentiel et son acceptabilité et sans envisager les moyens de suivi de ces impacts. L'étude de modélisation hydrogéologique présente les incidences de l'approfondissement de la carrière sur le ruisseau de Blacourt en situation hydraulique moyenne mais ne tient pas compte des périodes les plus défavorables (étiage).

Le dossier devra être complété par les éléments suivants :

- *Délimitation du cône de rabattement de la nappe lié à l'approfondissement de la carrière ;*
- *Recensement des forages et captages d'eau potable dans le périmètre défini par le cône de rabattement ; évaluation de l'impact sur ces ouvrages ;*
- *Evaluer l'impact potentiel et son acceptabilité sur le bâti de la ferme de Blacourt / décrire les moyens prévus pour le suivi de l'état du bâti de la ferme de Blacourt ;*
- *Impacts de l'approfondissement de la carrière sur le ruisseau de Blacourt en période d'étiage.*

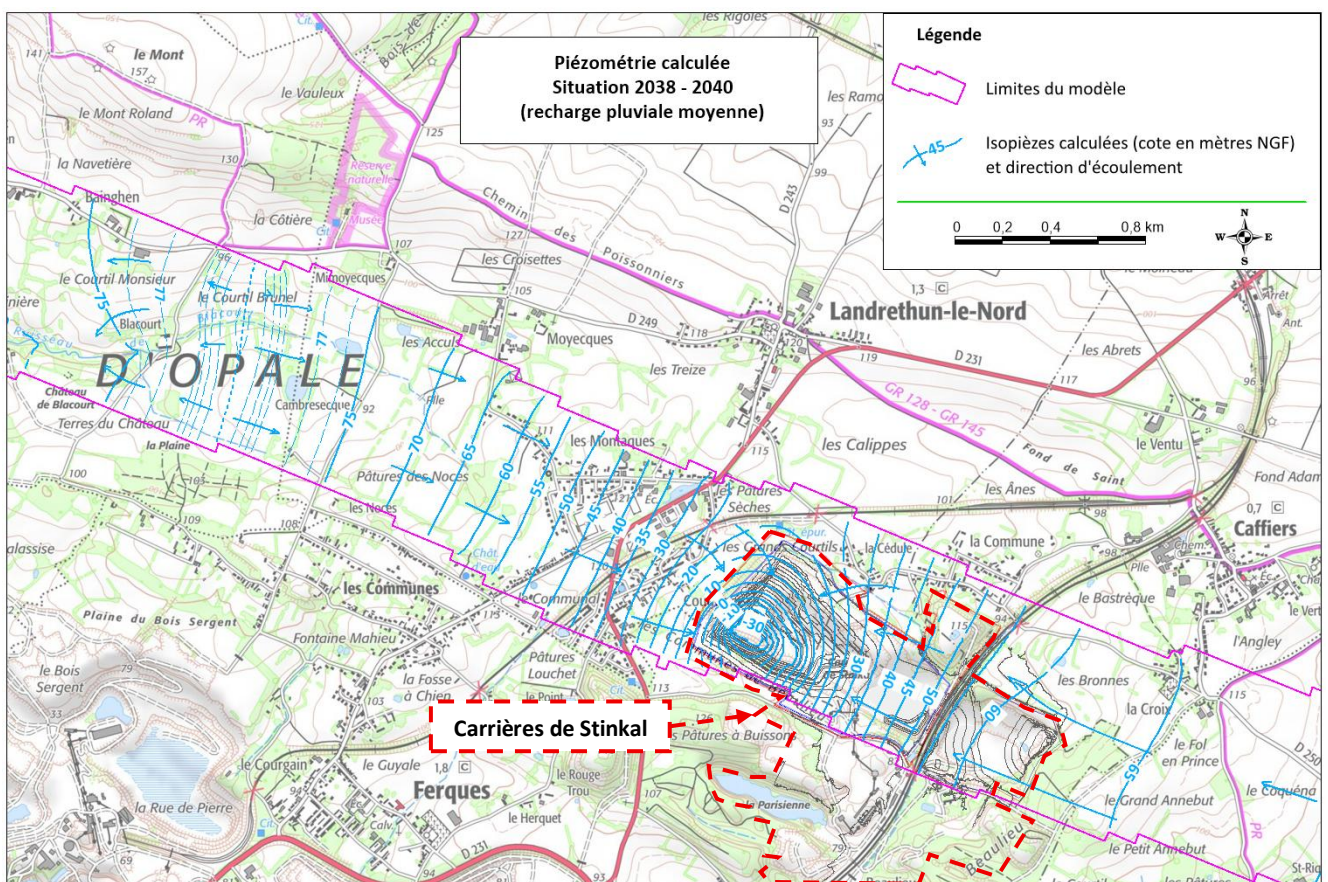
2.1.2.1 Délimitation du cône de rabattement de la nappe lié à l'approfondissement de la carrière

Le cône de rabattement de la nappe lié à l'approfondissement projeté de la carrière a bien été délimité dans le cadre de la modélisation hydrogéologique établie par Antea Group : rapport n°A138348/B en date du 19 août 2025, disponible en **Annexe 3-1 de l'étude d'impact** (PJ n°4). Ainsi :

- Les isopièzes actuelles et projetées (calculées à l'aide du logiciel MARTHE) sont présentées dans l'annexe III de ce rapport (pages 32 à 34) ;
- Elles sont également reprises dans l'étude d'impact, dans la partie 1.4 « Eau, sol et sous-sol » :
 - Situation actuelle : cf. partie 1.4.1.3 « Ressource souterraine » / « Hydrogéologie » / « Piézométrie » ;
 - Situation projetée (avant et après arrêt des pompages) : cf. partie 1.4.2.2 « Effets sur les eaux souterraines » / « Ecoulements souterrains ».

2.1.2.2 Recensement des forages et captages d'eau potable dans le périmètre défini par le cône de rabattement et évaluation de l'impact sur ces ouvrages

■ Recensement des ouvrages



La figure ci-dessus présente les isopièzes calculées pour la phase 2038 - 2040, correspondant à l'approfondissement maximal projeté de la carrière et donc au cône de rabattement le plus important (figure apparaissant dans l'étude d'impact, cf. paragraphe 2.1.2.1 précédent). Les sens d'écoulement permettent de représenter, sur le domaine d'étude, la limite du rabattement engendré par l'approfondissement de la carrière.

Comme indiqué dans l'étude d'impact (cf. partie 1.4.1.3 « Ressource souterraine » / « Hydrogéologie » / « Contexte hydrogéologique ») ainsi que dans le rapport de modélisation hydrogéologique d'Antea Group (Annexe 3-1 de l'étude d'impact), cette figure montre que les formations de Blacourt (calcaires exploités par STINKAL) et de Caffiers constituent un ensemble aquifère enchâssé entre les formations imperméables que constituent les argiles schisteuses du Silurien au Nord (sous couverture secondaire) et les schistes de Beaulieu au Sud. Latéralement, cotés Est et Ouest, le réservoir est limité par la disparition de la fissuration sous le recouvrement secondaire (confinement sous le poids des formations, recouvrement imperméable empêchant la dissolution).

Concernant l'exploitation de cet ensemble aquifère, un recensement des forages et captages d'eau a été effectué dans le périmètre défini par le cône de rabattement :

- La Carte 6 « Contexte hydrogéologique et captages des eaux souterraines » présentée dans l'étude d'impact (cf. partie 1.4.1.3 « Ressource souterraine » / « Hydrogéologie » / « Utilisation des eaux souterraines ») localise les captages d'eau potable les plus proches. Elle montre qu'une nappe différente est exploitée par ces derniers (nappe de la craie ; masse d'eau souterraine « FRAG301 – Craie de l'Audomarois ») et que la nappe des calcaires de Blacourt (intégrée dans la masse d'eau souterraine FRAG302 – Calcaires du Boulonnais) n'est pas présente ;
- Les autres forages ont fait l'objet d'un recensement :
 - Auprès de la Banque Nationale des Prélèvements Quantitatifs en Eau (BNPE), notamment alimentée par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie. Elle indique l'absence de forage exploité dans cet aquifère (cf. Carte 6) ;
 - Auprès de la Banque du Sous-Sol (BSS) du BRGM (cf. plan en annexe I du rapport d'Antea Group). Précisons également que ces ouvrages ont été recherchés dans le cadre d'une visite de terrain effectuée par Antea Group à l'occasion des études de 2001-2003. Ces recherches ont confirmé que les ouvrages recensés aux abords du site étaient généralement abandonnés ou limités à un usage particulier ou agricole. Peu profonds (moins de 6 m), ils semblent plutôt exploiter la frange supérieure altérée des calcaires ou les formations superficielles limono-sableuses.

Seuls quelques prélèvements limités de la nappe des calcaires de Blacourt sont donc potentiellement effectués (quelques puits peu profonds), étant donné que cette dernière n'est pas exploitable à un débit significatif : la faiblesse de cette ressource en eau a conduit les collectivités et les exploitants d'eau à la délaissier.

L'étude d'impact du dossier a été complétée (partie 1.4.1.3 « Ressource souterraine » / « Hydrogéologie » / « Utilisation des eaux souterraines ») avec :

- Une mise à jour de la Carte 6, dans le but de faire apparaître l'enclassement de l'ensemble aquifère circulant au droit de la carrière (formations de Blacourt et Caffiers) entre 2 formations imperméables (tracé issu des études d'Antea Group) ;
- L'ajout d'un paragraphe supplémentaire «Points d'eau recensés dans la BSS (BRGM) », dans le but de faire apparaître les informations disponibles sur les points d'eau recensés dans la BSS (localisation des points d'eau apparaissant sur le site « Infoterre » du BRGM et synthèse de la visite de terrain d'Antea Group).

■ Impact du projet sur ces ouvrages

L'impact du projet d'approfondissement sur les puits encore existants précédemment décrits sera nul étant donné que ces derniers sont peu profonds et captent donc plutôt des eaux pluviales en cours d'infiltration dans la frange supérieure altérée des calcaires ou les formations superficielles limono-sableuses. En effet, la profondeur de ces ouvrages varie entre + 95 et + 116 m NGF, alors que la nappe des calcaires des Blacourt est actuellement à une profondeur comprise entre + 40 et + 60 m NGF sous ces ouvrages (isopièzes 2025). En 2040, cette nappe sera encore plus profonde (entre + 20 et + 40 m NGF).

Un paragraphe a également été ajouté dans l'étude d'impact du dossier (partie 1.4.2.2 « Effets sur les eaux souterraines » / « Ecoulements souterrains »).

2.1.2.3 Impact potentiel sur le bâti de la ferme du Blacourt et suivi prévu

L'impact potentiel du projet sur le bâti de la ferme du Blacourt est détaillé dans l'étude d'impact du dossier (cf. partie 1.4.2.2 « Effets sur les eaux souterraines » / « Ecoulements souterrains ») et a été qualifié comme marginal.

Pour rappel, le décalage vers l'Ouest des résurgences de la nappe en direction du bassin versant du Blacourt indique que seul un corps de ferme ancien (ferme de Blacourt) est potentiellement concerné par cette modification. La carte géologique ne fait pas apparaître, sur le cours amont du Blacourt, de présence significative d'alluvions susceptibles d'être impactées en cas d'exondation. Ces dernières n'apparaissent que plusieurs kilomètres à l'Ouest, en direction de Leulinghen-Bernes. La ferme de Blacourt est donc, selon toute vraisemblance, fondée sur les formations massives du substrat dévonien, peu sensibles à une éventuelle exondation.

Dans le cadre de l'approfondissement, et sous réserve de l'accord des propriétaires, STINKAL fera procéder à un **diagnostic des fondations de la ferme** (mission d'expertise géotechnique de type G5). L'objectif sera de confirmer le mode de fondation et la nature de la formation géologique dans laquelle ces fondations sont implantées. Si une formation sensible à la compression est identifiée, les mesures permettant de prévenir tout désordre seront détaillées dans le rapport géotechnique puis mises en œuvre par STINKAL.

Un paragraphe relatif à la réalisation de cette mission géotechnique a été ajouté dans l'étude d'impact (paragraphe 1.4.3.1 « Protection des sols »).

2.1.2.4 Impact sur le ruisseau de Blacourt en période d'étiage

Comme indiqué dans l'étude d'impact et le rapport d'Antea Group (Annexe 3-1 de l'étude d'impact), la modélisation a mis en évidence une incidence très limitée sur le ruisseau de Blacourt, avec un recul des premières émergences de la nappe d'environ 130 mètres par rapport à la situation actuelle, et une perte moyenne du débit de drainage de la nappe de l'ordre de 1,6 m³/h (à comparer au débit moyen d'environ 215 m³/h en amont de l'ancienne station de Rezelinghen). Le Blacourt est en effet majoritairement alimenté par le ruissellement. Il reçoit, plus en aval, les eaux d'exhaure des carrières du Boulonnais qui renforcent son débit.

Une estimation du débit de récurrence (QMNA₅) dans le Blacourt est de 0,006 m³/s, soit 21,6 m³/h (donnée INRAE, 2024). En période d'étiage sévère, la perte de débit consécutive à l'approfondissement maximal de la carrière serait donc de l'ordre de 7,4%. Rappelons également que cette perte serait notablement réduite dans la partie aval du cours d'eau, après la confluence avec le rejet des Carrières du Boulonnais.

Un paragraphe relatif à l'impact du projet en période d'étiage a été ajouté dans l'étude d'impact (partie 1.4.2.3 « Effets sur les eaux de surface » / « Ecoulements des eaux superficielles »).

2.2 Concernant le projet de valorisation de sédiments marins et fluviaux

2.2.1 Justification du projet

Le dossier présente dans son document « AVP - Gestion des eaux » une comparaison entre six scénarios qui prévoient tous la localisation de la plateforme de valorisation des sédiments sur le site de la carrière STINKAL, avec pour le scénario retenu un égouttage des sédiments en bord de quai du lieu de prélèvement des sédiments.

Comme évoqué lors de la phase amont, le dossier doit comporter une description des solutions de substitutions raisonnables qui ont été examinées, et une indication des principales raisons du choix effectué, notamment en comparaison des incidences sur l'environnement et la santé humaine. Dans ce cadre, les solutions de ressuyage et préparation des sédiments à proximité de leurs lieux de dragage doivent être privilégiées. Or de tels scénarios n'ont pas été présentés.

Le dossier devra être complété en conséquence.

La réalisation bord à quai de l'ensemble des opérations de valorisation (égouttage, tri des macrodéchets, ressuyage puis conception d'éco-matériaux à usage routier par exemple) a été étudiée :

- Dans le cas des sédiments marins, l'emprise foncière disponible à proximité des ports de Calais et de Boulogne-sur-Mer est insuffisante pour permettre l'implantation d'une telle plateforme ;
- Dans le cas des sédiments fluviaux, à cette problématique d'emprise foncière peu disponible s'ajoute la multiplicité et variabilité des lieux de dragage, ce qui empêche l'implantation d'une plateforme de ressuyage robuste à proximité immédiate ;

- Des impacts complémentaires, sur la biodiversité en particulier, seraient également probables en cas d'implantation de la plateforme de valorisation sur une emprise actuellement non aménagée (pour rappel, la plateforme ici proposée sera créée au sein de la carrière du Banc Noir en cours de remblaiement partiel) ;
- La valorisation des sédiments en tant qu'éco-matériaux nécessite des installations complémentaires, telles que la centrale de graves traitées déjà existante sur le site de STINKAL : les sédiments devront donc tout de même être transportés sur une plateforme intermédiaire pour être rendus valorisables ;
- Si néanmoins ces installations complémentaires étaient également implantées à proximité des lieux de dragage/curage en sus des lagunes de ressuyage (sous réserve d'emprise foncière disponible), il faudrait alors apporter un volume conséquent de matériaux complémentaires pour permettre la conception d'éco-matériaux. A titre d'exemple, l'élaboration d'un sable mixte calcaire/sédiment destiné à l'assainissement nécessite environ 25% de sédiments et 75% de sable calcaire (ainsi qu'éventuellement des liants, en des quantités plus faibles) : le volume de sable à transporter vers le lieu de valorisation serait donc plus important que le volume de sédiment à transporter vers le site de STINKAL sur lequel le sable est directement extrait et fabriqué (carrière).

Cette solution est donc **peu faisable d'un point de vue foncier** et **non raisonnable en termes d'impacts potentiels notamment sur la biodiversité** (dégradation et/ou destruction potentielles d'habitats naturels en cas d'implantation de plateforme sur une emprise actuellement non aménagée) et **le transport** (congestion routière et émissions atmosphériques associées).

Deux paragraphes complémentaires ont été ajoutés dans l'étude d'impact (partie 1.18.2.2 « Variantes au projet de valorisation de sédiments non dangereux non inertes ») :

- Le premier paragraphe reprend les 6 scénarios étudiés par Antea Group dans le cadre du dimensionnement de la plateforme de valorisation. Un septième scénario a été ajouté et correspond au dimensionnement finalement retenu (cf. tableau en annexe I du rapport Antea Group disponible en Annexe 3 de la présente note) ;



Annexe 3 : Rapport « Lagunes de valorisation de sédiments marins et fluviaux – AVP – Gestion des eaux » (Antea Group – réf. A130980 – Version F – 07/04/2026)

- Le second paragraphe reprend les éléments susmentionnés.

2.2.2 Acceptabilité des sédiments sur site

Comme vu lors de la phase amont, les sédiments gérés à terre ont le statut de déchet en vertu de l'article L541-4-1 du code de l'environnement issu de la transposition de l'article 2 de la directive cadre sur les déchets 2008/98/CE modifiée.

La réglementation déchets impose une caractérisation de la dangerosité des déchets qui incombe au producteur, et à défaut au détenteur (L541-7-1 du CE). Cette étape constitue un préalable fondamental afin d'identifier la filière de traitement adaptée.

Pour les sédiments, la caractérisation de la dangerosité nécessite une évaluation au regard des 15 propriétés de danger HP1 à HP15 en application des articles R541-7 et R541-8 du CE. En effet les sédiments de dragage relèvent des codes déchets suivants : 17 05 05* ou 17 05 06. Il s'agit de codes dits "miroirs". Dans ce cas, pour déterminer si ce type de déchet est dangereux, il convient de passer en revue l'ensemble des 15 propriétés de danger numérotées HP1 à HP15. Ces propriétés de danger sont fixées par la directive cadre déchets (2008/98/CE), révisée par le règlement 1357/2014/UE et la décision 2014/955/UE.

Si le déchet possède au moins une propriété de danger, il est classé comme dangereux.

La méthodologie à employer pour l'évaluation de la dangerosité des déchets relevant notamment de ce type de code "miroir" est décrite dans le guide de l'INERIS référencé « guide d'application pour un classement en dangerosité des déchets », dont une mise à jour a été publiée en novembre 2024 : https://www.ineris.fr/sites/default/files/contribution/Documents/Guide_minist%C3%A8re_classification_r%C3%A9glementaire_d%C3%A9chets_novembre_2024.pdf.

Dans le cas des sédiments, cette méthodologie a été déclinée spécifiquement dans le rapport du BRGM référencé BRGM/RP-67318-FR d'août 2017, qui précise notamment les propriétés qui n'ont pas à faire l'objet d'une évaluation (HP1, HP2 et HP3 et HP15), propose des valeurs seuils en dessous desquelles les sédiments sont réputés non dangereux au titre des propriétés de danger HP4, HP5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11 et HP 13, et propose un protocole d'évaluation de la dangerosité au titre de la propriété écotoxique HP14 (tests à réaliser au-dessus de valeurs seuils issues de la réglementation IOTA : seuils S1 de l'AM du 09/08/2006).

Si la non-dangerosité est démontrée, alors le caractère inerte peut être évalué.

Faute de référentiel dédié, la démonstration du caractère inerte des déchets non dangereux peut s'appuyer sur les valeurs limites de l'annexe II de l'arrêté ministériel du 12/12/2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.

Le caractère intrinsèque non dangereux inertes des sédiments ne suffisent pas justifier la régularité d'une filière de traitement de déchets non dangereux inertes. Les conditions d'admission doivent également être vérifiées au regard de l'usage final et également pour garantir la compatibilité des déchets admis avec le processus de traitement. En l'occurrence pour être admissible en installation de transit de déchets non dangereux inertes (rubrique ICPE 2517) les sédiments doivent, entre autres, respecter les conditions de l'article 2 de l'arrêté ministériel du 12/12/2014, en particulier être pelletable et présenter une siccité > 30%. A défaut, l'activité de transit de ce type de déchets relève de la rubrique ICPE 2716 (régime E).

Le dossier présente dans le document « Description du projet » page 60 les conditions d'acceptation des sédiments sur la plateforme, et indique que les opérateurs des dragages effectueront les analyses nécessaires à la vérification du caractère non dangereux et non inerte des sédiments, et à la vérification du respect de valeurs limites d'acceptation jointes au dossier.

D'autre part, le dossier fait référence dans son document « Lagunes de valorisation de sédiments marins et fluviaux – AVP – Gestion des eaux » (page 7) au respect des seuils de dangerosité des sédiments vis-à-vis des propriétés HP4 à HP8, HP10, HP11 et HP13 sans faire référence à la propriété HP14.

Le dossier devra être complété en précisant les procédures mises en place par l'exploitant pour s'assurer de la non-dangerosité des sédiments au regard de la méthodologie décrite dans le rapport du BRGM référencé BRGM/RP-67318-FR d'août 2017, ainsi que du caractère inerte ou non inerte des sédiments.

La procédure décrite dans le document « Description du projet » (PJ n°46), incluant la vérification de la propriété HP14, est bien la procédure mise en œuvre par STINKAL. Il s'agit d'un oubli dans le document « Lagunes de valorisation de sédiments marins et fluviaux – AVP – Gestion des eaux », qui a donc été corrigé.

La nouvelle version de ce document (Indice F) a été annexée à l'étude d'impact (Annexe 3-3 devenue Annexe 3-4 suite à la présente demande de compléments) et est également disponible en Annexe 3 de la note pour rappel.

2.2.3 Espèces invasives

En application de la réglementation déchets, la gestion des déchets doit être réalisée sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement (alinéa 3° du II de l'article L541-1 du Code de l'Environnement).

Comme rappelé au cours de la phase amont, l'impact des rejets issus de la plateforme de traitement des sédiments doit porter sur le risque de transfert d'espèces invasives dans le milieu naturel.

L'étude d'impact contenue dans le dossier indique (page 89) que le risque de dissémination d'espèces exotiques envahissantes potentiellement présentes dans les sédiments marins ou fluviaux réceptionnés au niveau de la plateforme de valorisation sera fortement limité par des opérations de contrôles visuels tant au niveau des points de dragages qu'à la réception sur la plateforme. Ce risque n'est pas documenté. Les espèces potentiellement concernées et leurs effets ne sont pas décrits. Le simple contrôle visuel proposé n'apparaît pas suffisant pour permettre la détection d'espèces potentiellement envahissantes d'autant plus celles présentant un état de petite taille voire microscopique.

Le dossier devra être complété sur ces points.

L'étude d'impact du dossier de demande d'autorisation environnementale (Etape 6 – PJ n°4) a été complétée :

- **Création d'une sous-partie « Gestion des Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) associée au projet de valorisation des sédiments »** au sein du paragraphe 1.4.2.3 « Effets sur les eaux de surface ». Cette sous-partie s'appuie notamment sur le guide établi par le Conservatoire Botanique National des Hauts-de-France et visant à faciliter la reconnaissance et la mise en œuvre d'actions de gestion des EEE susceptibles de coloniser la région : « *Plantes exotiques envahissantes des Hauts-de-France – 34 fiches de reconnaissance et d'aide à la gestion* », Conservatoire Botanique National de Bailleul, 2020 (156 pages). Elle s'articule ainsi autour des éléments suivants :

- **Identification des EEE susceptibles d'être présentes dans les sédiments réceptionnés ;**
- **Risques associés à la présence d'EEE dans les sédiments réceptionnés ;**
- **Facteurs favorables à l'élimination des EEE dans le cadre du procédé de ressuyage projeté ;**
- **Facteurs favorables à l'élimination des EEE dans le cadre de la valorisation des sédiments ressuyés (gestion post-lagunage) ;**
- Ajustement des mesures complémentaires prévues dans les paragraphes 1.4.3.1 « Protection des sols » et 1.4.3.3 « Protection des eaux de surface ».

2.2.4 Rejets aqueux

Le projet de valorisation des sédiments prévoit deux bassins de lagunage distincts pour recevoir séparément les sédiments marins et les sédiments fluviaux. Les eaux de ressuyage seront dirigées vers un bassin de stockage qui devra être séparé en deux parties bien distinctes pour stoker séparément les eaux d'origines maritimes de celles d'origines fluviales. En sortie de ce bassin, le projet prévoit un dispositif de traitement avant rejet dans le fossé SNCF (ruisseau des Broustats) qui se rejette à quelques centaines de mètres en aval dans le Crembreux, affluent de la Slack.

Le dossier présente une caractérisation des effluents générés par le process de valorisation des sédiments basé sur les résultats des essais réalisés en 2023 et 2024. L'acceptabilité de ces effluents par le milieu récepteur est étudiée par rapport à l'état du Crembreux, et les résultats présentés engendrent un déclassement du cours d'eau pour les paramètres Cadmium, HAP, PCB et TBT.

L'exploitant d'une installation de traitement de déchets doit justifier l'absence d'impact de son activité et doit être en mesure de garantir la compatibilité des déchets admis avec son process de traitement. Il doit en particulier être en mesure de démontrer que le traitement des effluents issus du process de traitement des déchets est en adéquation avec la réglementation applicable aux rejets (doctrine rejet du bassin Artois Picardie et AM du 10/07/1990 notamment).

Les éléments relatifs à l'acceptabilité des rejets par le milieu naturel ne tiennent pas compte du mauvais état du Crembreux pour les paramètres Cu et Zn, et partent de l'hypothèse d'un futur bon état du cours d'eau sur la totalité des paramètres. Dans le cas où le bon état n'est pas atteint pour certains paramètres, aucun nouveau rejet ne peut être accepté sur ces paramètres.

Les conclusions du dossier doivent être revues sur ce point, et le dossier doit être complété par des solutions respectant la doctrine rejet. En particulier l'absence totale de rejets dans le milieu naturel est à envisager.

Pour rappel l'ensemble de ces points avait fait l'objet d'une alerte de la DREAL dans le cadre des échanges de la phase amont sur le dossier.

2.2.4.1 Réponse relative au déclassement du cours d'eau par le rejet pour les paramètres Cd, HAP, PCB et TBT

Comme écrit en page 25 du rapport n° A130980/F (Annexe 3) et rappelé dans l'étude d'impact (partie 1.4.2.3 « Effets sur les eaux de surface » / « Impact qualitatif des rejets des carrières de Stinkal dans les eaux de surface » / « Evolution liée au projet » / « Projet de valorisation de sédiments non inertes non dangereux ») :

- Pour le benzo(a)pyrène, les PCB et le TBT, les concentrations qu'il faudrait atteindre pour maintenir le bon état ne sont pas quantifiables en laboratoire. Ce sont donc les limites de quantification qui ont été proposées en tant que VLE, même si le calcul montre une non-acceptabilité ;
- Pour le cadmium, le dépassement avec la valeur seuil fixée reste mineur (0,26 µg/L dans le Crembreux en prenant en compte le rejet, pour une NQE-MA à 0,25 µg/L). La valeur seuil proposée à 10 µg/L est déjà très restrictive (très proche de la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine définie dans l'arrêté du 11/01/2007 modifié égale à 5 µg/L) et dans les limites de ce qui reste possible sans passer par un traitement disproportionné.

2.2.4.2 Réponse relative au mauvais état actuel du Crembreux pour les paramètres Cu et Zn, interdisant tout nouveau rejet

D'après la doctrine rejet du bassin Artois Picardie, un bon état futur ne peut pas être supposé pour évaluer l'impact.

Il est posé l'hypothèse que l'objectif à atteindre d'après cette doctrine serait l'absence de quantification, soit <0,5 µg/L pour le cuivre et < 5 µg/L pour le zinc, ces valeurs étant par ailleurs inférieures aux NQE-MA de ces deux paramètres. L'atteinte de telles valeurs, qui sont extrêmement faibles, imposerait la mise en place de technologies complexes et coûteuses quel que soit le nouveau rejet envisagé (nanofiltration, électrocoagulation).

Or, les mesures réalisées par Antea Group en 2025 sur les cours d'eau du bassin versant de la Slack montrent que l'ensemble du bassin versant est touché par la présence de zinc et de cuivre dans des concentrations supérieures à celles du bon état écologique (cf. note de caractérisation présentée en annexe III du rapport Antea Group disponible en Annexe 3 de la présente note). Ces deux substances sont ubiquistes et peuvent être liées à de **nombreuses sources**, notamment les **eaux pluviales et urbaines** ainsi que les **épandages agricoles**.

Par ailleurs, l'eau de ville est susceptible de contenir du zinc et du cuivre à des concentrations bien supérieures aux valeurs de bon état (cf. valeurs de l'arrêté du 11/01/2007 modifié dans le tableau ci-après) : **une activité n'ajoutant pas de zinc ou de cuivre à l'eau de ville utilisée serait malgré tout émettrice de zinc et de cuivre dans ses effluents, simplement du fait de leur présence initiale dans l'eau de ville**. De plus, les eaux pluviales sont également communément impactées en zinc et en cuivre.

Ainsi, en pratique, l'application de la doctrine pour ces substances empêcherait tout nouveau rejet voire modification de rejet des ICPE-E ou ICPE-A déjà existantes sur le territoire du bassin versant de la Slack, à moins d'un investissement lourd et potentiellement disproportionné.

Il est rappelé que les valeurs de rejet proposées pour le cuivre et le zinc sont respectivement de 30 µg/L et 200 µg/L. **Ces deux valeurs sont très en-deçà des valeurs de l'arrêté du 02/02/1998, et pour le cuivre de la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine définie dans l'arrêté du 11/01/2007.** Il est également rappelé que l'étude a montré que, dans le cas où l'état du bassin versant s'améliore en situation future et deviendrait bon (médiane du bon état), le rejet de la plateforme de gestion des sédiments ne dégradera pas ce bon état.

Paramètres	Valeurs seuils proposées	Arrêté 02/02/98 modifié ICPE	Arrêté 11/01/2007 modifié Eau potable	Arrêté 25/01/2010 modifié Cours d'eau
Cuivre (µg/L)	30	150	2 000 (limite) 1 000 (référence)	1 (NQE-MA)
Zinc (µg/L)	200	800	/	7,8 (NQE-MA)

Un paragraphe a été ajouté dans l'étude d'impact (partie 1.4.2.3 « Effets sur les eaux de surface » / « Impact qualitatif des rejets des carrières de Stinkal dans les eaux de surface » / « Evolution liée au projet » / « Projet de valorisation de sédiments non inertes non dangereux »).

2.2.4.3 Réponse relative à un projet sans rejet dans le milieu naturel

Le bassin de stockage collecte les eaux de ressuyage liées aux eaux pluviales ruisselant dans les lagunes. Le rapport n° A130980/F (Annexe 3) évoque en page 12 qu'un volume annuel de 15 500 m³ peut être généré, soit 45 m³/j en moyenne. Le principe du « zéro rejet » consiste à réutiliser 100% des eaux générées par un site, généralement sur le site lui-même. L'eau est donc en circuit fermé et doit généralement être traitée de manière à atteindre la qualité suffisante pour être réutilisée dans les process industriels. Les différents usages présents sur les carrières de Stinkal sont rappelés dans le tableau ci-dessous (correspondant au Tableau 13 de l'étude d'impact).

Usage de l'eau	Source d'alimentation	Consommation d'eau en 2024 (m ³ /an)	Temporalité du besoin	Exutoire final
Lavage des roues et bennes (camions) – Grisnet	Plan d'eau Grisnet	70 000	Permanent	Aucun (circuit fermé)
Rinçage/lavage des granulats	Plan d'eau Parisienne (appoint)	60 000	Permanent	Granulats (circuit fermé)
Brumisation des matériaux primaires (sous sauterelles)	Bassin C – Exhaure (et si besoin : plan d'eau Parisienne)	7 700	Permanent	- Matériaux - Eaux de surface (via bassin B – Ruissellement et bassin C – Exhaure)
Arrosage des pistes	Bassins B et C (et si besoin : plan d'eau Parisienne)	5 400	Saisonnier (été)	Eaux de surface (via bassins B et C)
Nettoyage des accès et voiries internes	Bassins B et C (et si besoin : plan d'eau Parisienne)	4 680	Permanent	Eaux de surface (via bassins B et C)

Usage de l'eau	Source d'alimentation	Consommation d'eau en 2024 (m ³ /an)	Temporalité du besoin	Exutoire final
Usages sanitaires du personnel (WC, douches, éviers)	Réseau public AEP	800	Permanent	Assainissement non collectif (fosse périodiquement vidangée par une entreprise spécialisée externe)
Lavage des roues (camions) – Banc Noir	Plan d'eau Parisienne (appoint)	240	Permanent	Aucun (circuit fermé)
Centrale de grave traitée	Plan d'eau Parisienne (appoint)	Négligeable	Permanent	Grave traitée
Nettoyage de la centrale de grave traitée	Bassin B - Tertiaire	Négligeable	Permanent	Eaux de surface (via bassin B - Tertiaire)
Lavage des engins	Bassins B (appoint)	Négligeable	Permanent	Aucun (circuit fermé)

La majorité des usages présentés ci-dessus ont *in fine* pour exutoire le milieu naturel superficiel, supprimant la notion de zéro rejet. Seul le lavage/rinçage des matériaux (et dans une moindre mesure le lavage des engins) fonctionne en circuit fermé et pourrait être un usage permettant le zéro rejet, le volume nécessaire pour ce lavage (60 000 m³/an) étant compatible avec une réutilisation complète des eaux générées (15 500 m³).

Néanmoins, les teneurs en sels dans les eaux générées par la plateforme de valorisation des sédiments nécessiteraient un traitement complémentaire pour assurer la conformité des matériaux. Les seuls traitements envisageables seraient alors les procédés membranaires (osmose inverse pour les sels monovalents tels que les chlorures), l'évapo-concentration ou l'évaporation naturelle.

En première approche, en prenant en compte des paramètres plutôt favorables de plein été (source : planificateur à contre-sens.net – normales saisonnières d'août à Ferques : vitesse du vent de 2,7 m/s, température de l'air de 17,5°C, température de l'eau de 17°C, humidité relative de 78%), une surface de bassin de 10 000 m² permettrait d'évaporer environ 800 L/h, soit 19 m³/j. Sur une surface de bassin de 10 000 m², une pluie de 2 mm (soit une faible pluie), suffirait à générer 20 m³ d'eau et annulerait le phénomène d'évaporation. Le climat de Ferques (humidité et température) ne semble donc pas approprié pour considérer l'évaporation naturelle comme une solution à part entière. Le phénomène pourra en revanche avoir une incidence à la baisse sur les volumes à traiter par temps sec.

Enfin, les solutions de traitement membranaires et d'évapo-concentration apparaissent déraisonnables au regard du coût des traitements (> 700 000 € HT d'investissement et > 400 000 €HT/an d'exploitation) et de leurs impacts environnementaux (consommation énergétique, gestion des concentrats, trafic lié à l'élimination des concentrats).

Ainsi, l'absence totale de rejet n'apparaît pas technico-économiquement envisageable.

Un paragraphe complémentaire a été ajouté dans l'étude d'impact (partie 1.18.2.2 « Variantes au projet de valorisation de sédiments non dangereux non inertes »).

ANNEXES

Annexe 1 : « STINKAL – DDAE 2025 – Demande de renouvellement de l'autorisation d'exploiter et d'approfondissement de la carrière du Banc Noir » – Annexe au courriel DREAL du 20/02/2026 – Demande d'informations complémentaires

STINKAL

DDAE 2025 – Demande de renouvellement de l'autorisation d'exploiter et de l'approfondissement de la carrière du Banc Noir

Annexe au courriel DREAL du 20/02/2026

Demandes d'informations complémentaires

Concernant l'autorisation d'approfondissement de la carrière

Stabilité des sols – dimensionnement des fronts de taille

Le projet comporte un approfondissement de l'extraction de 35 mètres supplémentaires par rapport à la situation actuelle. Cet approfondissement nécessitera une reprise des fronts Sud de la carrière du Banc Noir avec la création d'étages et de banquettes supplémentaires.

Le dossier comporte une étude réalisée en 2016 par le bureau d'études géotechniques TERRASOL dans le cadre du développement Sud du gisement ; cette étude propose des prescriptions géotechniques applicables à l'extension, notamment en terme de pentes d'exploitation.

A l'appui de cette étude, les pentes retenues dans le dossier sont de 1H/3V dans les fronts calcaires de Blacourt (l'étude TERRASOL de 2016 indique par retour d'expérience un comportement satisfaisant des fronts de tailles de 15 m de haut avec des banquettes de 5 m de large) et de 1H/1V dans les fronts schisteux présents en surface du front Sud.

Le dossier n'évoque à aucun moment le glissement de terrain survenu sur un front exploité le 30/10/2017, et ne met pas en comparaison les conclusions de l'étude TERRASOL de 2016 avec celles des études et rapports réalisés suite au glissement de terrain.

Il est demandé à l'exploitant une mise à jour de l'étude géotechnique réalisée dans le cadre du développement de l'exploitation au Sud du gisement en prenant en compte les conclusions des études réalisées suite au glissement de terrain. Cette étude devra se prononcer sur la stabilité des sols et fronts de tailles et préciser les dispositions retenues pour le suivi de cette stabilité

Hydrogéologie

Le dossier, qui comporte une étude de modélisation hydrogéologique réalisée en 2025 par la société ANTEA, présente le contexte hydrogéologique du site constitué par une formation aquifère correspondante aux calcaires de Blacourt.

Le dossier indique que cette nappe souterraine n'est pas exploitée, et seuls les puits de forage privés à proximité du site ont fait l'objet d'un recensement, sans reprendre les forages exploités aux alentours, notamment captages d'eau potable, et sans dimensionner le cône de rabattement lié à l'approfondissement de la carrière.

Concernant les effets de l'abaissement du niveau de la nappe liée à l'approfondissement de la carrière sur le bâti existant, le dossier indique un impact potentiel sur le ferme de Blacourt sans évaluer l'impact potentiel et son acceptabilité et sans envisager les moyens de suivi de ces impacts.

L'étude de modélisation hydrogéologique présente les incidences de l'approfondissement de la carrière sur le ruisseau de Blacourt en situation hydraulique moyenne mais ne tient pas compte des périodes les plus défavorables (étiage).

Le dossier devra être complété par les éléments suivants :

- délimitation du cône de rabattement de la nappe lié à l'approfondissement de la carrière ;
- recensement des forages et captages d'eau potable dans le périmètre défini par le cône de rabattement ; évaluation de l'impact sur ces ouvrages.
- évaluer l'impact potentiel et son acceptabilité sur le bâti de la ferme du Blacourt / décrire les moyens prévus pour le suivi de l'état du bâti de la ferme de Blacourt ;
- impacts de l'approfondissement de la carrière sur le ruisseau de Blacourt en période d'étiage.

Concernant le Projet de valorisation de sédiments marins et fluviaux

- Justification du projet :

Le dossier présente dans son document « AVP -Gestion des eaux » une comparaison entre six scénarios qui prévoient tous la localisation de la plateforme de valorisation des sédiments sur le site de la carrière STINKAL, avec pour le scénario retenu un égouttage des sédiments en bord de quai du lieu de prélèvement des sédiments.

Comme évoqué lors de la phase amont, le dossier doit comporter une description des solutions de substitutions raisonnables qui ont été examinées, et une indication des principales raisons du choix effectué, notamment en comparaison des incidences sur l'environnement et la santé humaine. Dans ce cadre, les solutions de ressuyage et préparation des sédiments à proximité de leurs lieux de dragage doivent être privilégiées. Or de tels scénarios n'ont pas été présentés.

Le dossier devra être complété en conséquence.

- Acceptabilité des sédiments sur site :

Comme vu lors de la phase amont, les sédiments gérés à terre ont le statut de déchet en vertu de l'article L541-4-1 du code de l'environnement issu de la transposition de l'article 2 de la directive cadre sur les déchets 2008/98/CE modifiée.

La réglementation déchets impose une caractérisation de la dangerosité des déchets qui incombe au producteur, et à défaut au détenteur (L541-7-1 du CE). Cette étape constitue un préalable fondamental afin d'identifier la filière de traitement adaptée.

Pour les sédiments, la caractérisation de la dangerosité nécessite une évaluation au regard des 15 propriétés de danger HP1 à HP15 en application des articles R541-7 et R541-8 du CE. En effet les sédiments de dragage relèvent des codes déchets suivants : 17 05 05* ou 17 05 06. Il s'agit de codes dits "miroirs". Dans ce cas, pour déterminer si ce type de déchet est dangereux, il convient de passer en revue l'ensemble des 15 propriétés de danger numérotées HP1 à HP15. Ces propriétés de danger sont fixées par la directive cadre déchets (2008/98/CE), révisée par le règlement 1357/2014/UE et la décision 2014/955/UE.

Si le déchet possède au moins une propriété de danger, il est classé comme dangereux. La méthodologie à employer pour l'évaluation de la dangerosité des déchets relevant notamment de ce type de code "miroir" est décrite dans le guide de l'INERIS référencé « guide d'application pour un classement en dangerosité des déchets », dont une mise à jour a été publiée en novembre 2024 : https://www.ineris.fr/sites/default/files/contribution/Documents/Guide_minist%C3%A8re_classification_r%C3%A9glementaire_d%C3%A9chets_novembre_2024.pdf

Dans le cas des sédiments, cette méthodologie a été déclinée spécifiquement dans le rapport du BRGM référencé BRGM/RP-67318-FR d'août 2017, qui précise notamment les propriétés qui n'ont pas à faire l'objet d'une évaluation (HP1, HP2 et HP3 et HP15), propose des valeurs seuils en dessous desquelles les sédiments sont réputés non dangereux au titre des propriétés de danger HP4, HP5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11 et HP 13, et propose un protocole d'évaluation de la dangerosité au titre de la propriété écotoxique HP14 (tests à réaliser au dessus de valeurs seuils issues de la réglementation IOTA : seuils S1 de l'AM du 09/08/2006).

Si la non dangerosité est démontrée, alors le caractère inerte peut être évalué.

Faute de référentiel dédié, la démonstration du caractère inerte des déchets non dangereux peut s'appuyer sur les valeurs limites de l'annexe II de l'arrêté ministériel du 12/12/2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.

Le caractère intrinsèque non dangereux inertes des sédiments ne suffisent pas justifier la régularité d'une filière de traitement de déchets non dangereux inertes. Les conditions d'admission doivent également être vérifiées au regard de l'usage final et également pour garantir la compatibilité des déchets admis avec le process de traitement. En l'occurrence pour être admissible en installation de transit de déchets non dangereux inertes (rubrique ICPE 2517) les sédiments doivent, entre autres, respecter les conditions de l'article 2 de l'arrêté ministériel du 12/12/2014, en particulier être pelletable et présenter une siccité > 30%. A défaut, l'activité de transit de ce type de déchets relève de la rubrique ICPE 2716 (régime E).

Le dossier présente dans le document « Description du projet » page 60 les conditions d'acceptation des sédiments sur la plateforme, et indique que les opérateurs des dragages effectueront les analyses nécessaires à la vérification du caractère non dangereux et non inerte des sédiments, et à la vérification du respect de valeurs limites d'acceptation jointes au dossier.

D'autre part, le dossier fait référence dans son document « Lagunes de valorisation de sédiments marins et fluviaux – AVP – Gestion des eaux » (page 7) au respect des seuils de dangerosité des sédiments vis-à-vis des propriétés HP4 à HP8, HP10, HP11 et HP13 sans faire référence à la propriété HP14.

Le dossier devra être complété en précisant les procédures mises en place par l'exploitant pour s'assurer de la non dangerosité des sédiments au regard de la méthodologie déclinée dans le rapport du BRGM référencé BRGM/RP-67318-FR d'août 2017, ainsi que du caractère inerte ou non inerte des sédiments.

- Espèces invasives

En application de la réglementation déchets, la gestion des déchets doit être réalisée sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement (alinéa 3° du II de l'article L541-1 du Code de l'Environnement).

Comme rappelé au cours de la phase amont, l'impact des rejets issus de la plateforme de traitement des sédiments doit porter sur le risque de transfert d'espèces invasives dans le milieu naturel.

L'étude d'impact contenue dans le dossier indique (page 89) que le risque de dissémination d'espèces exotiques envahissantes potentiellement présentes dans les sédiments marins ou fluviaux réceptionnés au niveau de la plateforme de valorisation sera fortement limité par des opérations de contrôles visuels tant au niveau des points de dragages qu'à la réception sur la plateforme. Ce risque n'est pas documenté. Les espèces potentiellement concernées et leurs effets ne sont pas décrits. Le simple contrôle visuel proposé n'apparaît pas suffisant pour permettre la détection d'espèces potentiellement envahissantes d'autant plus celles présentant un état de petite taille voire microscopique.

Le dossier devra être complété sur ces points.

- Rejets aqueux

Le projet de valorisation des sédiments prévoit deux bassins de lagunage distincts pour recevoir séparément les sédiments marins et les sédiments fluviaux. Les eaux de ressuyage seront dirigées vers un bassin de stockage qui devra être séparé en deux parties bien distinctes pour stoker séparément les eaux d'origines maritimes de celles d'origines fluviales. En sortie de ce bassin, le projet prévoit un dispositif de traitement avant rejet dans le fossé SNCF (ruisseau des Broustats) qui se rejette à quelques centaines de mètres en aval dans le Crembreux, affluent de la Slack.

Le dossier présente une caractérisation des effluents générés par le process de valorisation des sédiments basé sur les résultats des essais réalisés en 2023 et 2024. L'acceptabilité de ces effluents par le milieu récepteur est étudiée par rapport à l'état du Crembreux, et les résultats présentés engendrent un déclassement du cours d'eau pour les paramètres Cadmium, HAP, PCB et TBT.

L'exploitant d'une installation de traitement de déchets doit justifier l'absence d'impact de son activité et doit être en mesure de garantir la compatibilité des déchets admis avec son process de traitement. Il doit en particulier être en mesure de démontrer que le traitement des effluents issus du process de traitement des déchets est en adéquation avec la réglementation applicable aux rejets (doctrine rejet du bassin Artois Picardie et AM du 10/07/1990 notamment).

Les éléments relatifs à l'acceptabilité des rejets par le milieu naturel ne tiennent pas compte du mauvais état du Crembreux pour les paramètres Cu et Zn, et partent de l'hypothèse d'un futur bon état du cours d'eau sur la totalité des paramètres. Dans le cas où le bon état n'est pas atteint pour certains paramètres, aucun nouveau rejet ne peut être accepté sur ces paramètres.

Les conclusions du dossier doivent être revues sur ce point, et le dossier doit être complété par des solutions respectant la doctrine rejet. En particulier l'absence totale de rejets dans le milieu naturel est à envisager.

Pour rappel l'ensemble de ces points avait fait l'objet d'une alerte de la DREAL dans le cadre des échanges de la phase amont sur le dossier

Annexe 2 : Mémo technique « Stabilité des fronts Sud – Carrière du Stinkal » (TRACTEBEL – Rév. 00 – 18/03/2026)

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.

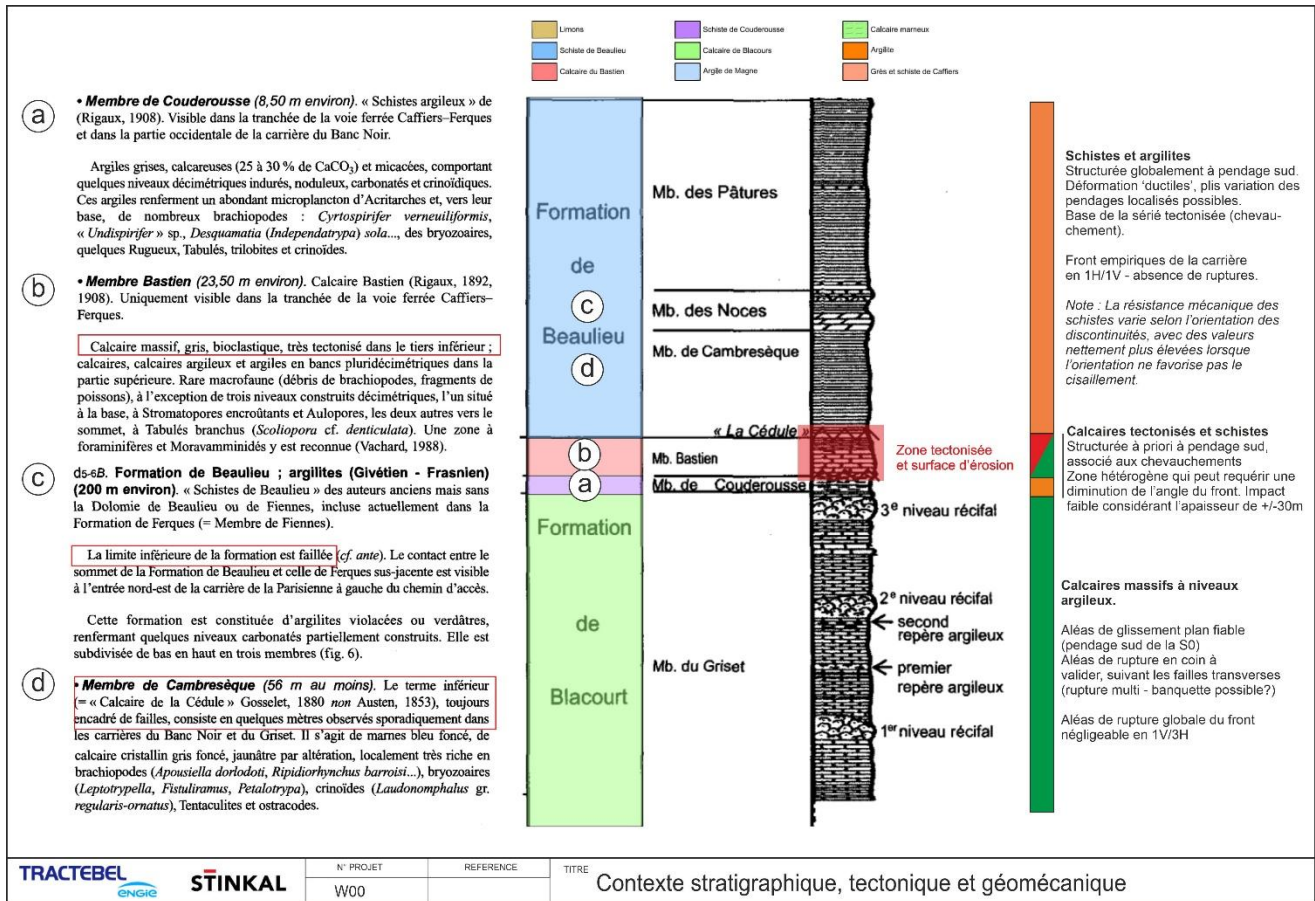


Figure 1 : Litho-stratigraphie (BRGM), tectonique et stabilité des faciès du front sud

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.

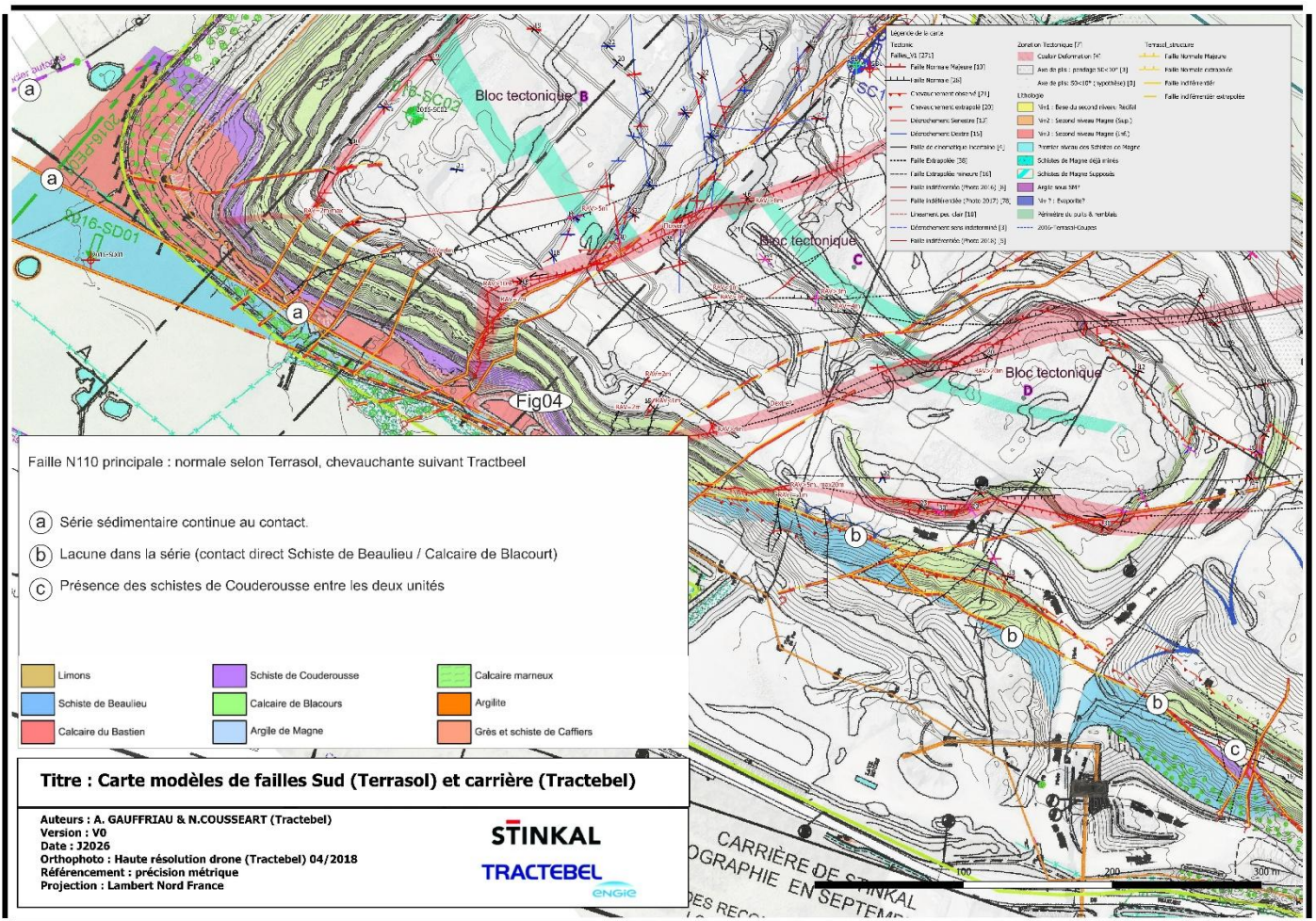


Figure 2 : Carte géologique Observations stratigraphique du front Sud selon Terrasol. Position de la photo de la Figure 4

Nos données et analyses de l'histoire tectonique du massif [2] suggèrent qu'il existe vraisemblablement un chevauchement à travers tout le front sud : il est identifié sur le terrain à l'Est (dans le bloc D) et affecte probablement vers l'ouest les formations de Couderousse et du Bastien qui sont tectonisées sur leur 30m d'épaisseur. En l'absence de possibilité d'accès physique sur les contacts géologiques, cette hypothèse s'appuie sur les informations de la notice de la carte géologique du BRGM (Figure 2) [5].

L'hypothèse de Terrasol de failles normales subverticales, ayant des rejets (décalages stratigraphiques) de plus de 50m, fondée sur i) un forage destructif (sans cuttings ni vidéo de parois) et ii) sur un panneau électrique (aux gradients électrique équivoques par nature), est selon les auteurs du rapport peu contrainte [3]. Selon nos observations de terrain, d'autres modèles de failles sont probables. A ce stade, ces incertitudes demeurent.

Cependant, quel que soit le modèle de faille, il est confirmé que la ressource de calcaires de Blacourt existe dans la zone sud.

Le modèle de Terrasol est simplement plus pessimiste du point de vue du ratio de volume de schistes (découverte) vs le volume de calcaire (gisement). Comme l'illustre la Figure 3 : pour la coupe AA, l'impact est faible. Pour les coupes CC' et DD', si le modèle de chevauchement (hypothèse de Tractebel) est validé, l'impact sur l'épaisseur de schistes au droit du front sera minimisé. Le front calcaire plus raide permettra un accès à la ressource optimisé.

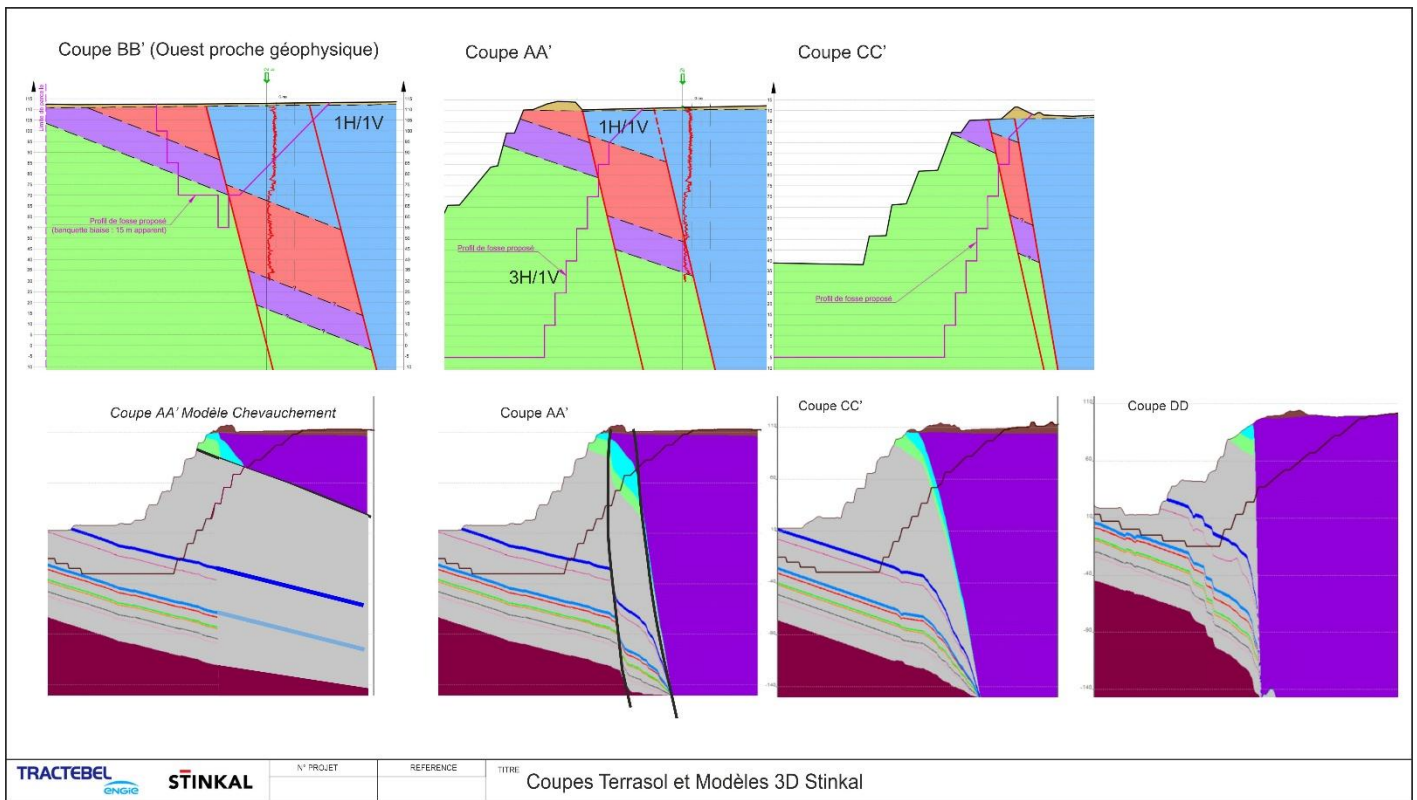


Figure 3 : Coupes interprétatives – Voir carte pour la localisation.



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).**

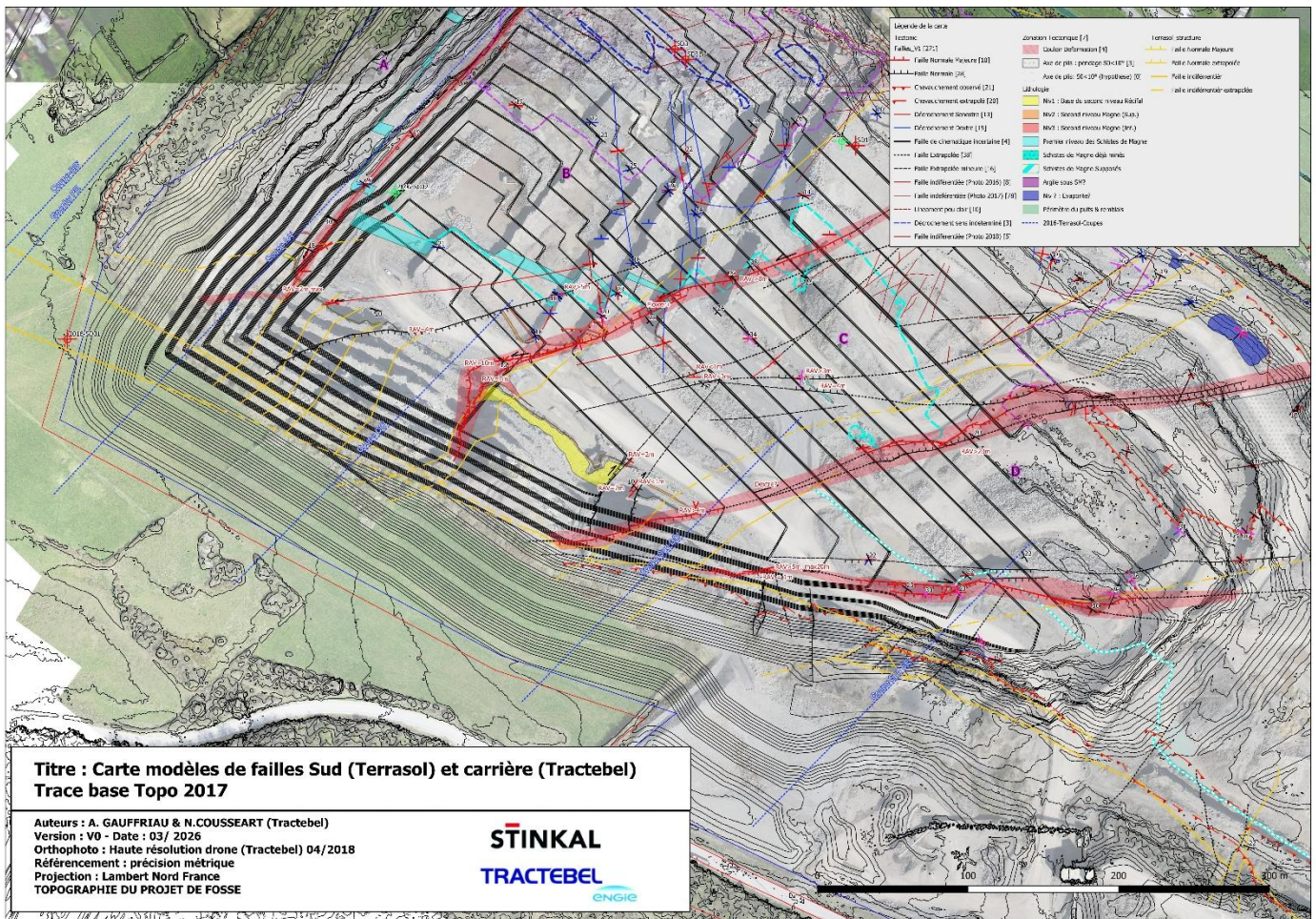


Figure 5 : Carte géologique de 2017 et emprise de la fosse finale.

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.

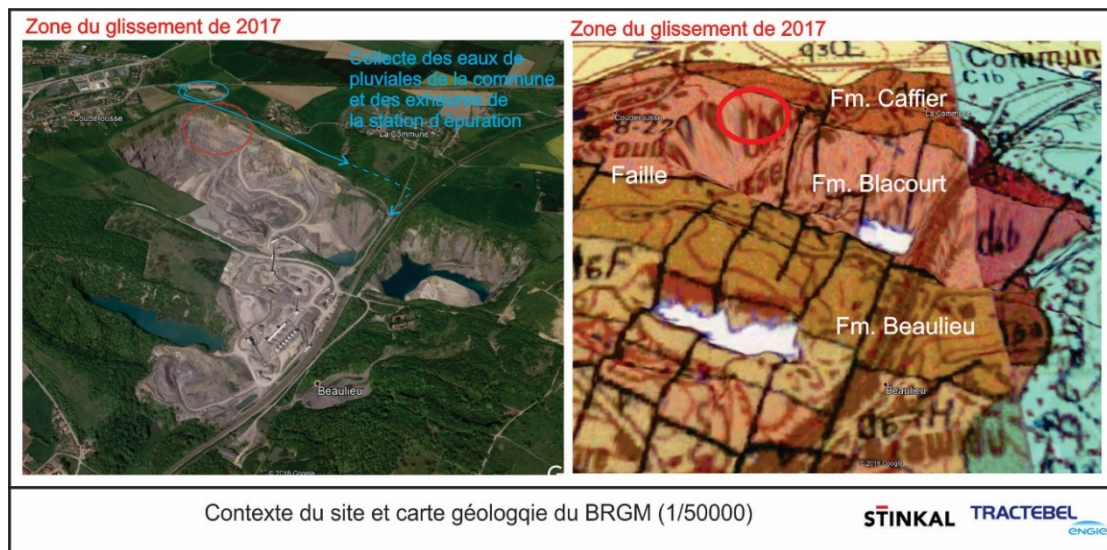


Figure 1 : Contexte du site d'étude et extrait de la carte 1/50000 du BRGM [9]. Limite stratigraphique normale entre les unités de Blacourt et de Caffier. Absence de faille au contact délimitant le front nord.

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.

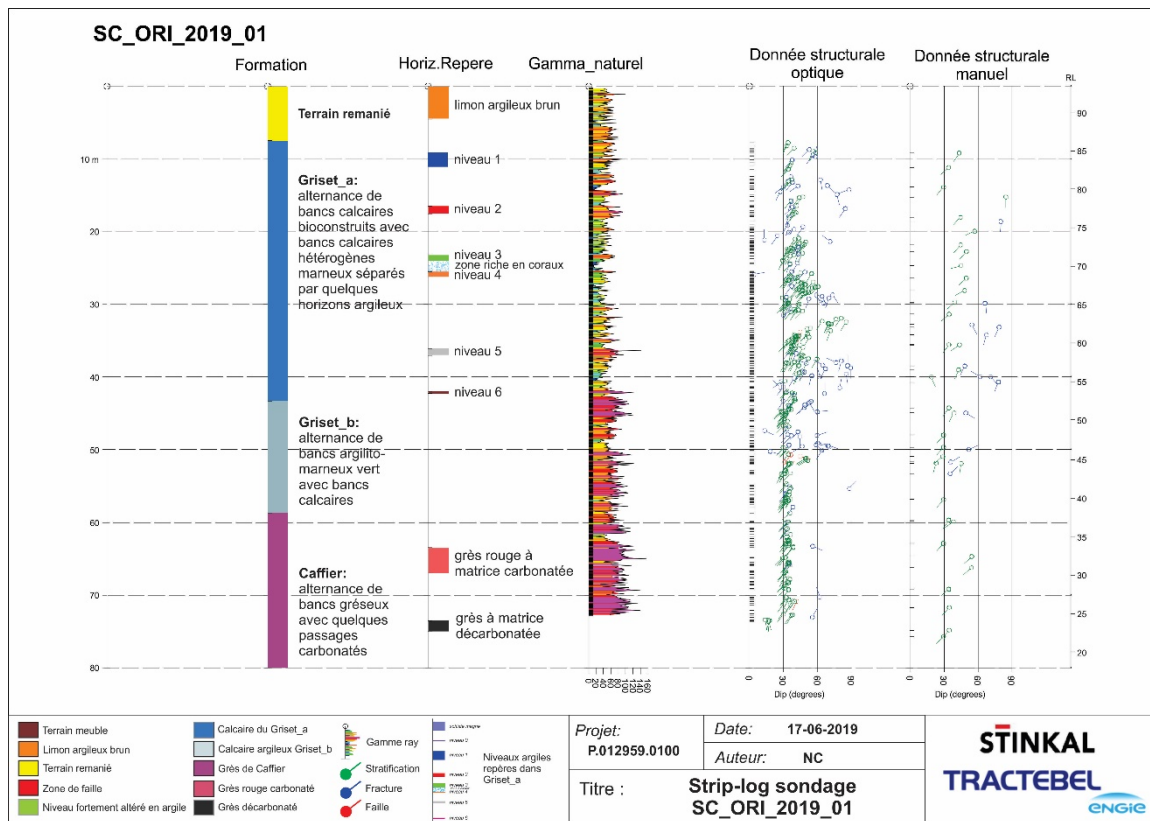


Figure 2 : Exemple de log de forage intégré b(SC_ORI_2019_01). Forage incliné, carotté avec carottes orientées. Les mesures manuelles viennent compléter les données.

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.

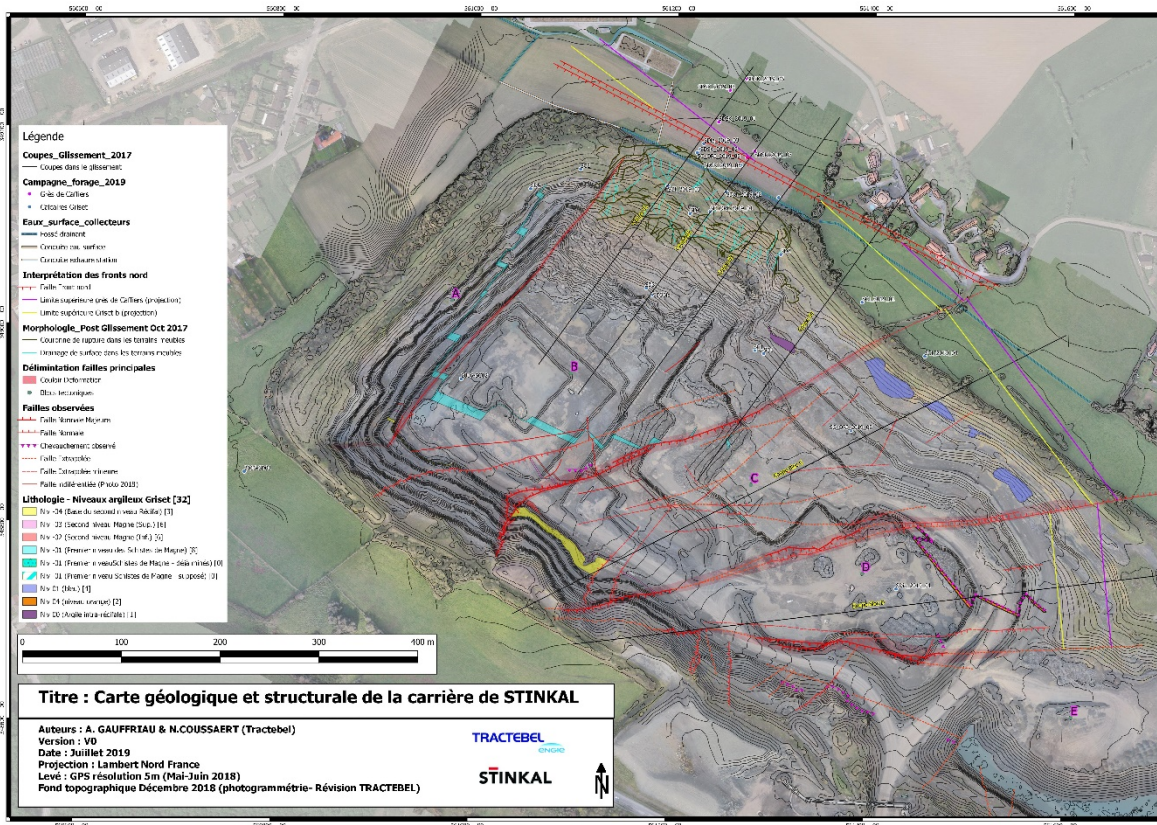


Figure 3 : Carte géologique intégrée de la carrière (Edition Juin 2019) montrant notamment les différents blocs tectoniques (A-E, d'ouest en est).

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).

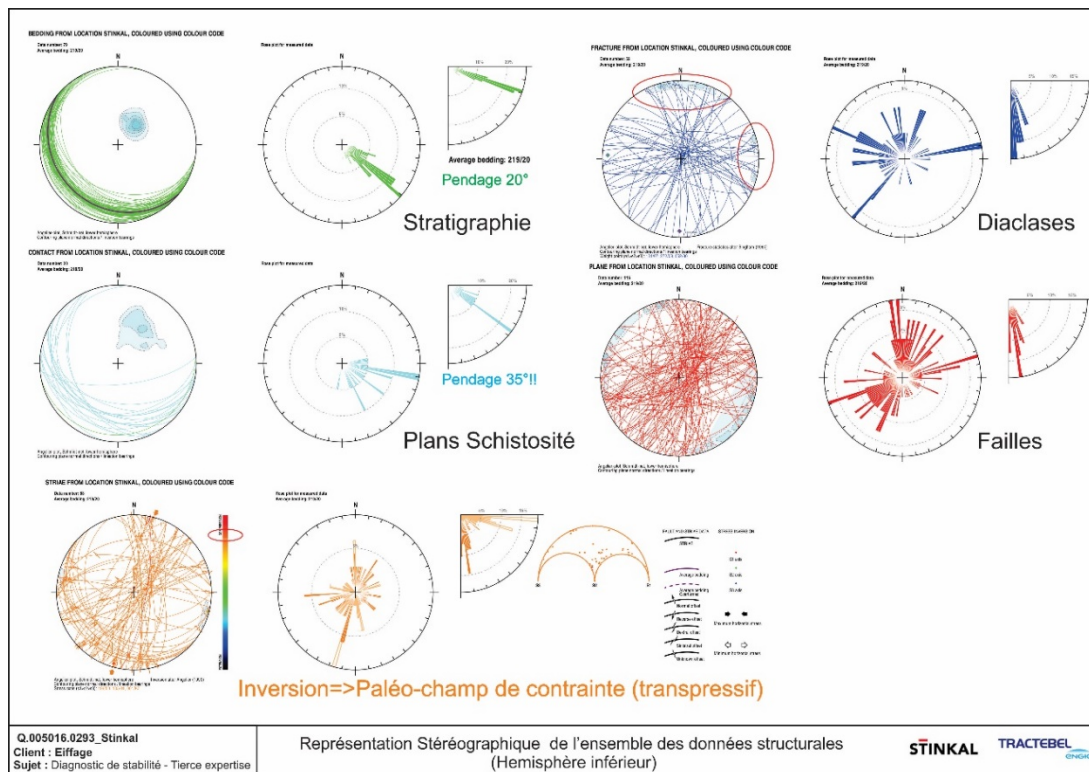


Figure 4 : Mesures structurales « directes » dans la carrière.

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 :

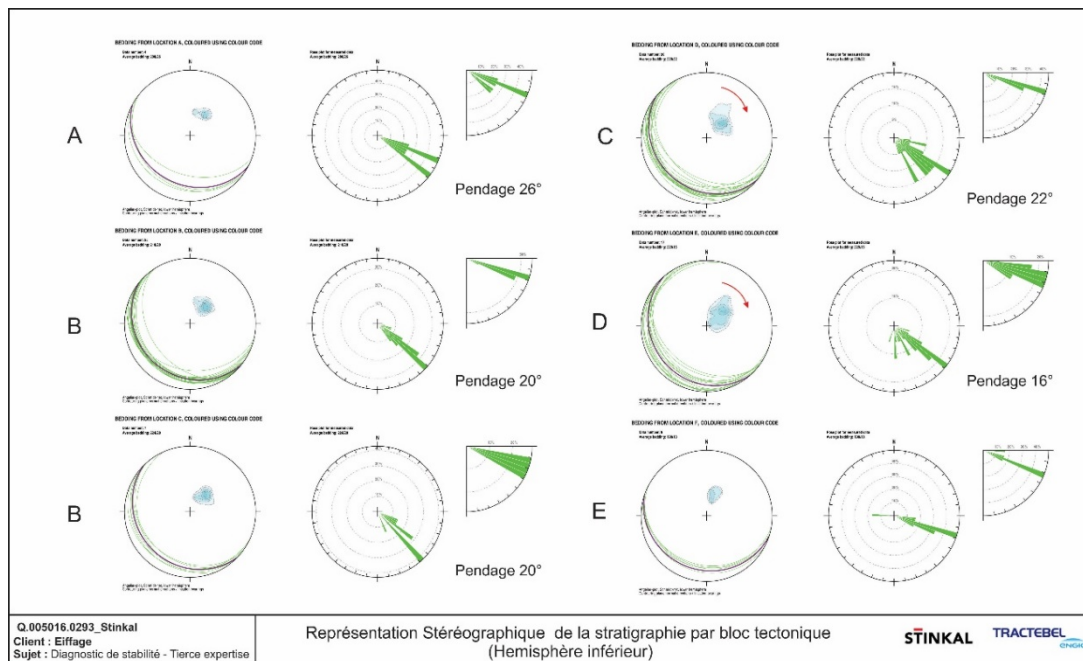


Figure 5 : Mesures structurales directes dans la carrière – données complètes Terrain

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.

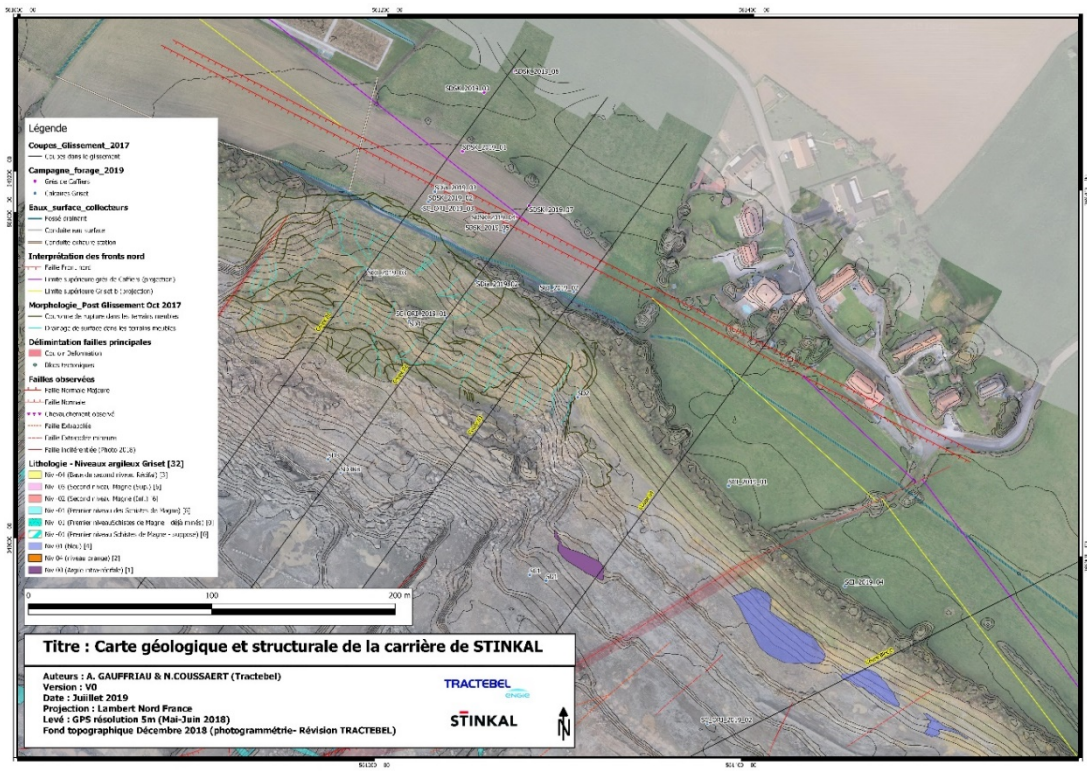


Figure 6 : Extrait de la Cartographie géologique finale de la carrière. (Ed. 2019). On note la découverte de la zone de faille délimitant le front Nord.

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.

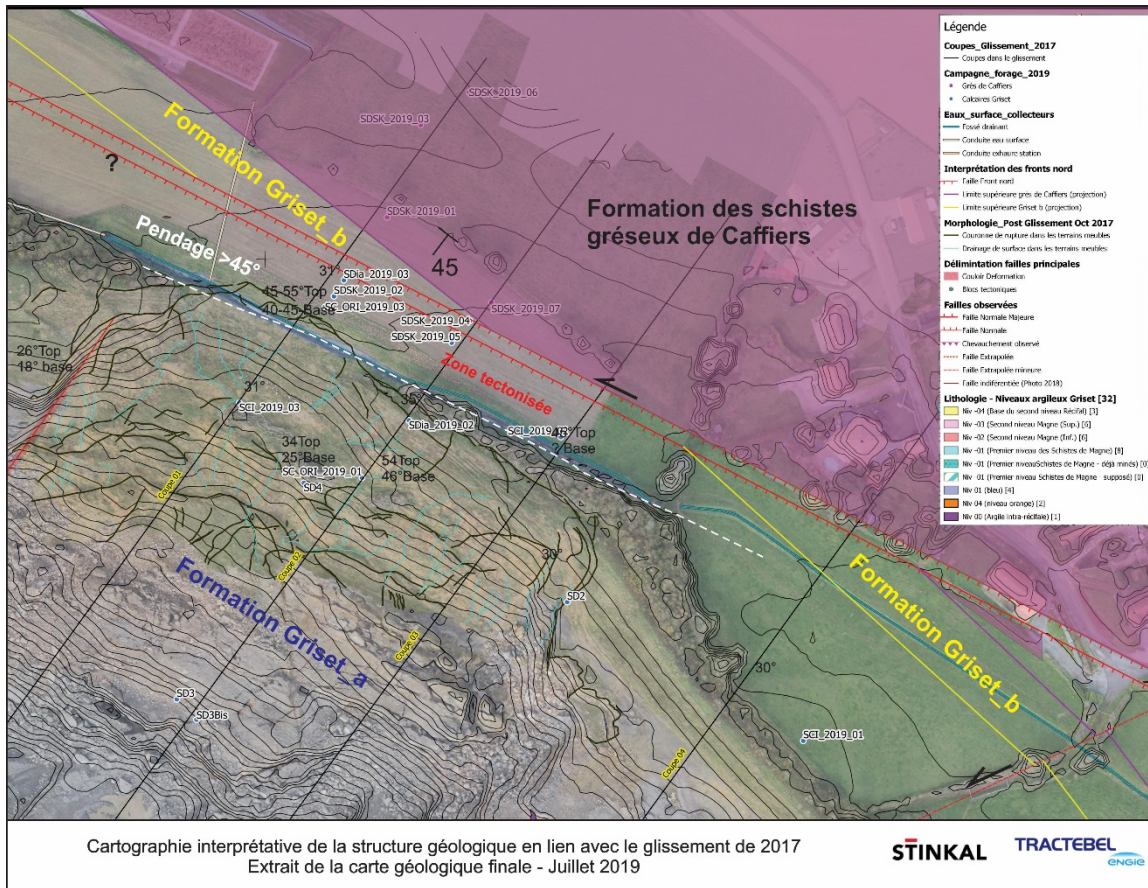


Figure 7 : Cartographie géologique finale de la zone du glissement de 2017 (Ed. 2019). Mise en évidence des zones affectées par la faille (pendages >45°) et illustration des unités lithologiques

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.

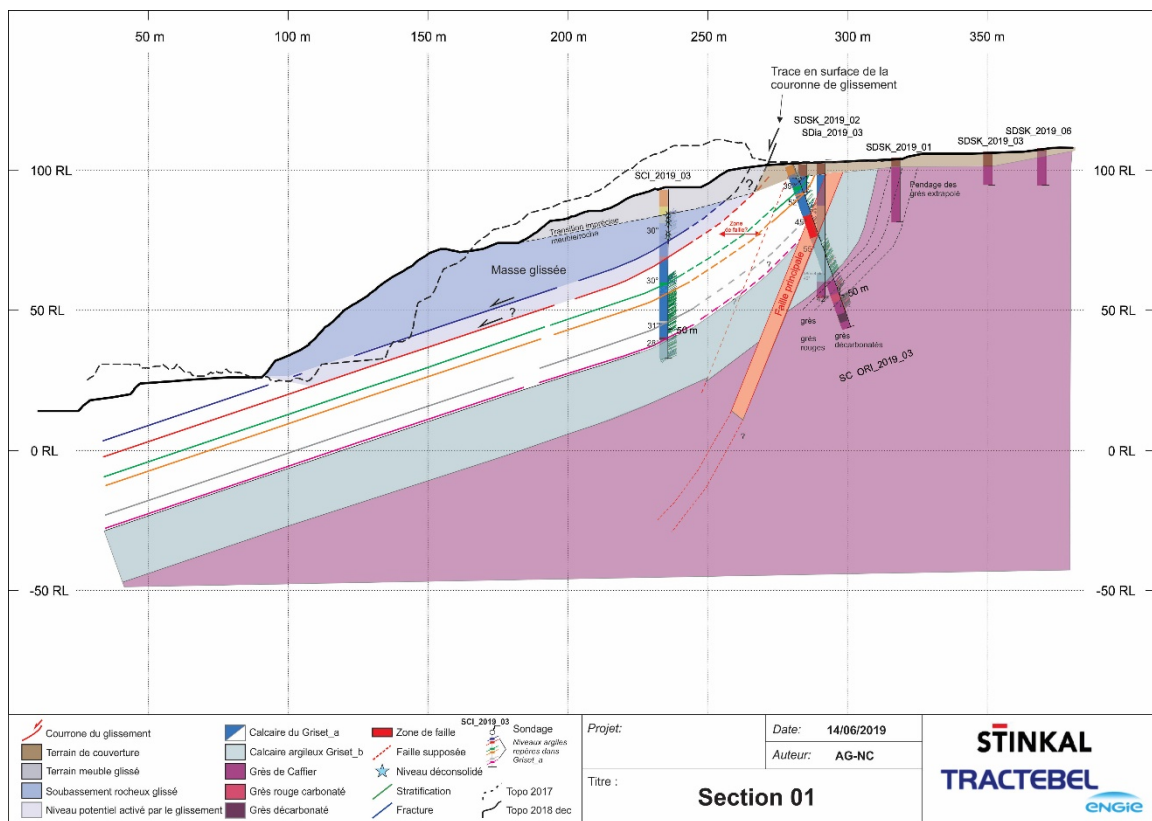
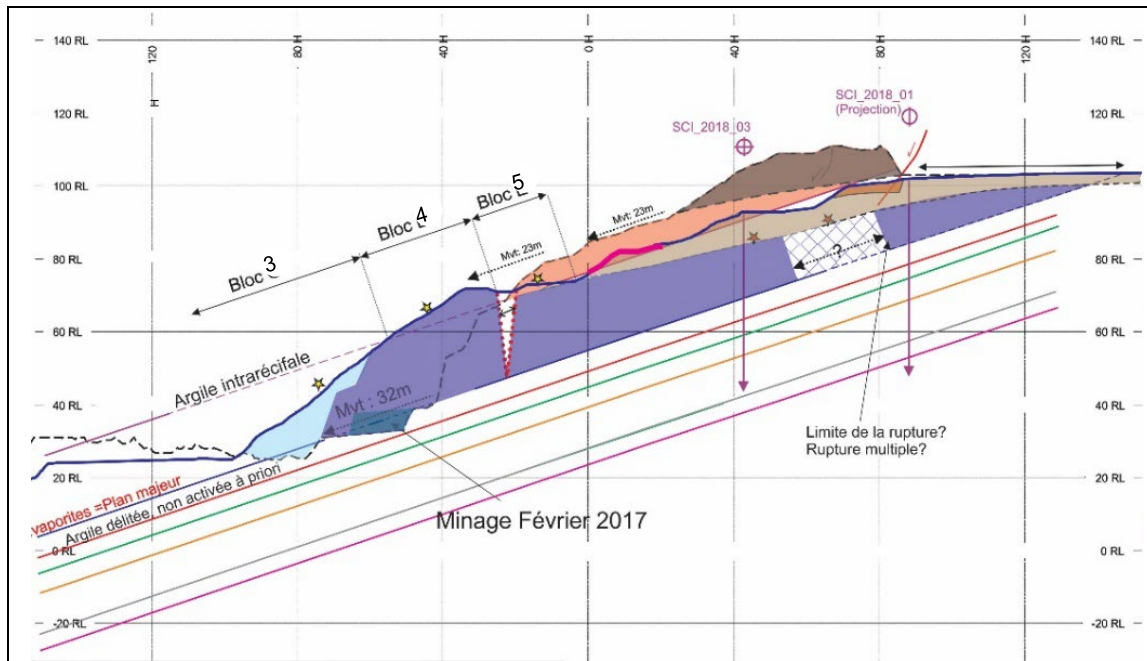


Figure 8 : Coupes (section) 1 dans le glissement – Dessus : coupe interprétative initiale de la masse glissée (Juin 2018, [7]) modèle préliminaire de 2018 avant la campagne - Dessous : modèle final après la campagne

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.

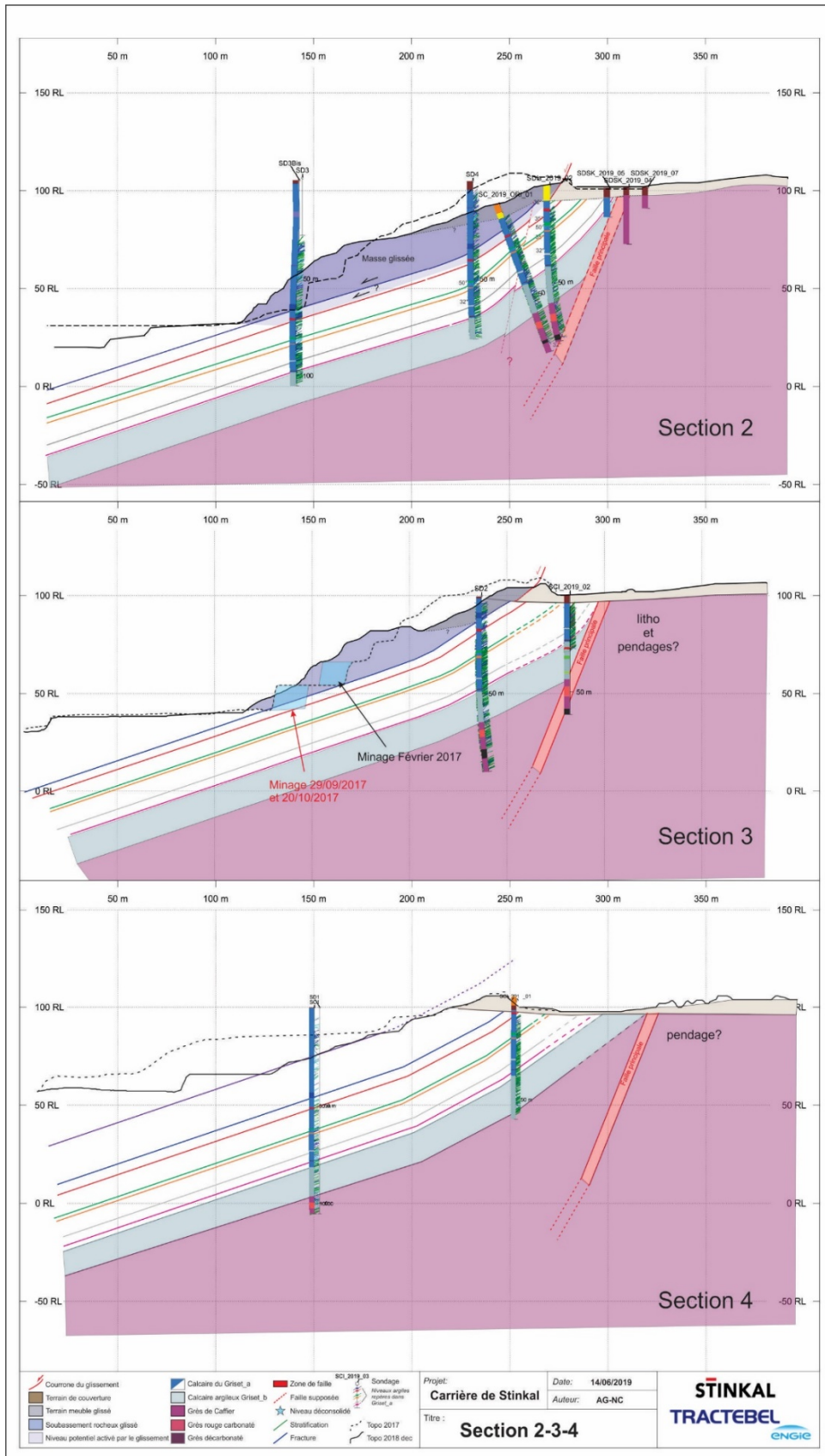


Figure 9 : Coupe 2 & coupe 3 dans la masse glissée ; Coupe 4 en dehors

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 :

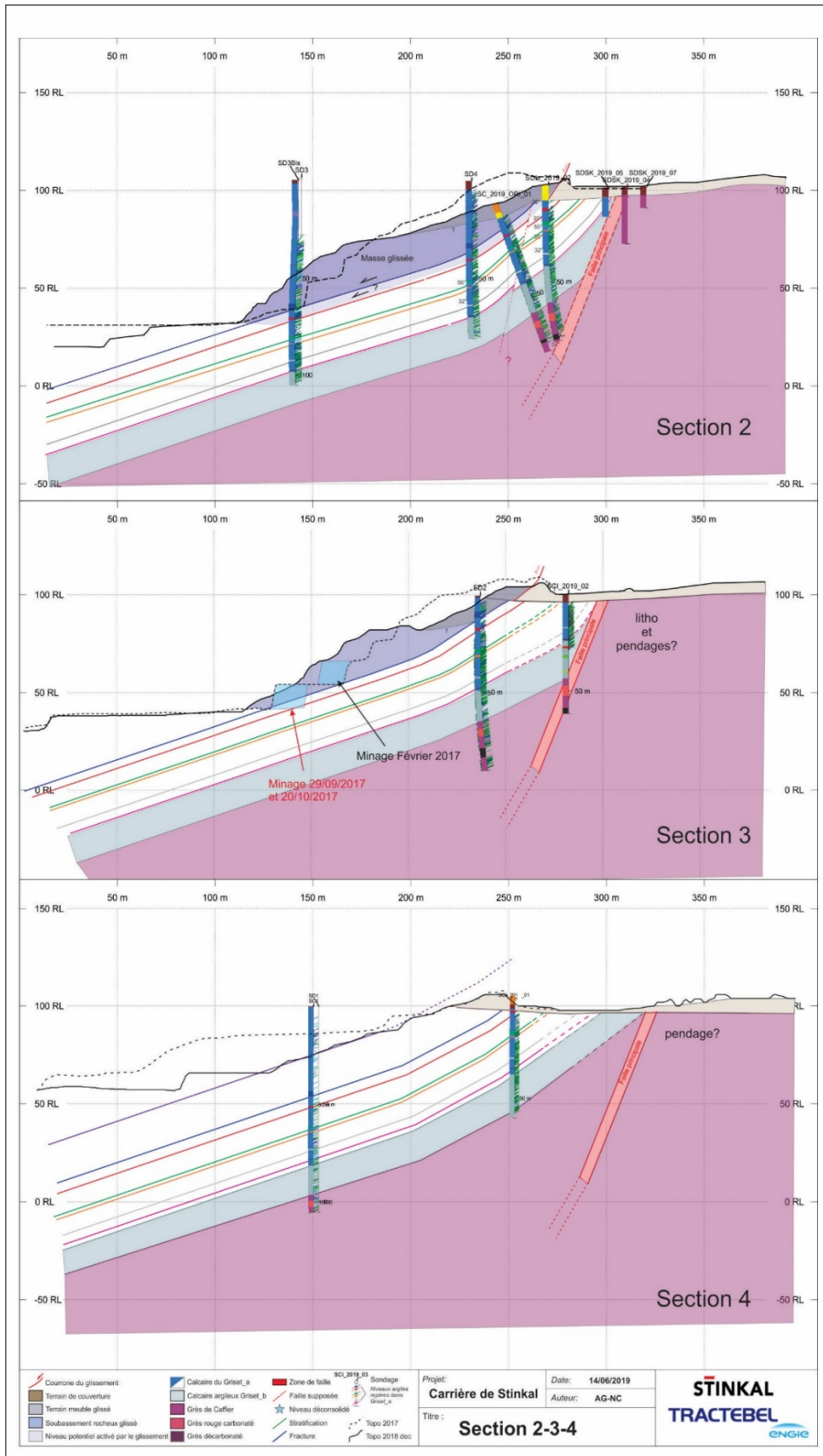
- La corrélation entre la trace morphologique du glissement (ruptures de surface) et les niveaux argileux 1 ou 2 n'est pas si claire. On constate aussi que le volume de masse glissée est plus faible que plus à l'ouest.
- Son empiètement est aussi plus haut (banquette rocheuse 15 m plus haute) ;
- Les 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.



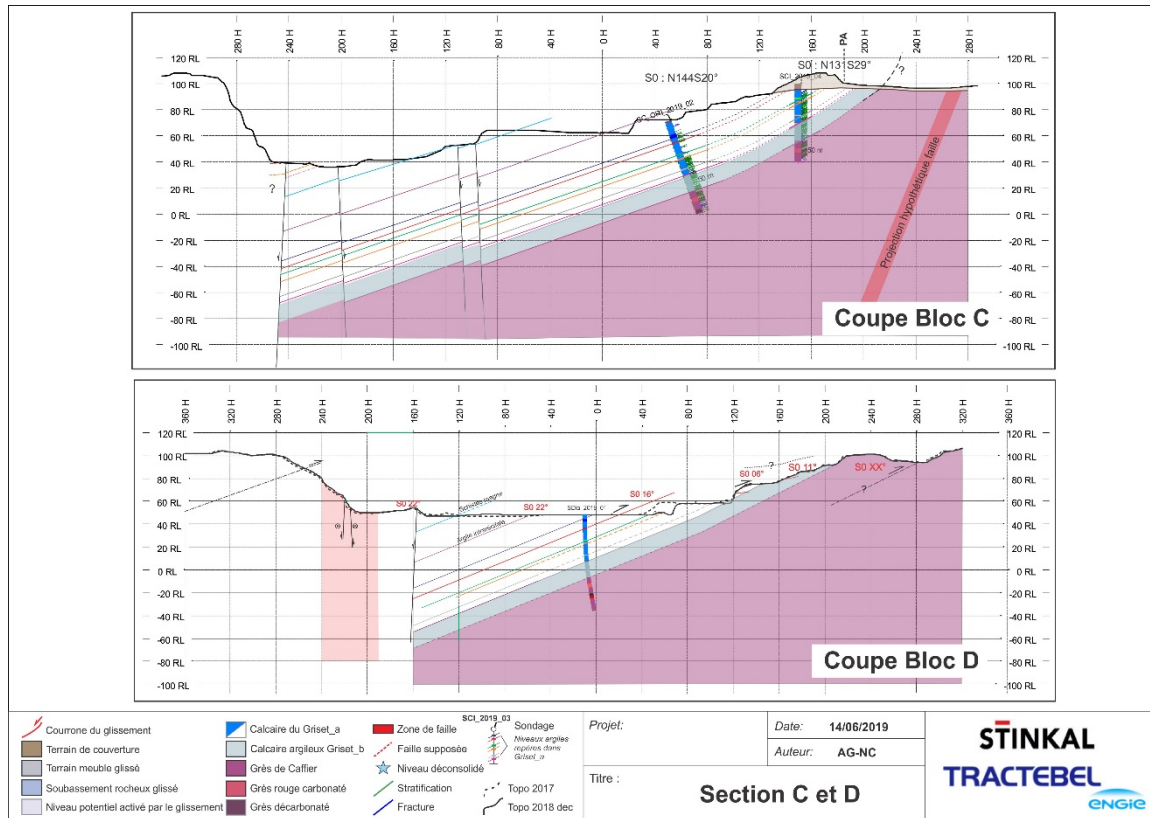


Figure 10 : Coupes des blocs C et D

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**).

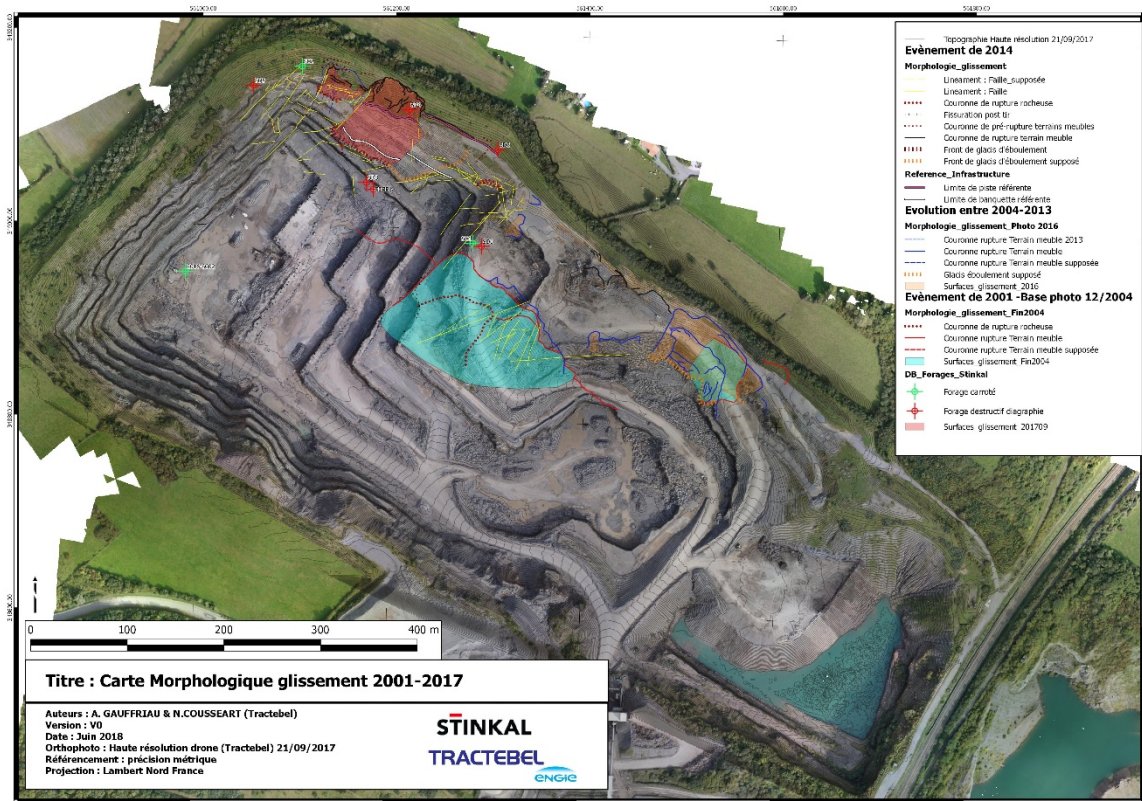


Figure 11 : Glissement de synthèse 2001-2017 avant le glissement d'octobre 2017. Dernier glissement significatif en 2014 dans le bloc B sur le front nord (rouge)

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 monoclin 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.

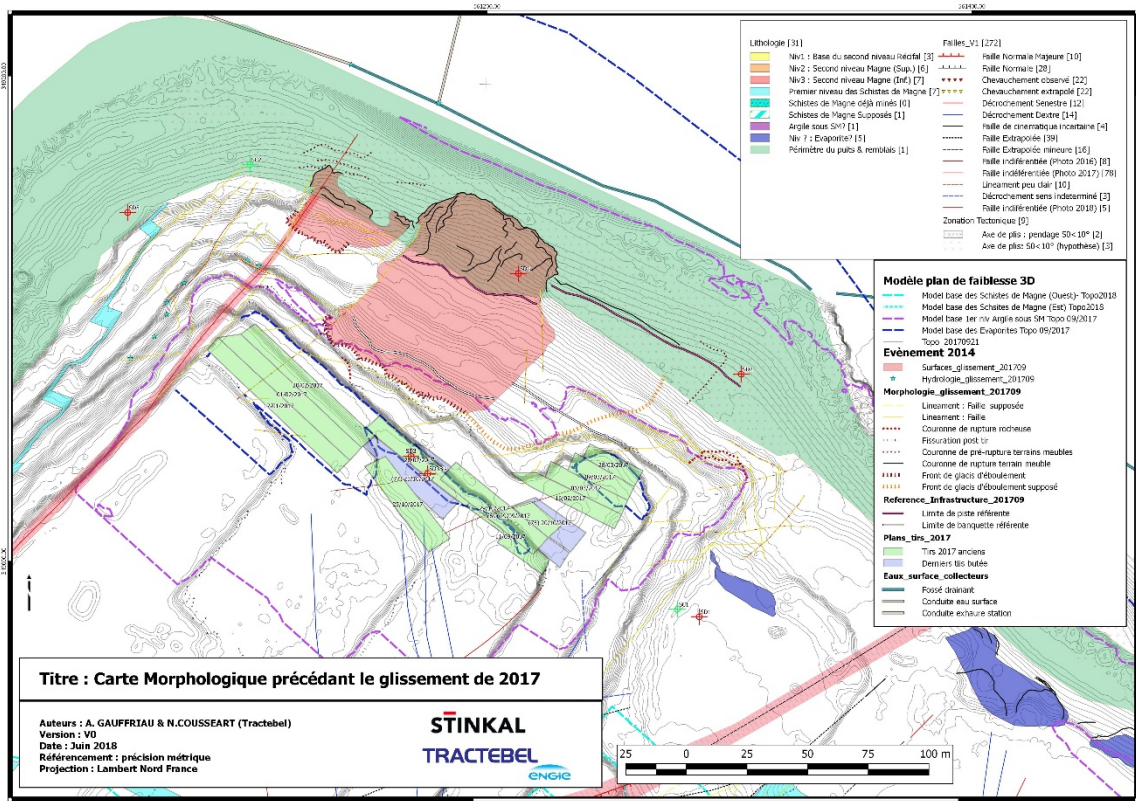


Figure 12 : Cartographie morphologique **avant** glissement d'octobre 2017. Glissement de 2014 sur le front nord. On note la présence du collecteur d'eau de pluie situé derrière le merlon tel que présenté sur la **Figure 2**.

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 ;

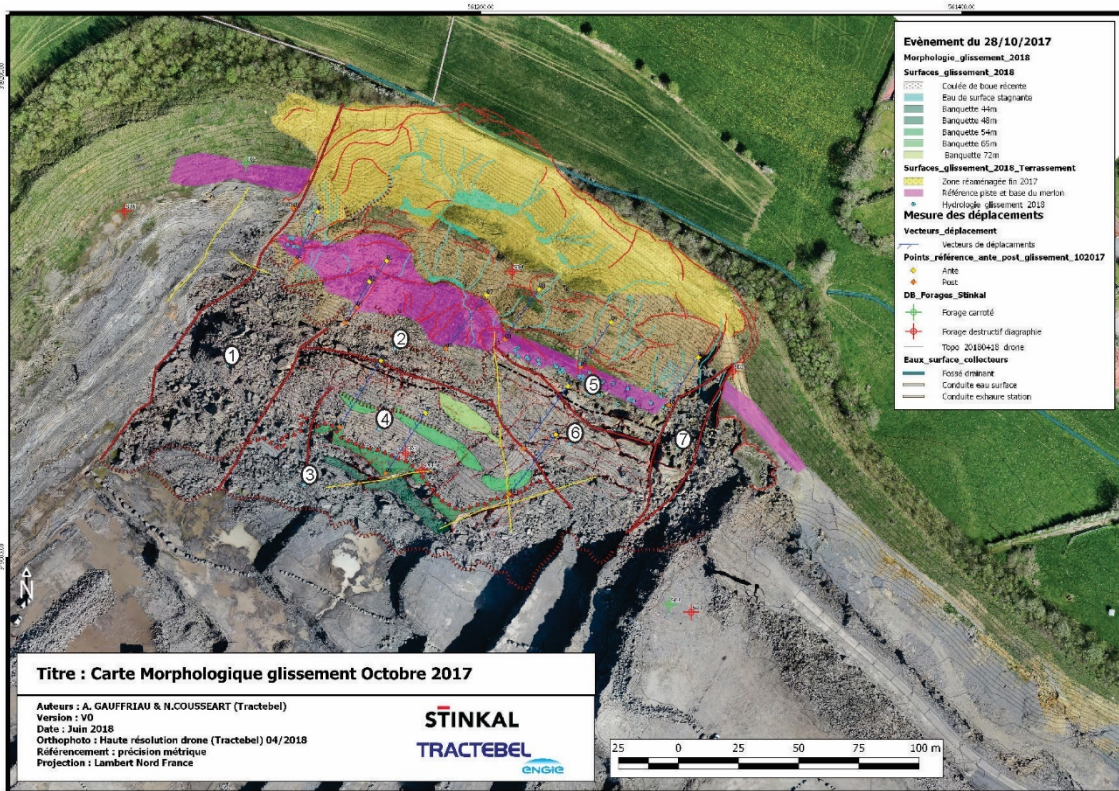
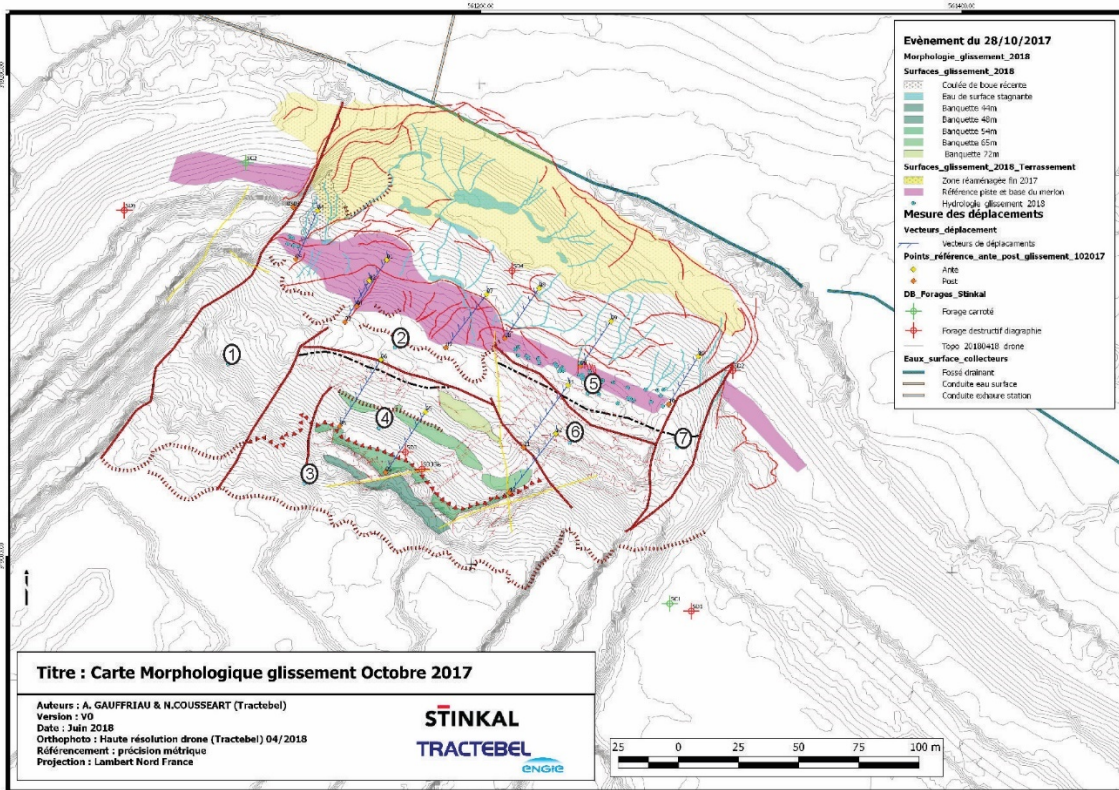


Figure 13 : Cartographie morphologique après glissement. On constate que la rupture a affectée l'ancien fossé de drainage situé derrière l'ancien merlon.

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.

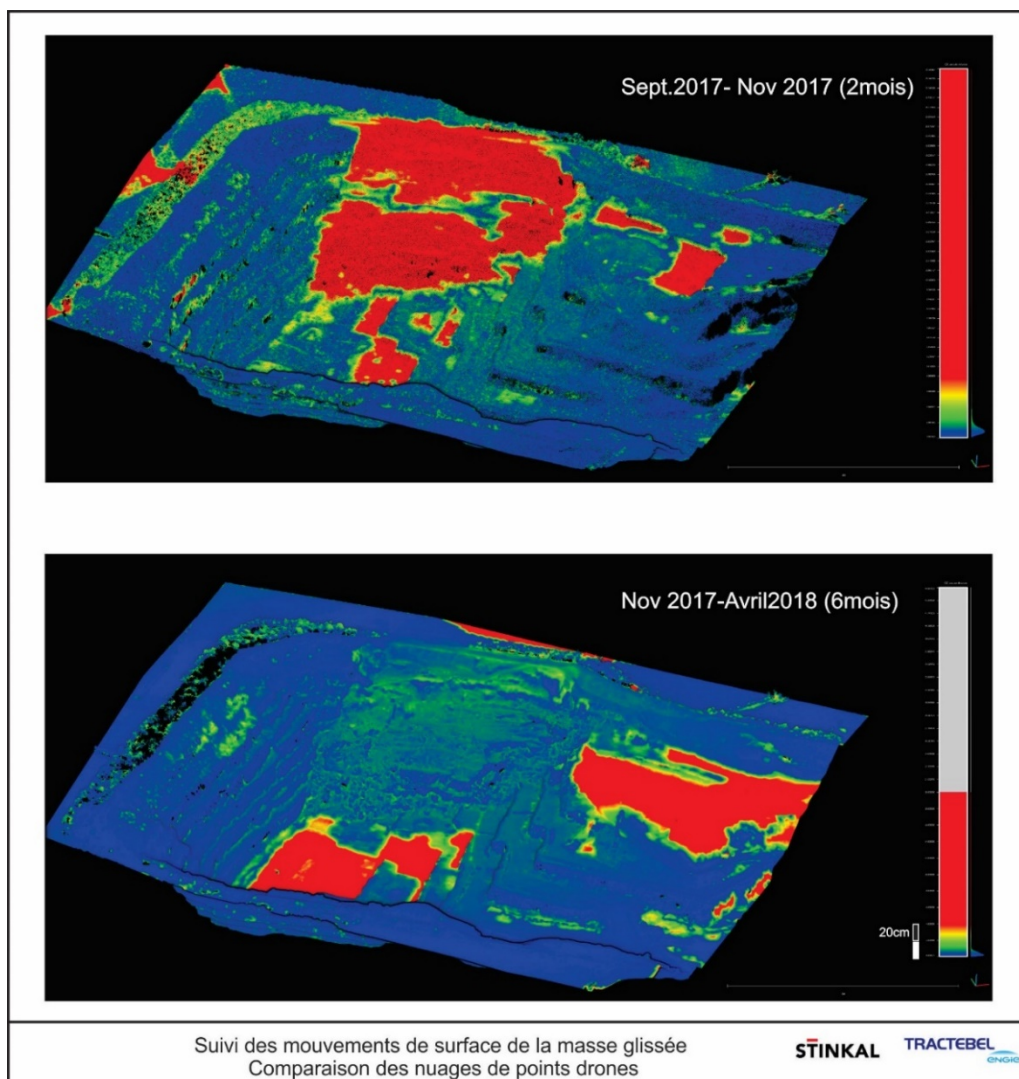


Figure 14 : Contrôle passif des mouvements de la masse glissée. Absence de déformation et de mouvement après l'évènement

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.

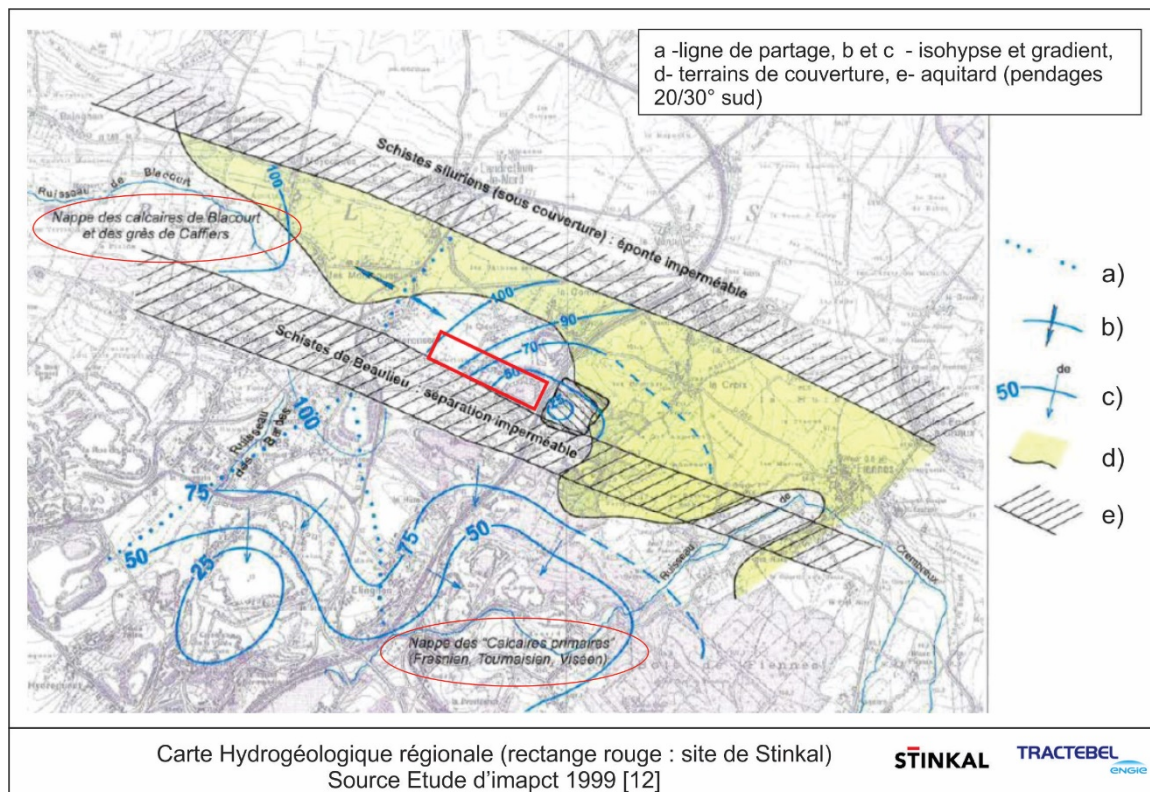


Figure 15 : Carte hydrogéologique régionale

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.

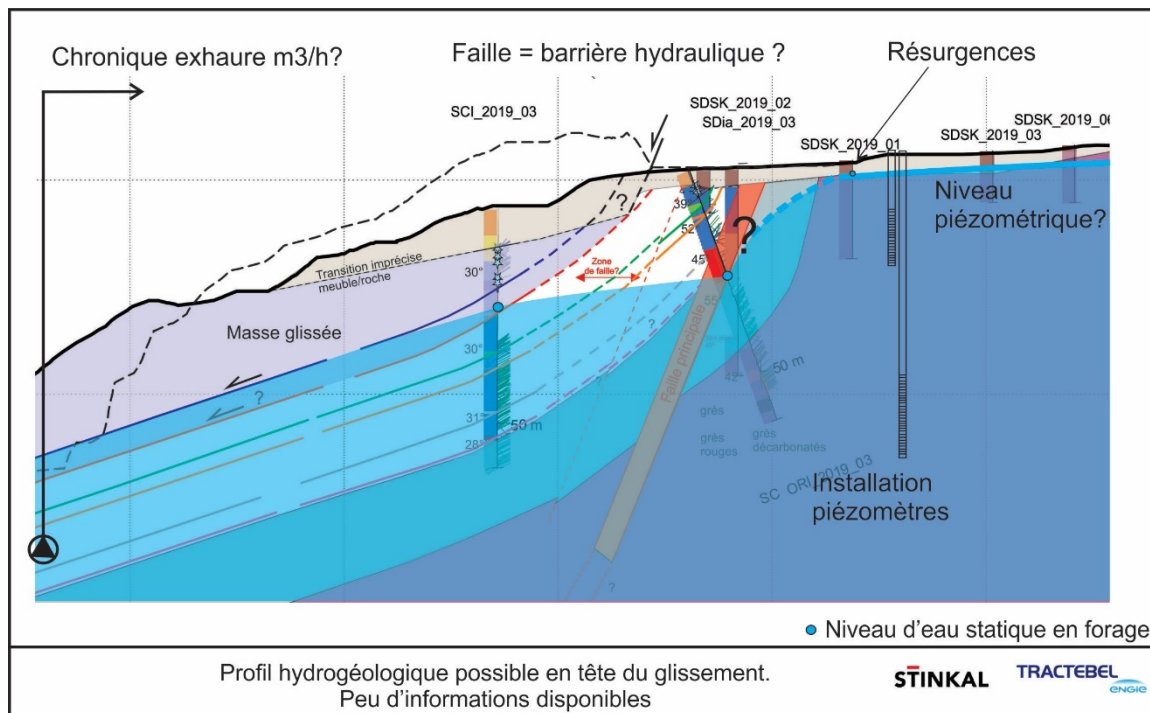


Figure 16 : Contexte hydrogéologique local possible en tête de glissement

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).

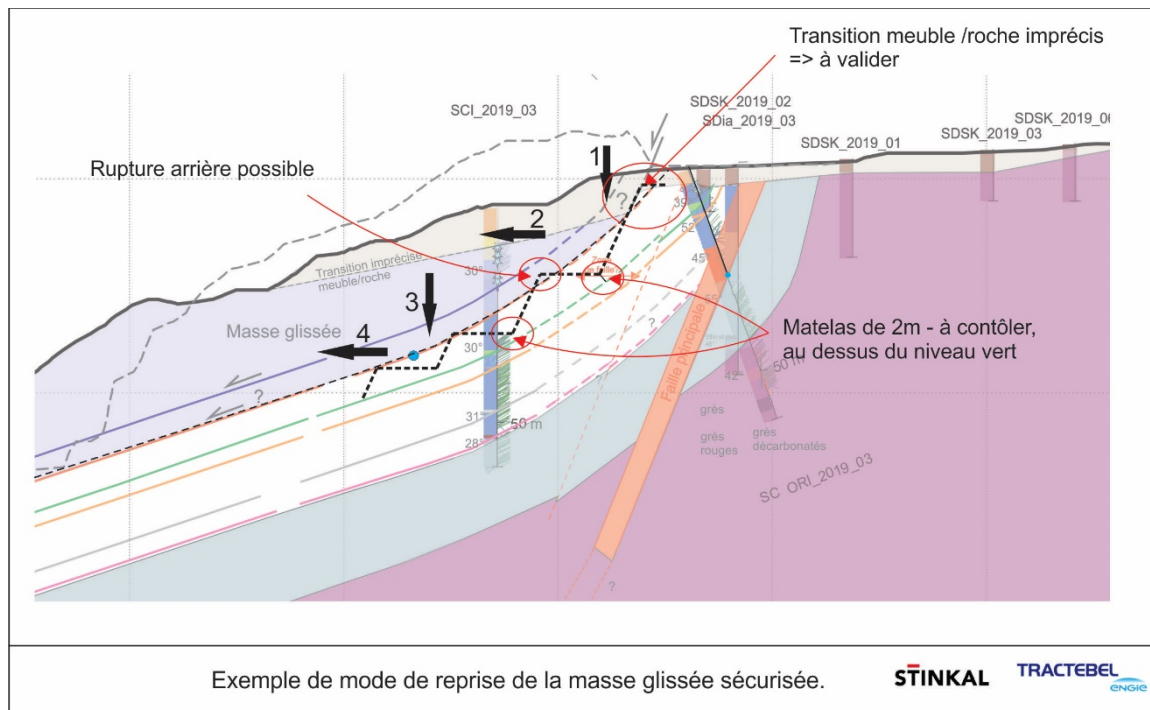


Figure 17 : Exemple d'excavation sécurisée de la masse glissée respectant la condition principale, et points d'incertitudes à lever lors des contrôles de terrain durant l'excavation.

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 recoupent 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.

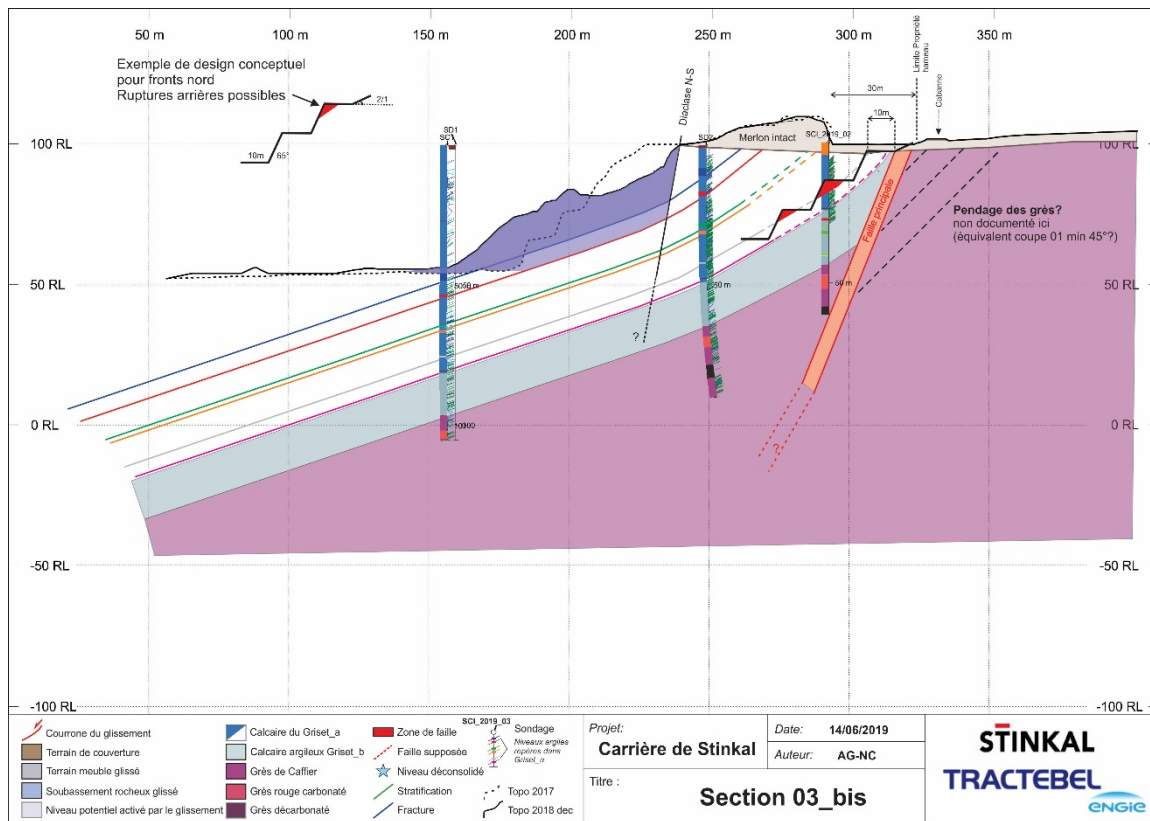


Figure 18 : Exemple d'excavation conceptuelle. Coupe 3bis où le hameau est le plus proche du gisement. La faible distance entre les niveaux gris et rose induite des ruptures arrières possibles.

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.

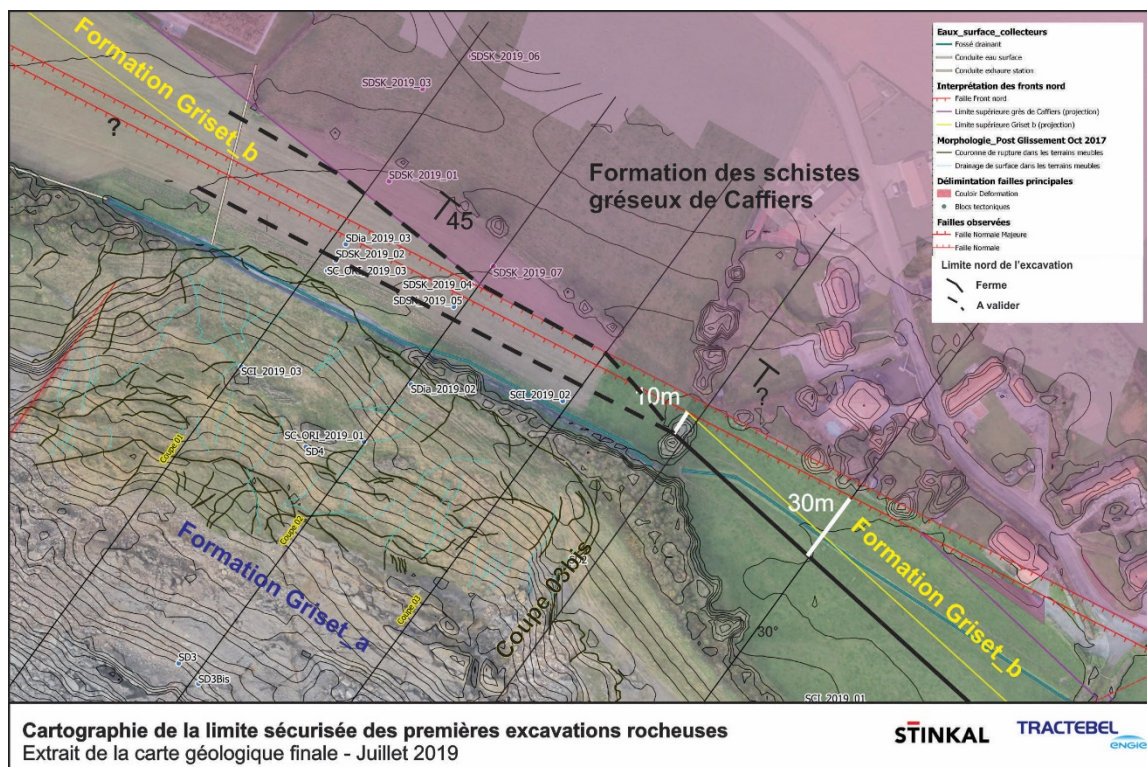


Figure 19 : Cartographie de la limite sécurisée de la position des premières excavations rocheuses. Sécurisation du hameau de la Cédule. Tracé des fronts nord à valider pour la partie nord-ouest

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 bis et vers le nord-ouest.

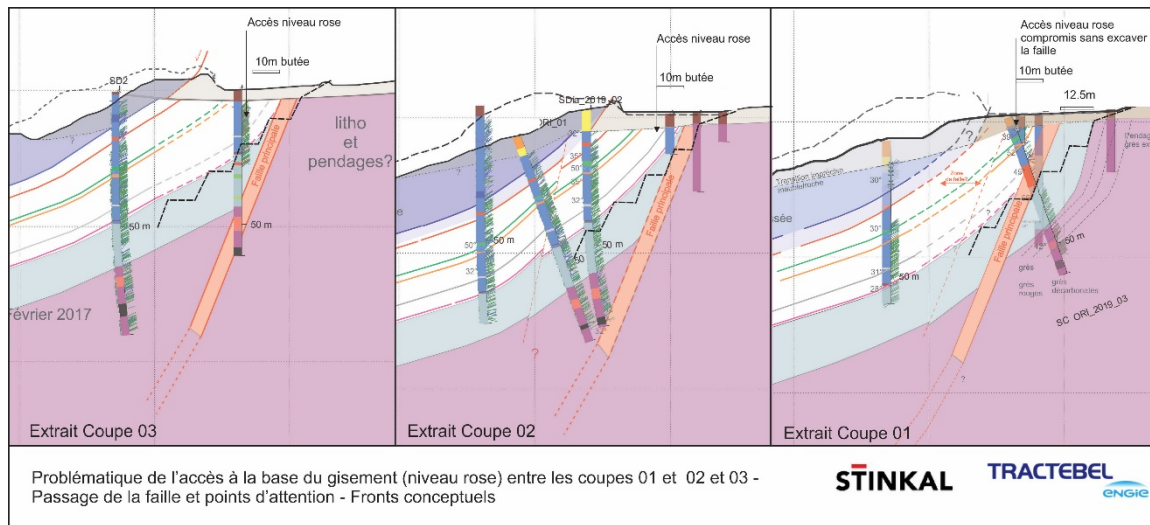


Figure 20 : Analyse comparée des coupes 01 à 03 et géométrie conceptuelle des fronts à étudier.

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.

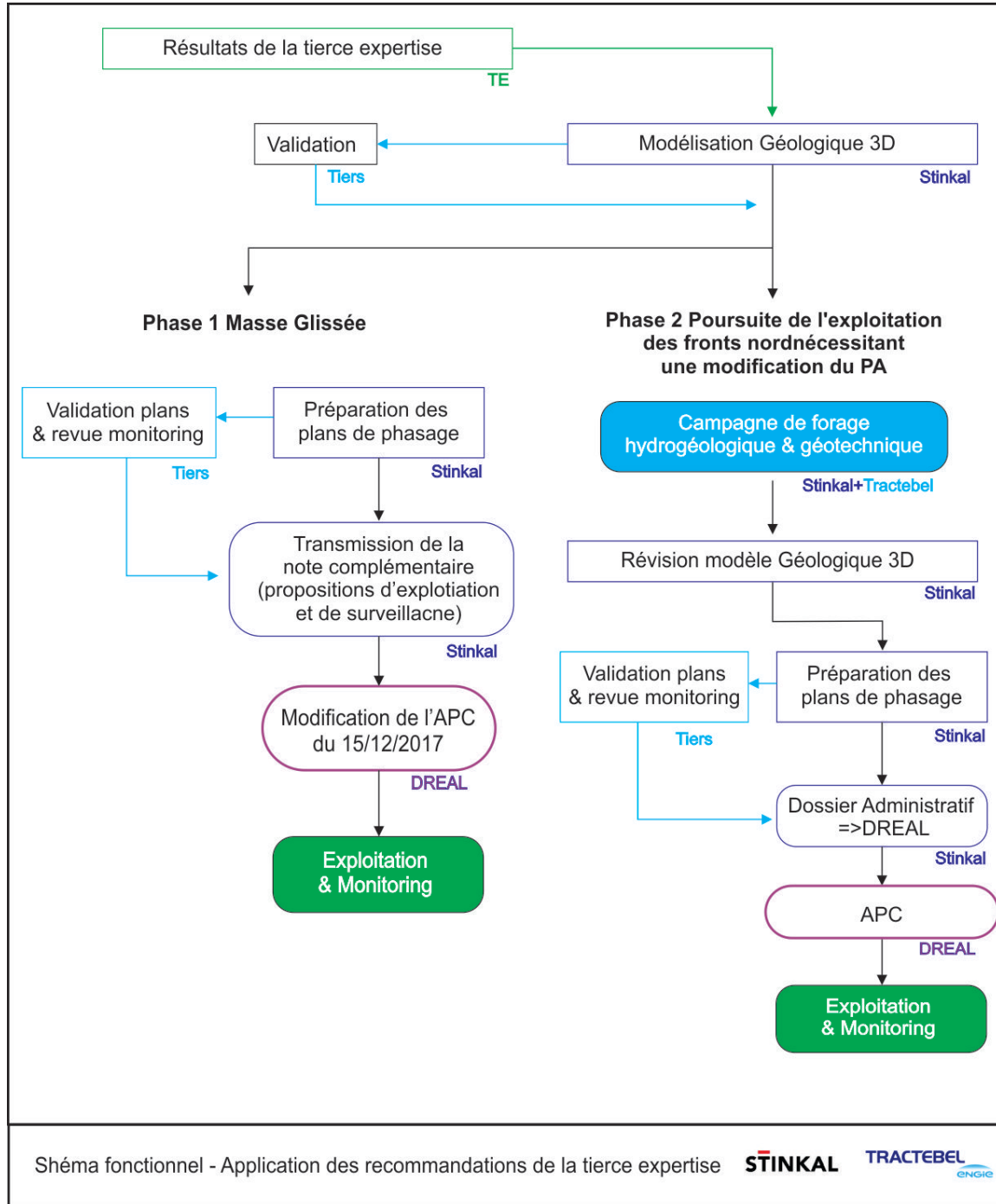


Figure 21 : Schéma fonctionnel en application des résultats et de la recommandation de la tierce expertise.

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**.

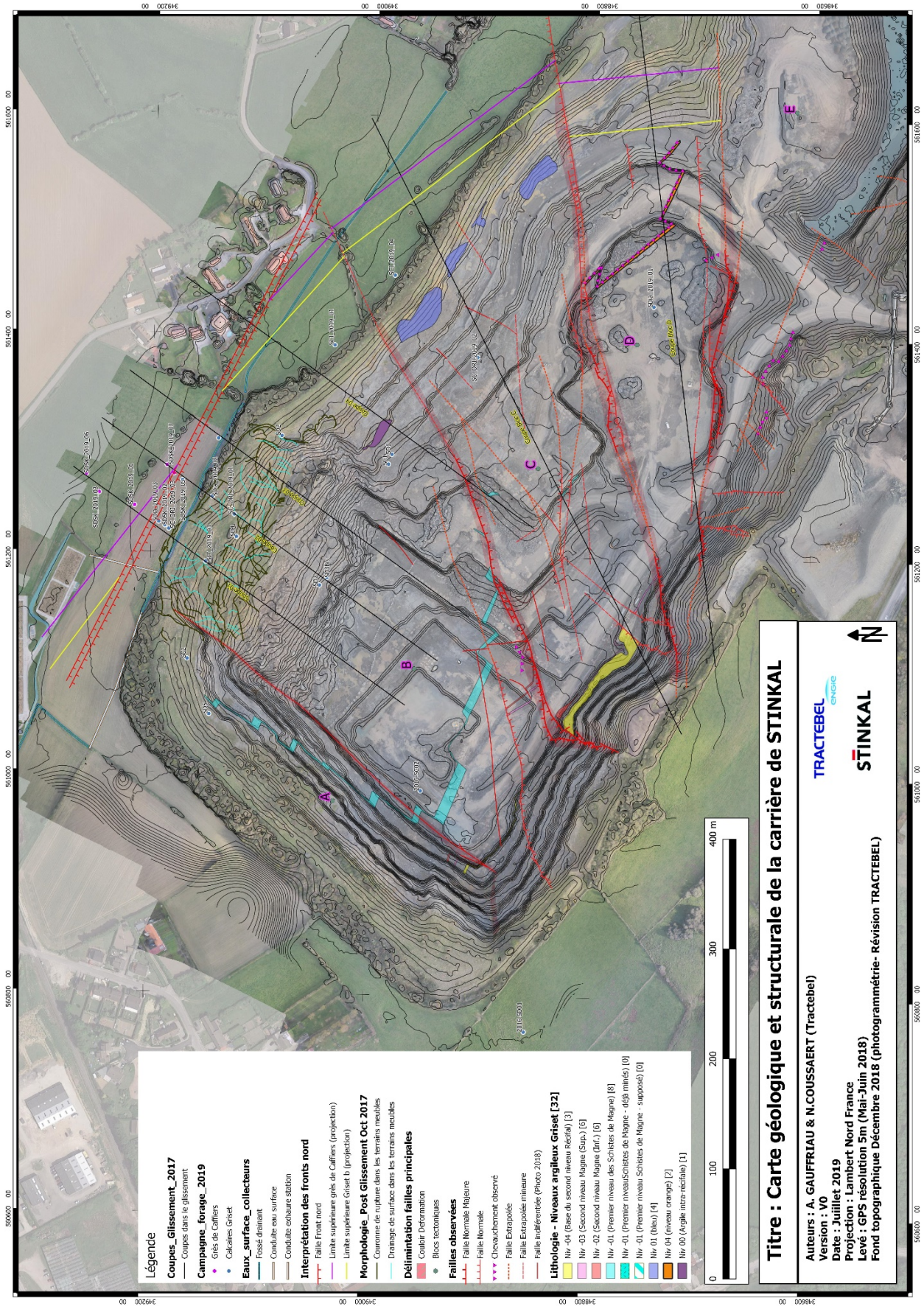
En l'état actuel des connaissances, **nos résultats permettent de statuer sur une limite cartographique maximale d'exploitation des fronts rocheux permettant à l'exploitant de poursuivre son activité, d'accéder à son gisement tout en garantissant la stabilité des zones alentours**. Cette limite est ferme 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

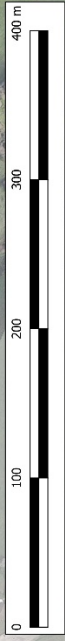
Morphologie - Post Glissement Oct 2017
— Limite supérieure gbs de Caiffers (projection)
— Limite supérieure Ginet b (projection)
— Couronne de ruptures dans les terrains meubles
— Drainage de surface dans les terrains meubles

Délimitation failles principales
— Couloir Déformation
● Blocs rectangulaires

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

Faille Extrapolée
— Faille Extrapolée mineure
— Faille Interférentielle (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

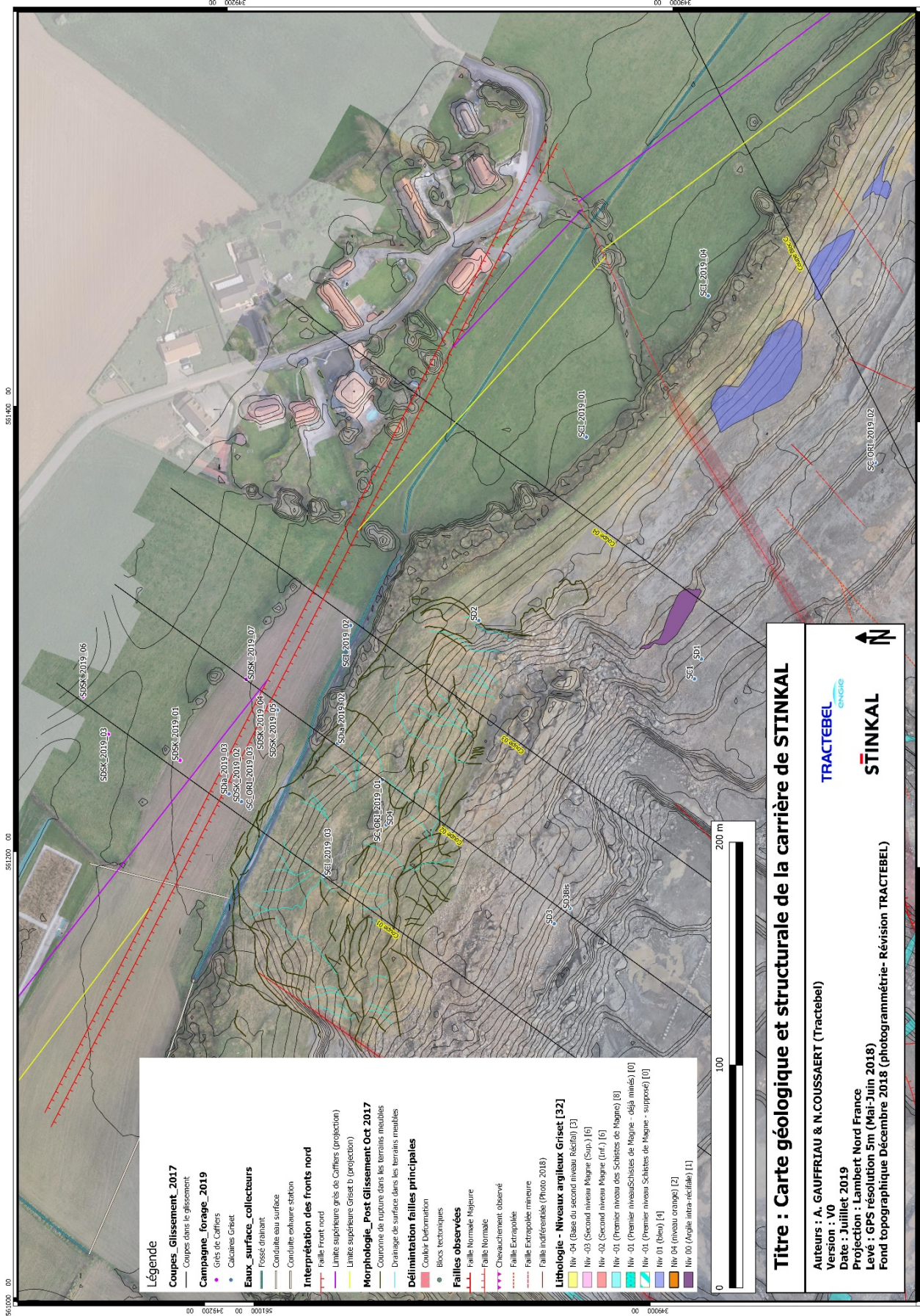
Levé : GPS résolution 5m (Mai-Juin 2018)

Fond topographique Décembre 2018 (photogrammétrie - révision TRACTEBEL)

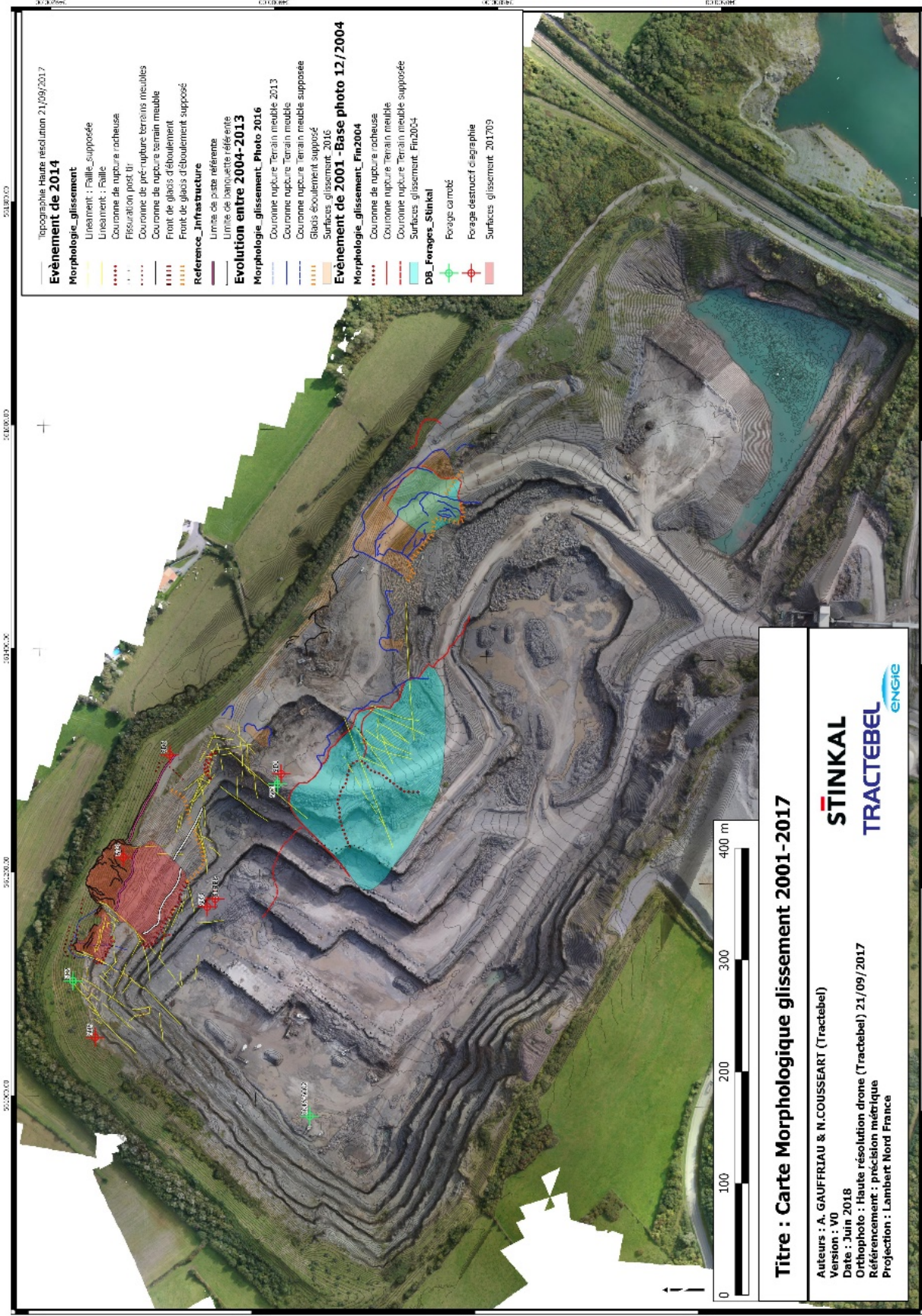
TRACTEBEL

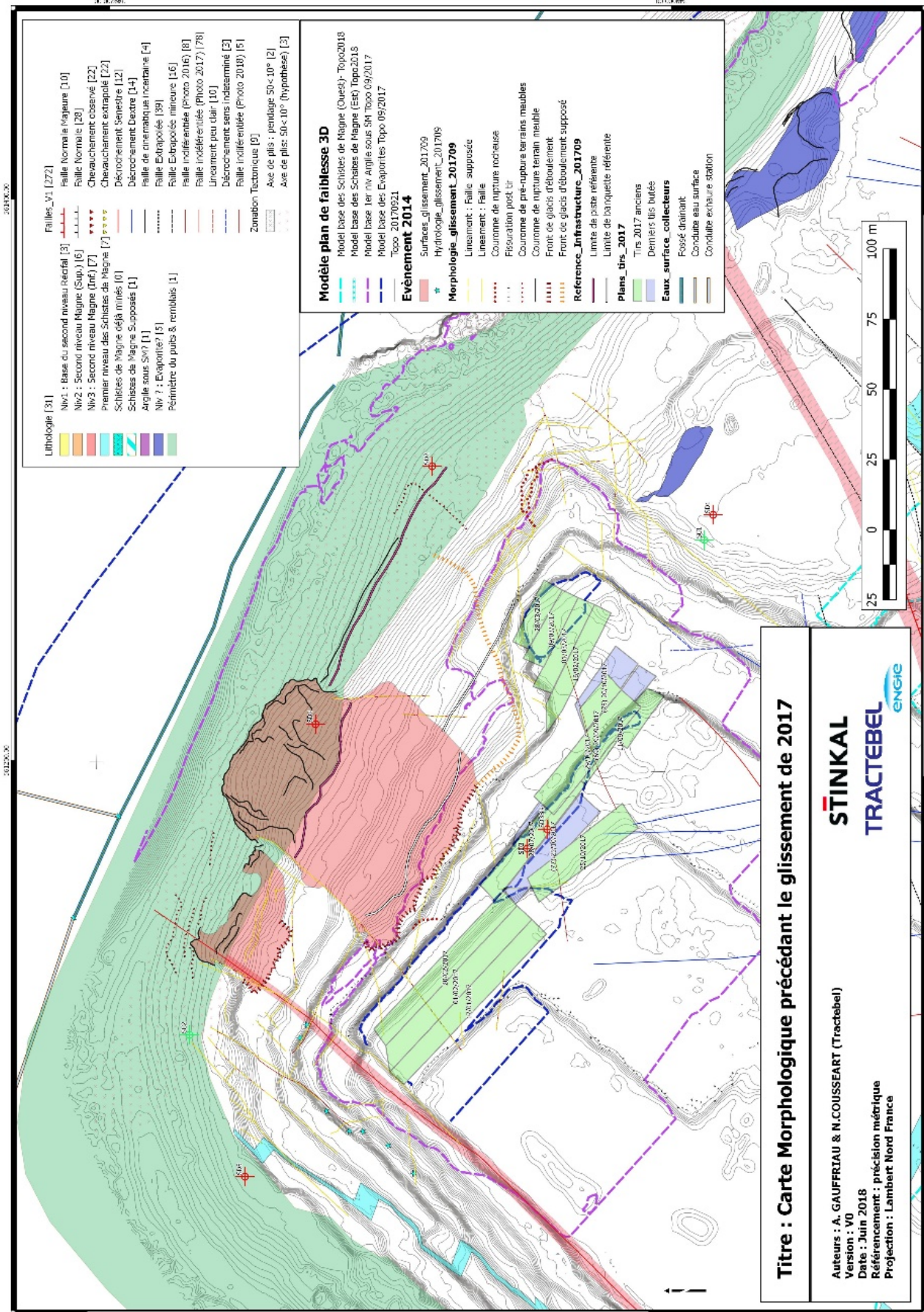
STINKAL

North arrow pointing up.



ANNEXE II : CARTES MORPHOLOGIQUES DU GLISSEMENT DE 2017





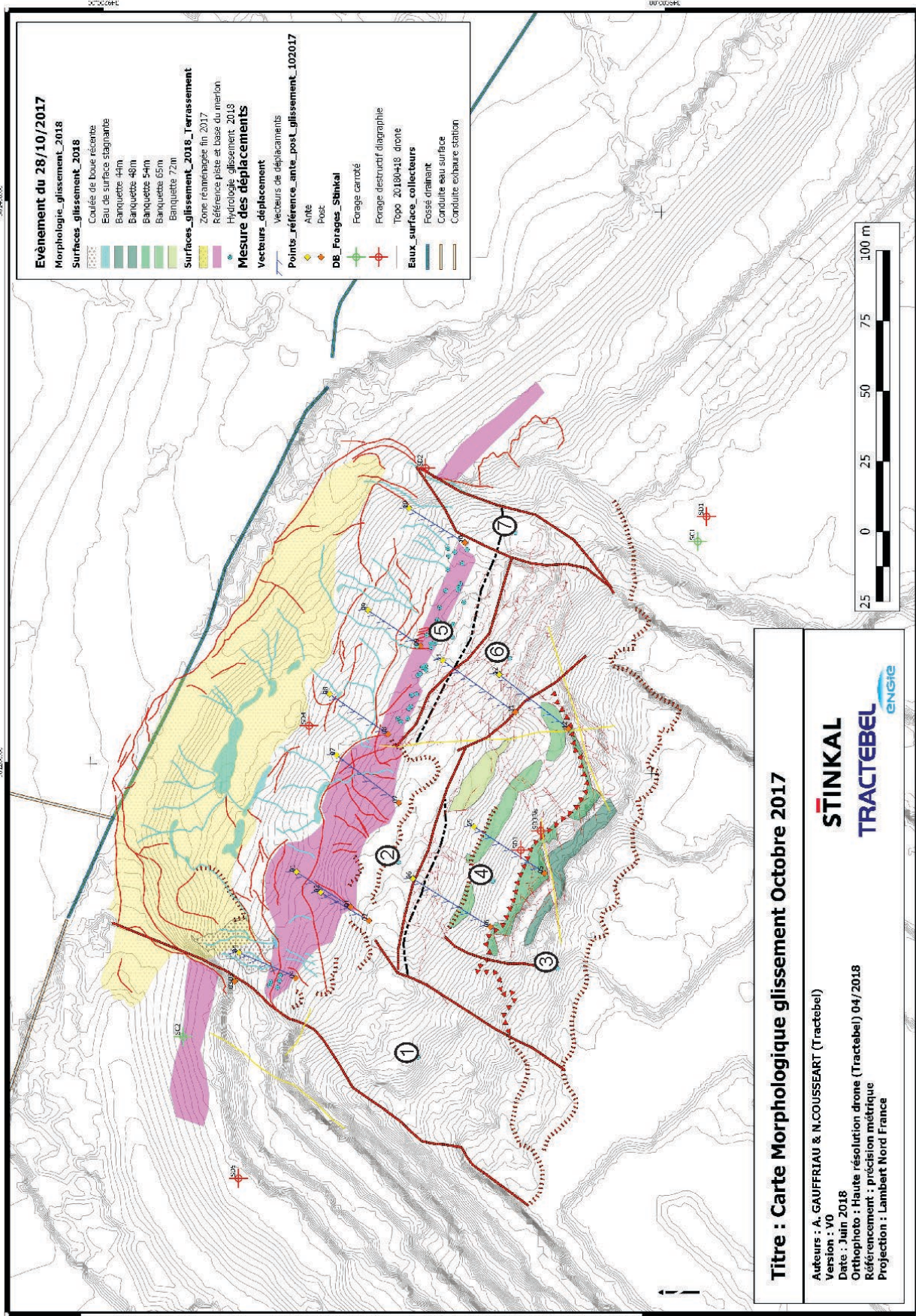
- Lithologie [31]**
- Niv1 : Base du second niveau Nécrial [3]
 - Niv2 : Second niveau Migne (Sup.) [6]
 - Niv3 : Second niveau Migne (Inf.) [7]
 - Premier niveau des Schistes de Migne [7]
 - Schistes de Migne (déjà minés) [0]
 - Schistes de Migne Supposés [1]
 - Argile sous SK7 [1]
 - Niv 7 : Evaporites? [15]
 - Périmètre du puits & remblais [1]
- Failles_V1 [272]**
- Faillie Normale Majeure [10]
 - Faillie Normale [28]
 - Chevauchement observé [22]
 - Chevauchement extrapolé [22]
 - Décrochement Sensitive [12]
 - Décrochement Dextre [14]
 - Faillie de cinématique incertaine [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 2016) [5]
 - Zonacion Tectonique [0]
 - Axe de plis : pendage 50[°] [2]
 - Axe de plis : 50[°] - 10[°] (hypothèse) [3]

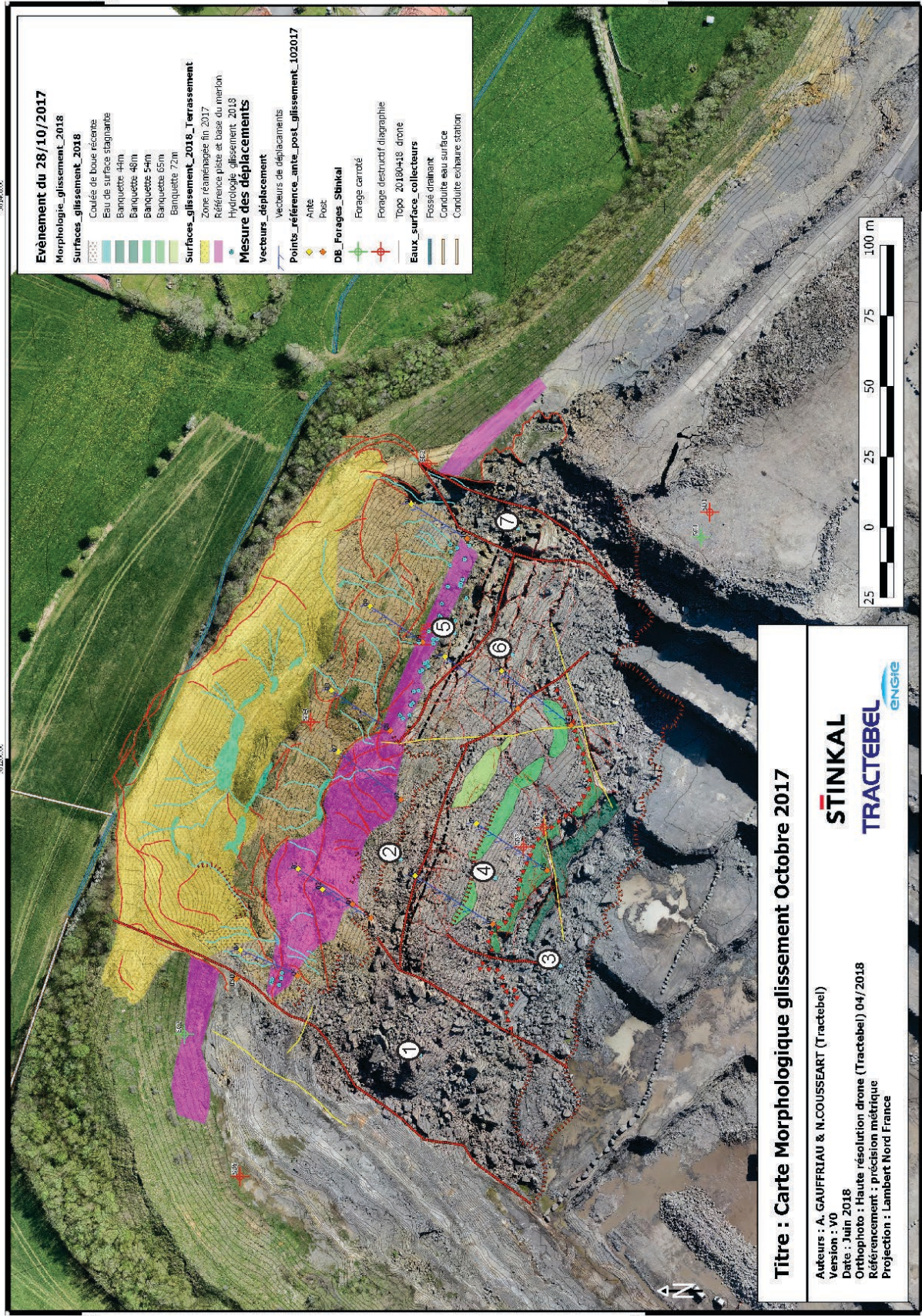
- Modèle plan de faiblesse 3D**
- Modèle base des Schistes de Migne (Ouest) - Topo2018
 - Modèle base des Schistes de Migne (Est) - Topo2018
 - Modèle base Ter niv Argiles sous SK7 09/2017
 - Modèle base des Evaporites Topo 09/2017
 - Topo 20170921
- Evénement 2014**
- Surfaces_glissement_201209
 - Hydrologie_glissement_201709
- Morphologie_glissement_201709**
- Linéament : Faillie supposée
 - Couronne de rupture rocheuses
 - Fissuration post br
 - Couronne de pré-rupture terrains meubles
 - Couronne de rupture terrain meuble
 - Front de glaci déboulement
 - Front de glaci déboulement supporté
- Reference_Infrastructure_201709**
- Limite de piste référente
 - Limite de banquette référente
- Plans_brs_2017**
- Tirs 2017 anciens
 - Dernier tirs butés
 - Eaux_surface_collecteurs
 - Fossé 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





Evénement du 28/10/2017

Morphologie_glissement_2018

Surfaces_glissement_2018

- Coulois de boue récente
- Eau de surface stagnante
- Banquette 4m
- Banquette 46m
- Banquette 54m
- Banquette 65m
- Banquette 72m

Surfaces_glissement_2018_Terrassement

- Zone réaménagée fin 2017
- Référence piste at base du muret
- Hydrologie_glissement_2018

Mesure des déplacements

Vecteurs déplacement

Points_référence_ante_post_glissement_102017

Vecteurs de déplacements

DB_Forages_Stinkal

Eaux_surface_collecteurs

Fossés drainant

Conduite eau surface

Conduite exhaure station

Titre : Carte Morphologique glissement Octobre 2017

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

Version : V0

Date : Juin 2018

Orthophoto : Haute résolution drone (Tractebel) 04/2018

Référencement : précision métrique

Projection : Lambert Nord France

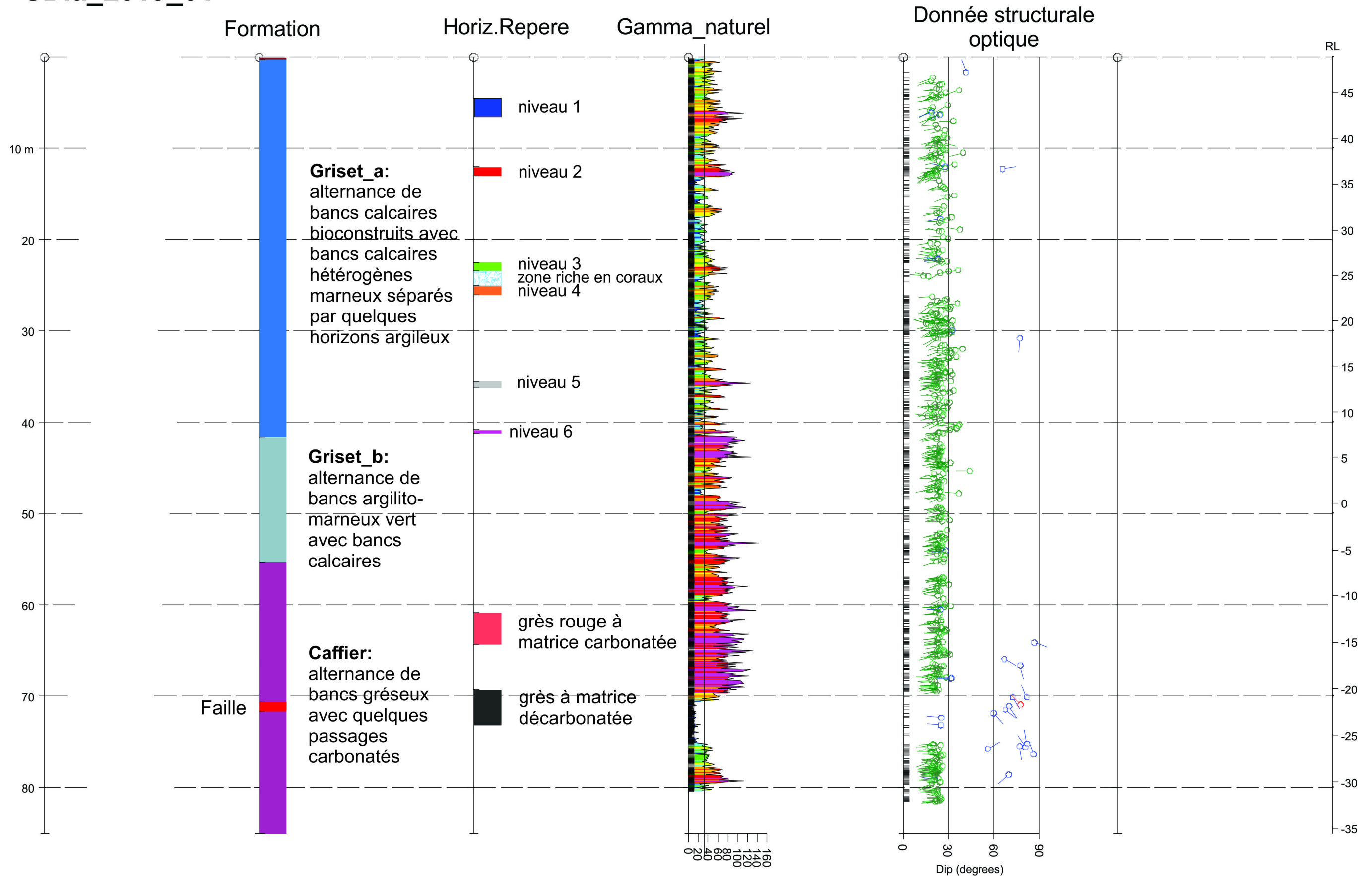
STINKAL

TRACTEBEL



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

SDia_2019_01



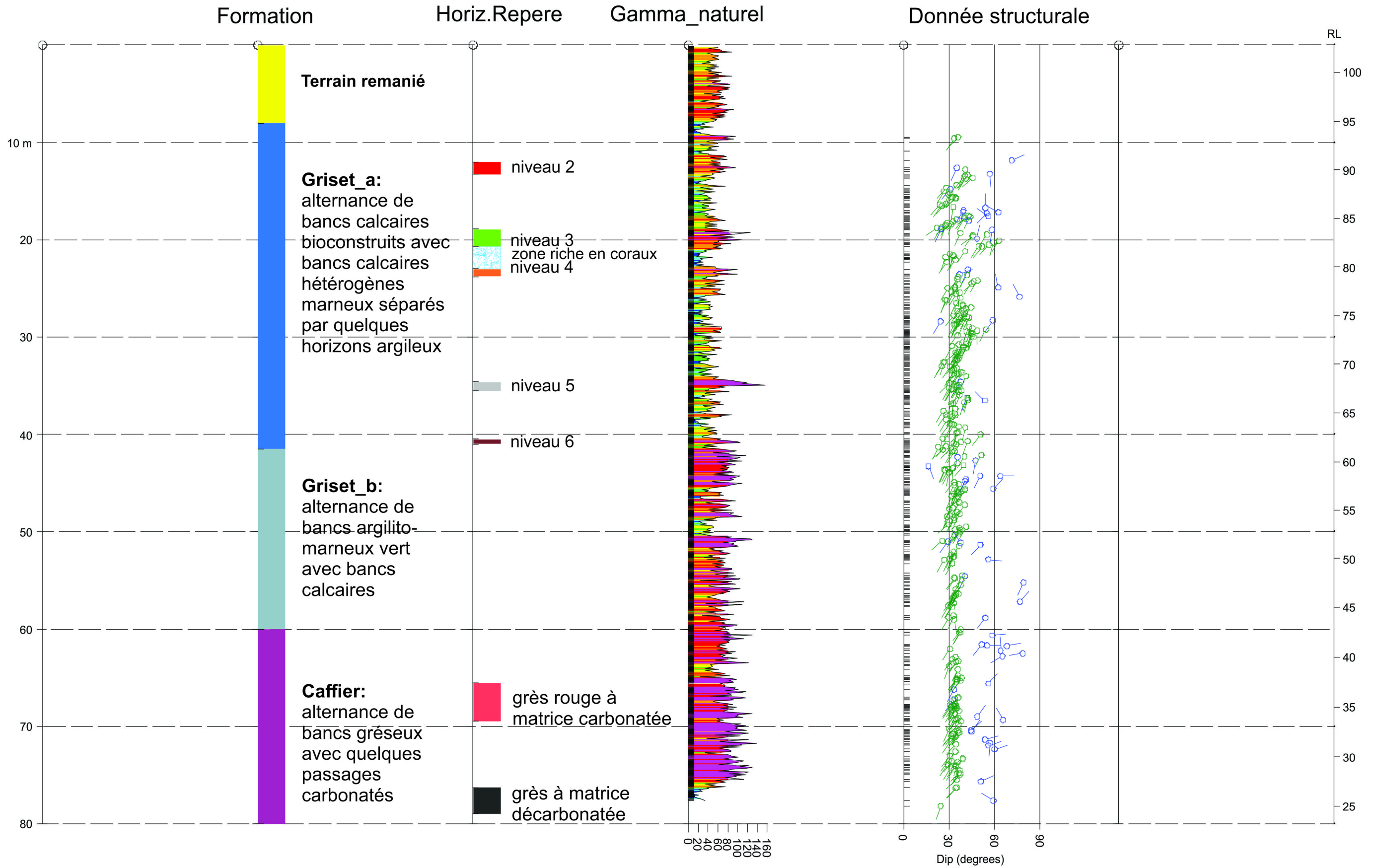
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone à 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_01

STINKAL
TRACTEBEL

SDia_2019_02



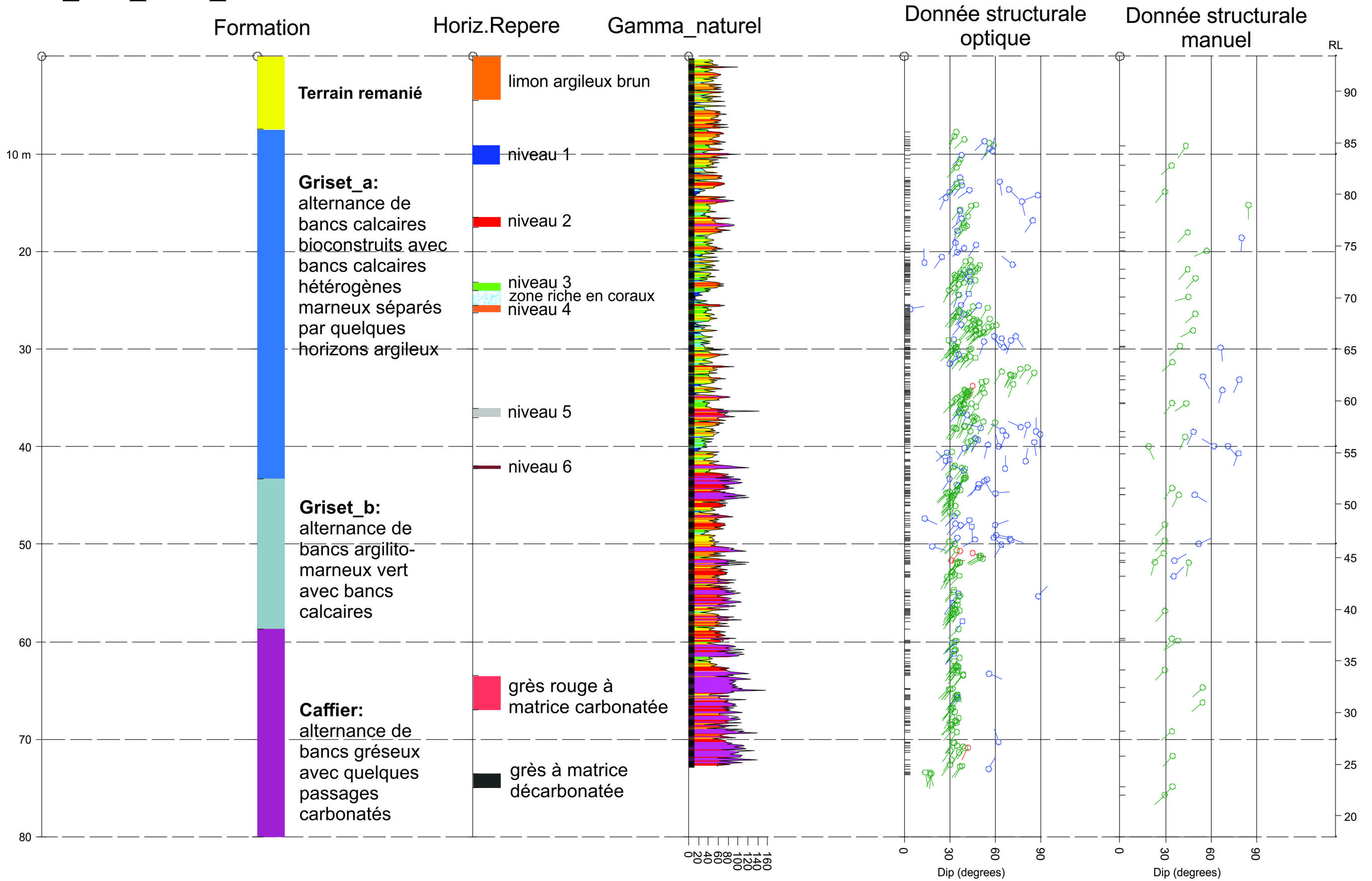
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			zone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

Niveaux argiles repères dans Griset_a

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

STINKAL
TRACTEBEL

SC_ORI_2019_01



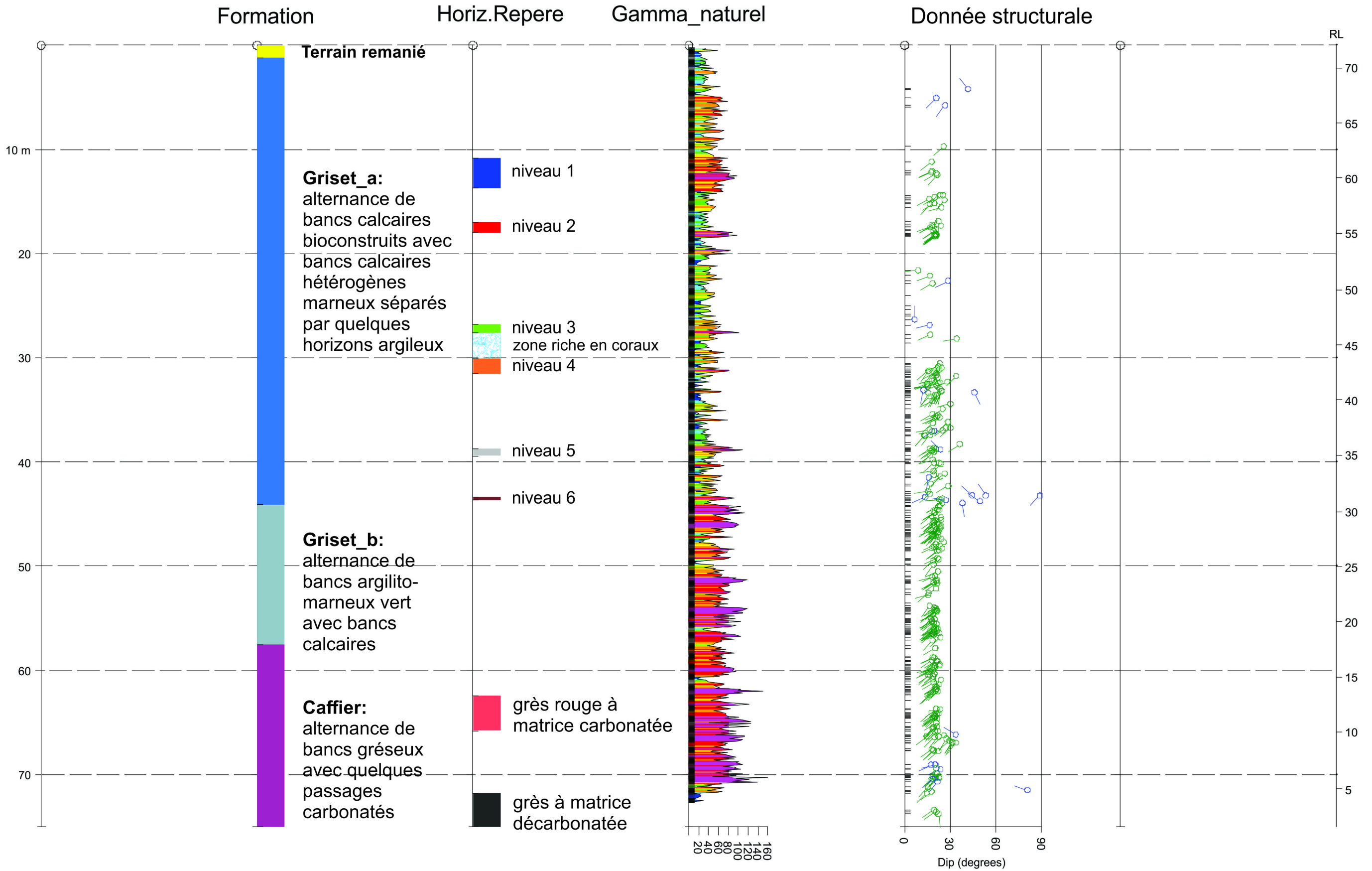
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone riche 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 SC_ORI_2019_01

STINKAL
TRACTEBEL

SC_ORI_2019_02



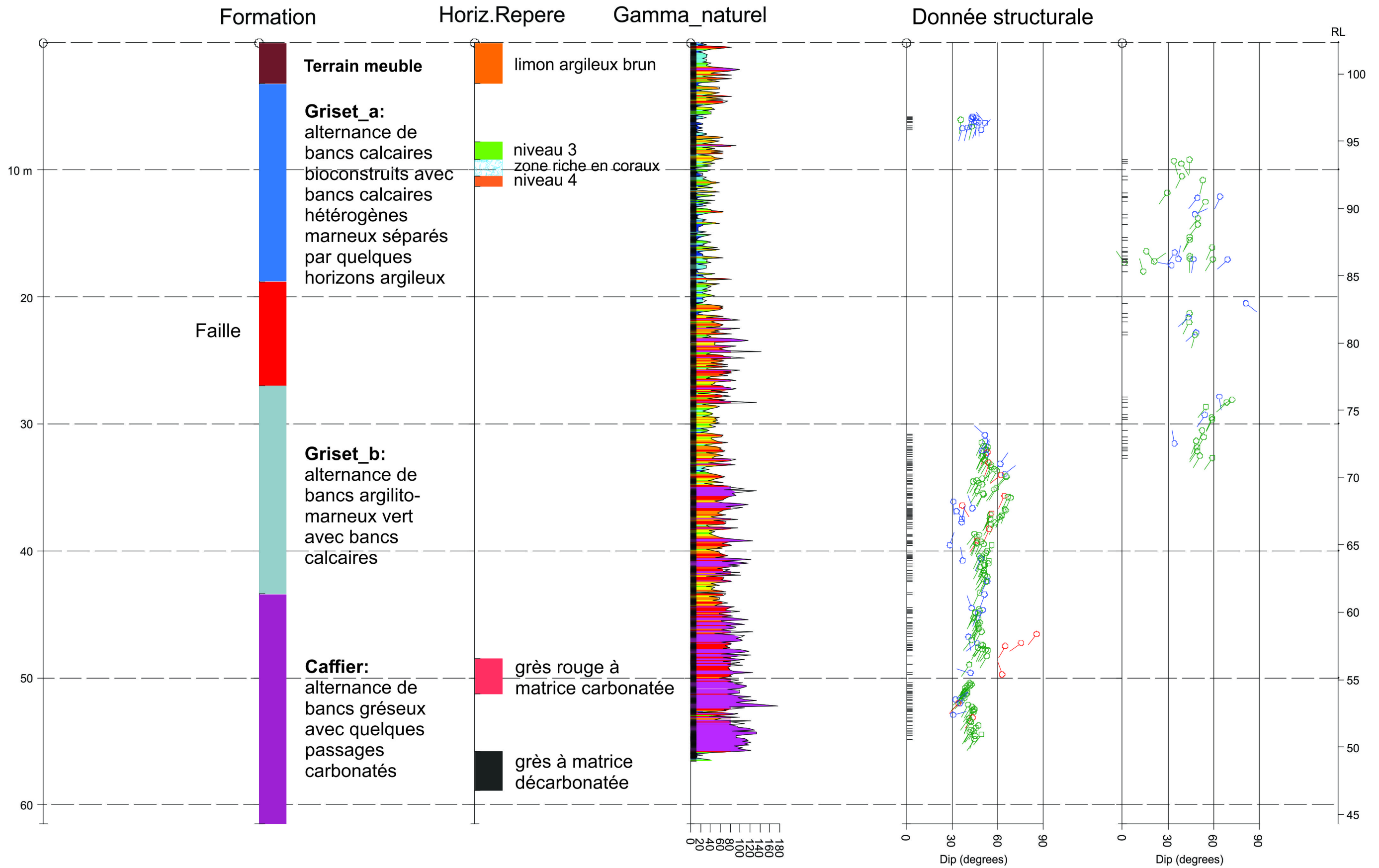
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3 zone à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

Niveaux argiles repères dans Griset_a

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

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE

SC_ORI_2019_03



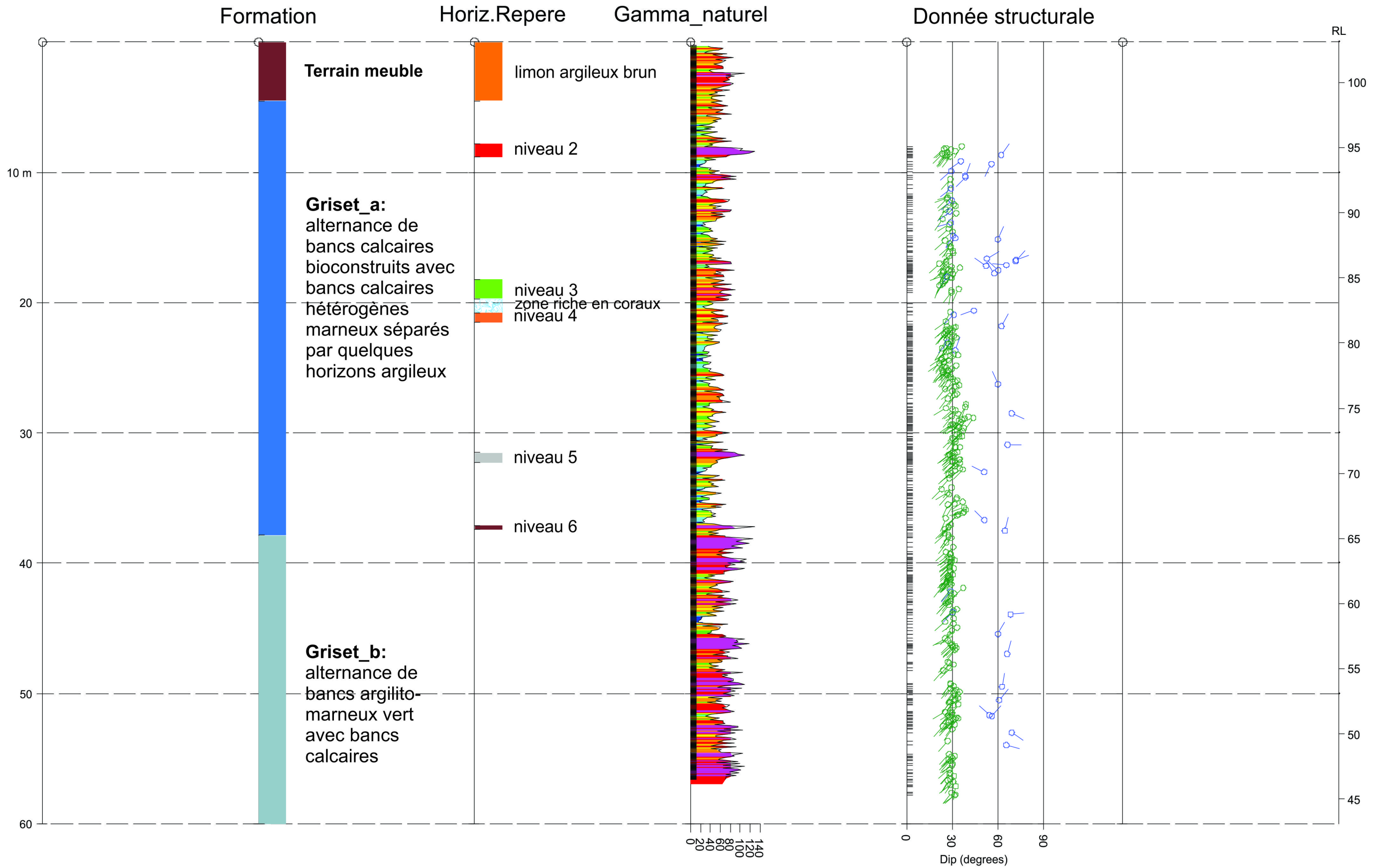
Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			zone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

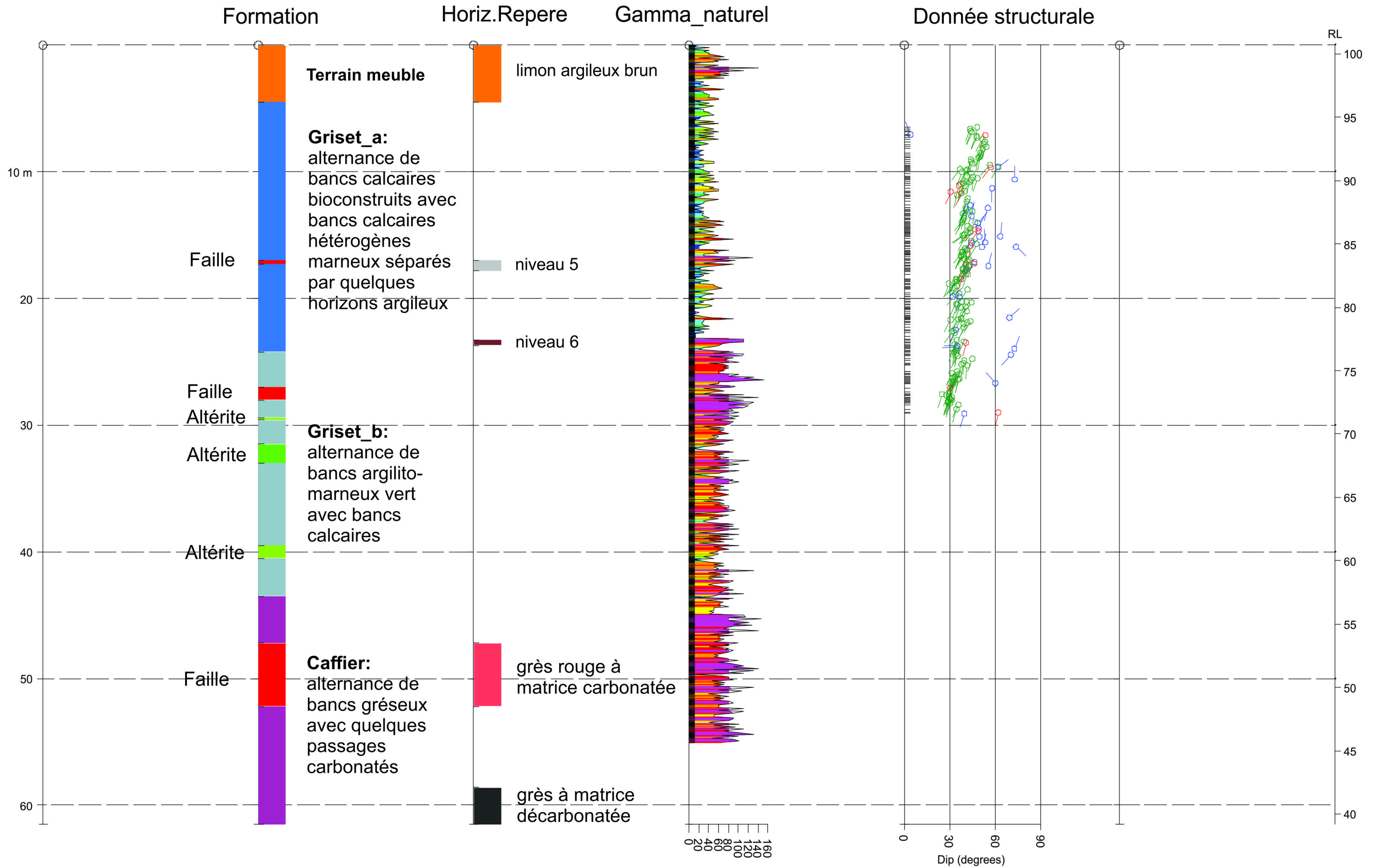
Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage SCI_2019_01

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE

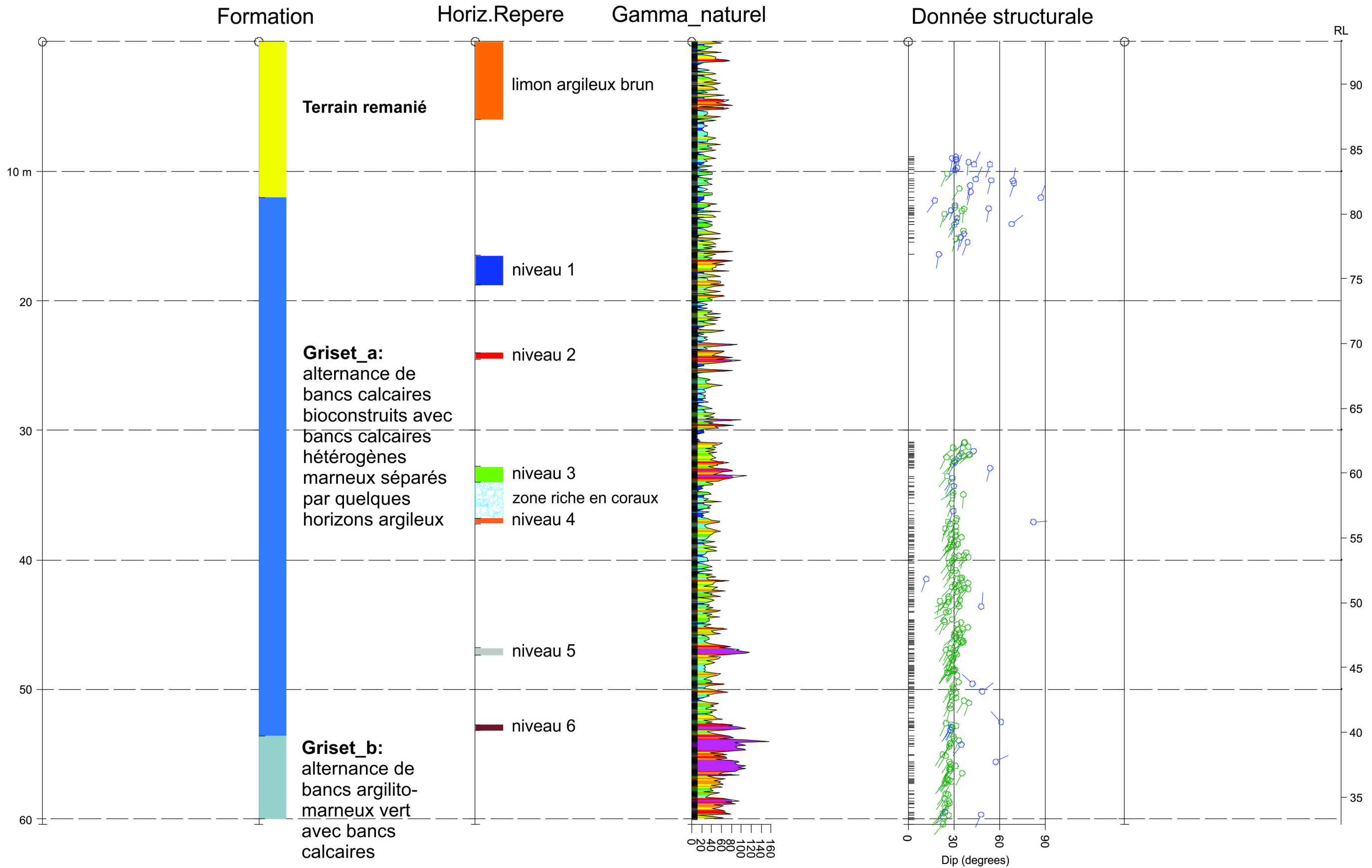


Terrain meuble	Calcaire du Griset_a	Gamme ray	schiste magne
Limon argileux brun	Calcaire argileux Griset_b	Stratification	niveau 0
Terrain remanié	Grès de Caffier	Fracture	niveau 1
Zone de faille	Grès rouge carbonaté	Faille	niveau 2
Niveau fortement altéré en argile	Grès décarbonaté		niveau 3
			niveau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

STINKAL
TRACTEBEL



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

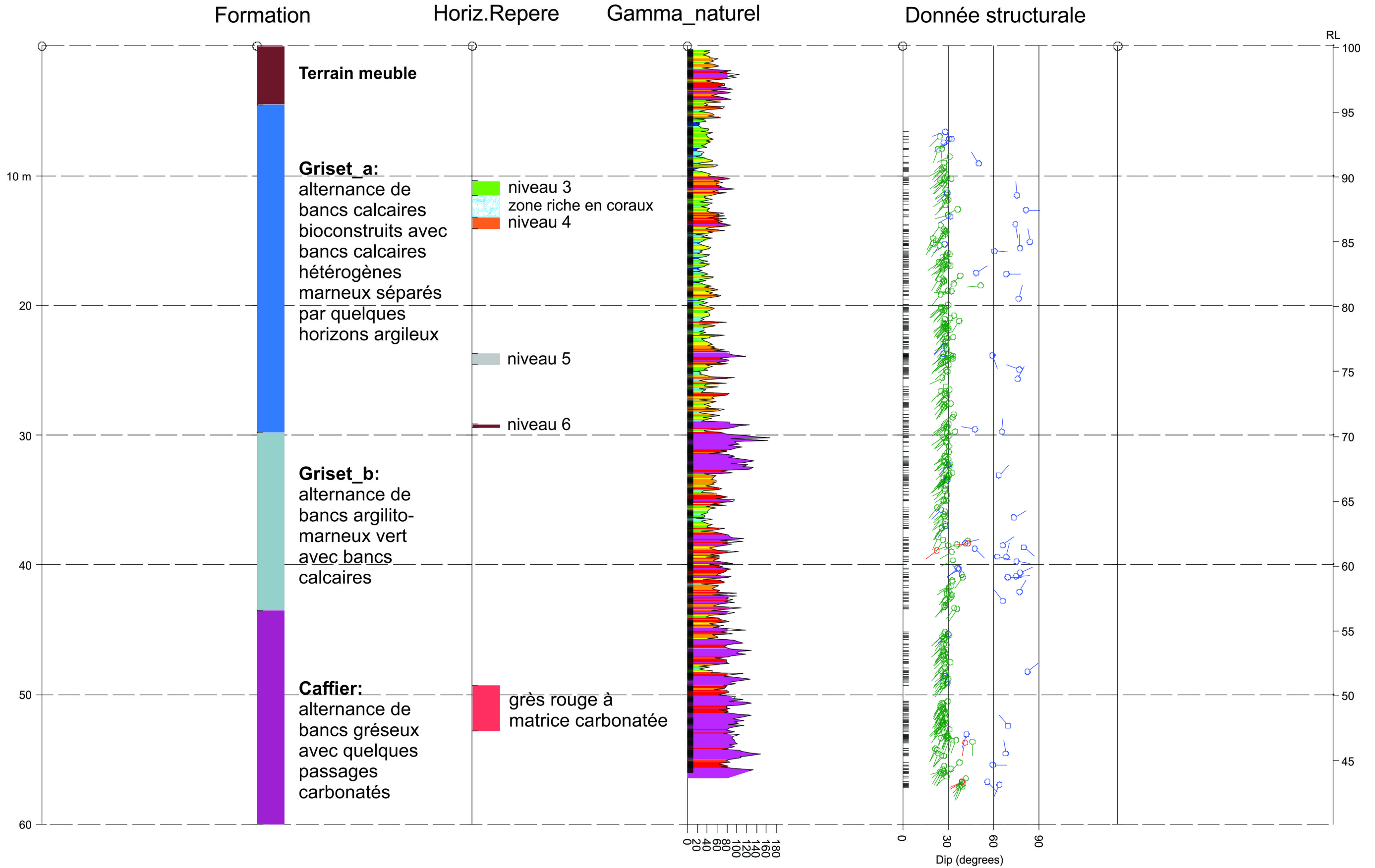
Niveaux argiles repères dans Griset_a

Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage SCI_2019_03





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

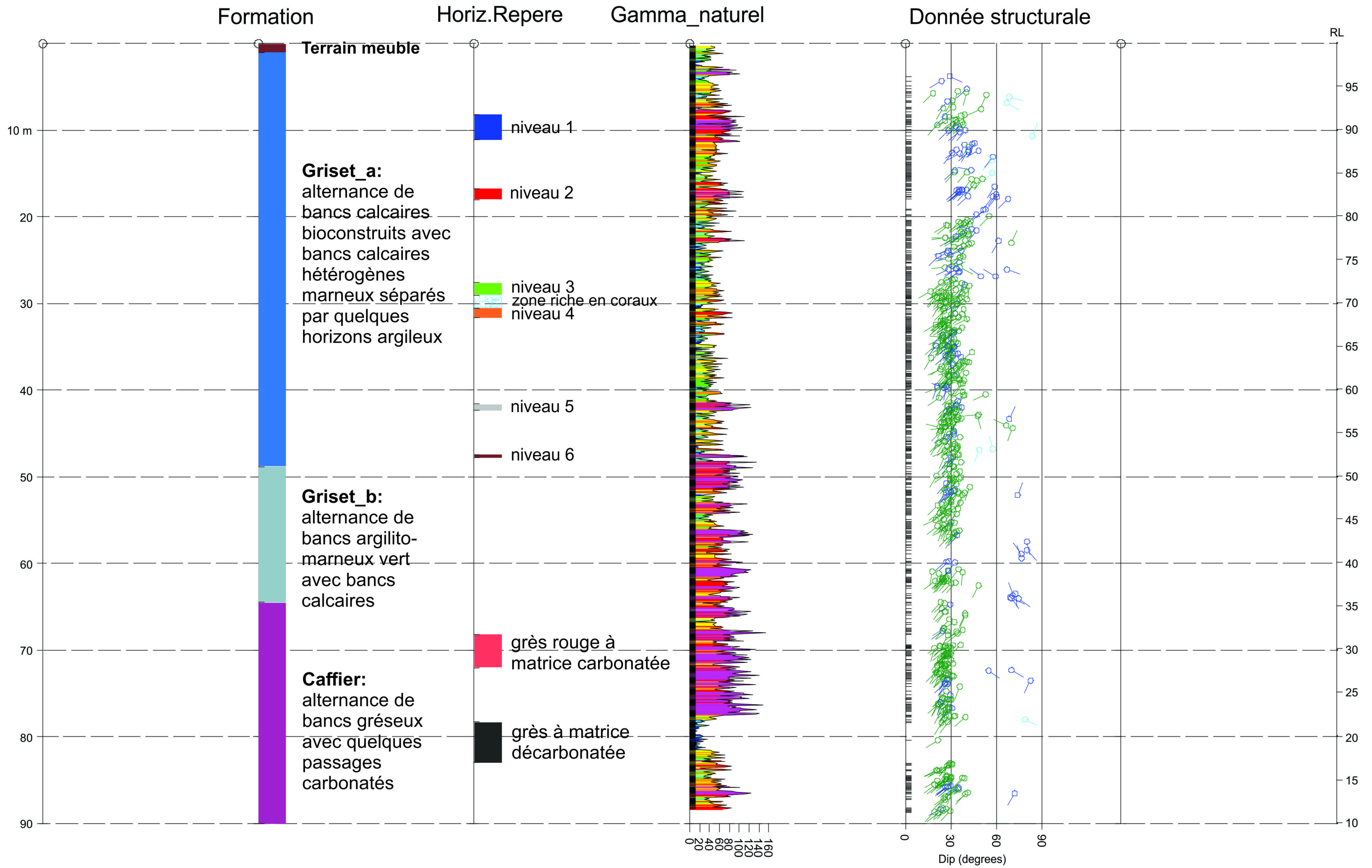
Projet:
P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage SCI_2019_04

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE

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

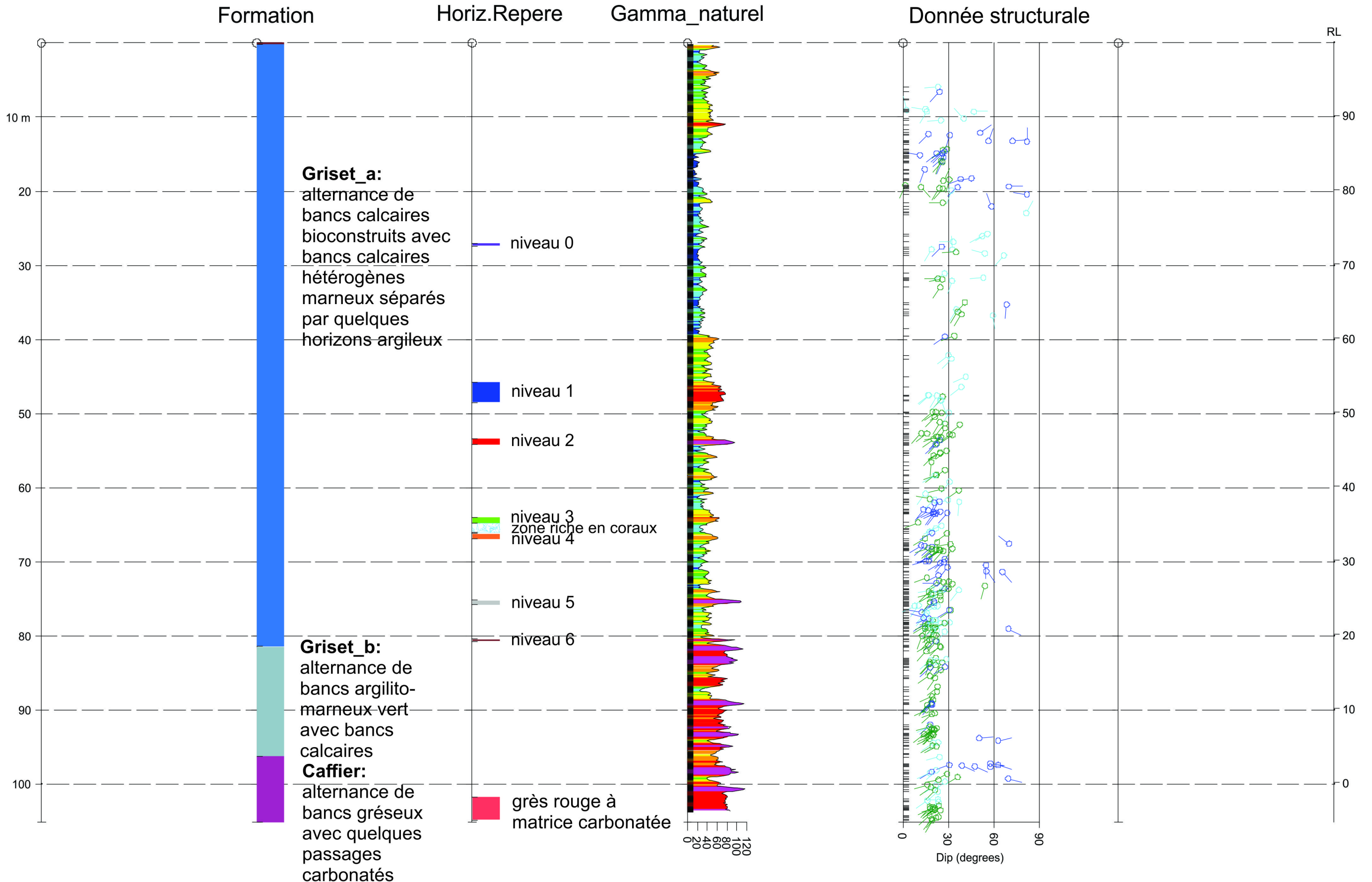
Projet: P.012959.0100

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 riche en coraux
			niveau 4
			niveau 5
			niveau 6

Niveaux argiles repères dans Griset_a

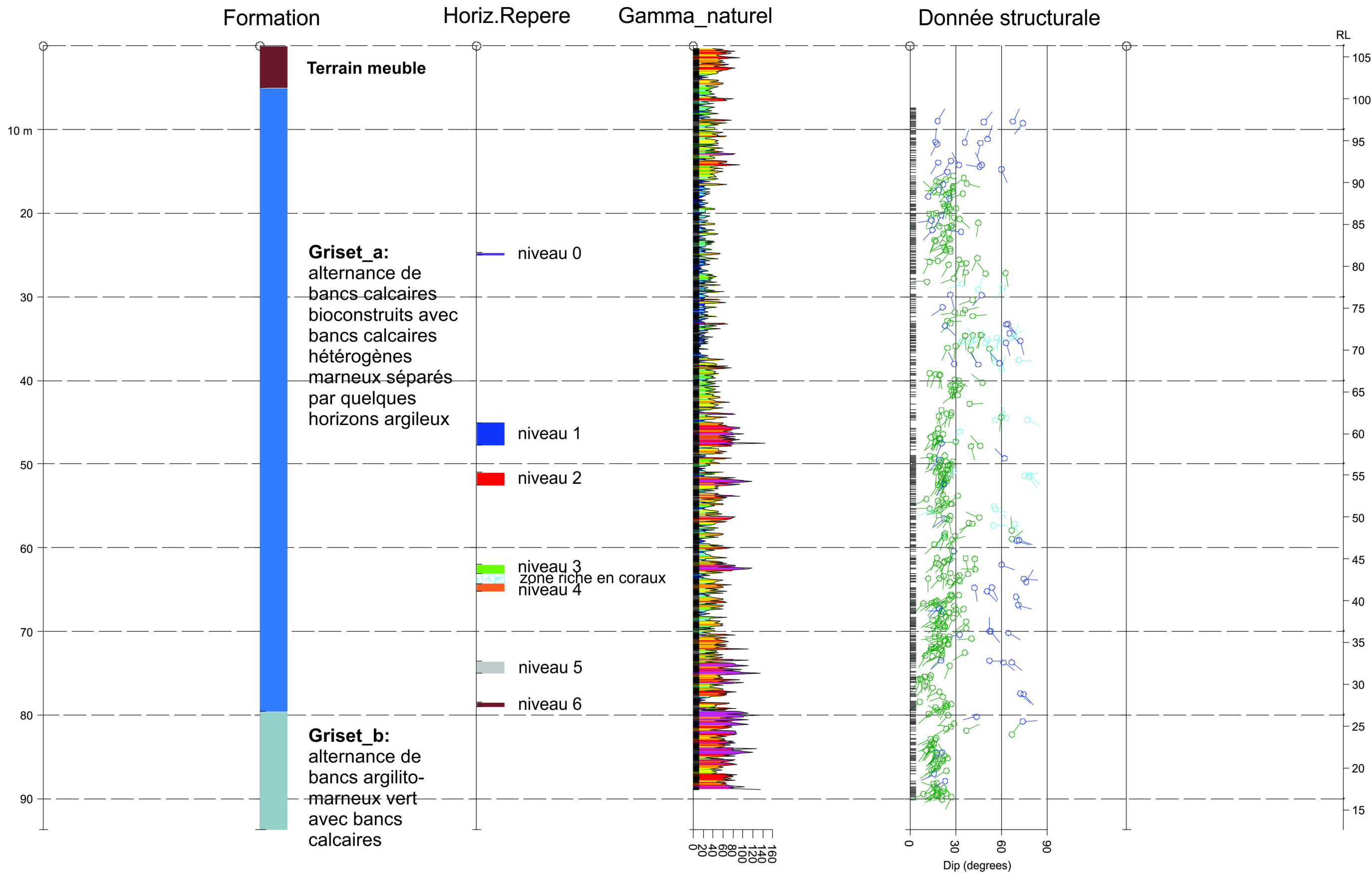
Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage - 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

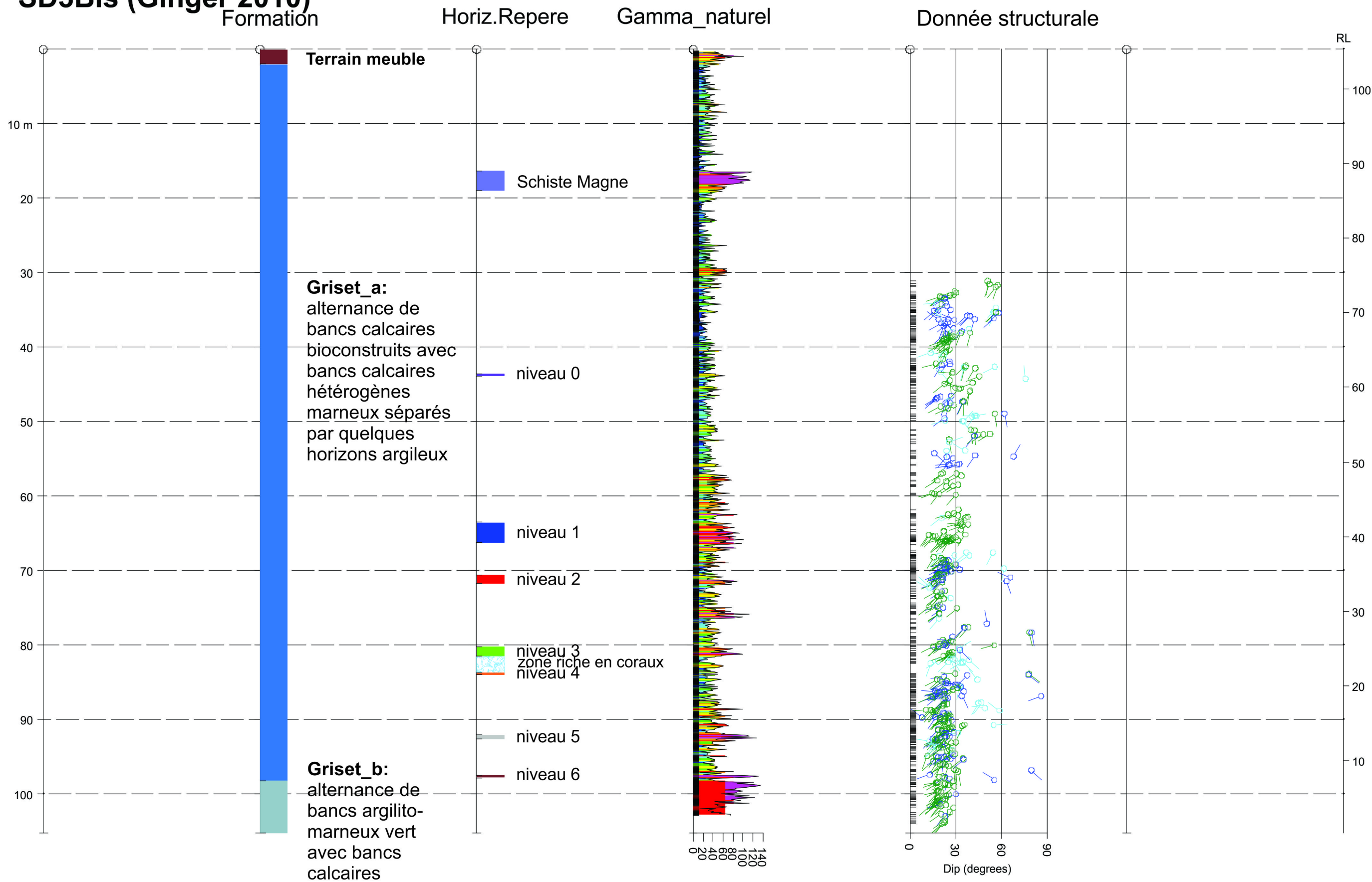
Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage - SC2

STINKAL
TRACTEBEL
ENGIE

SD3Bis (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

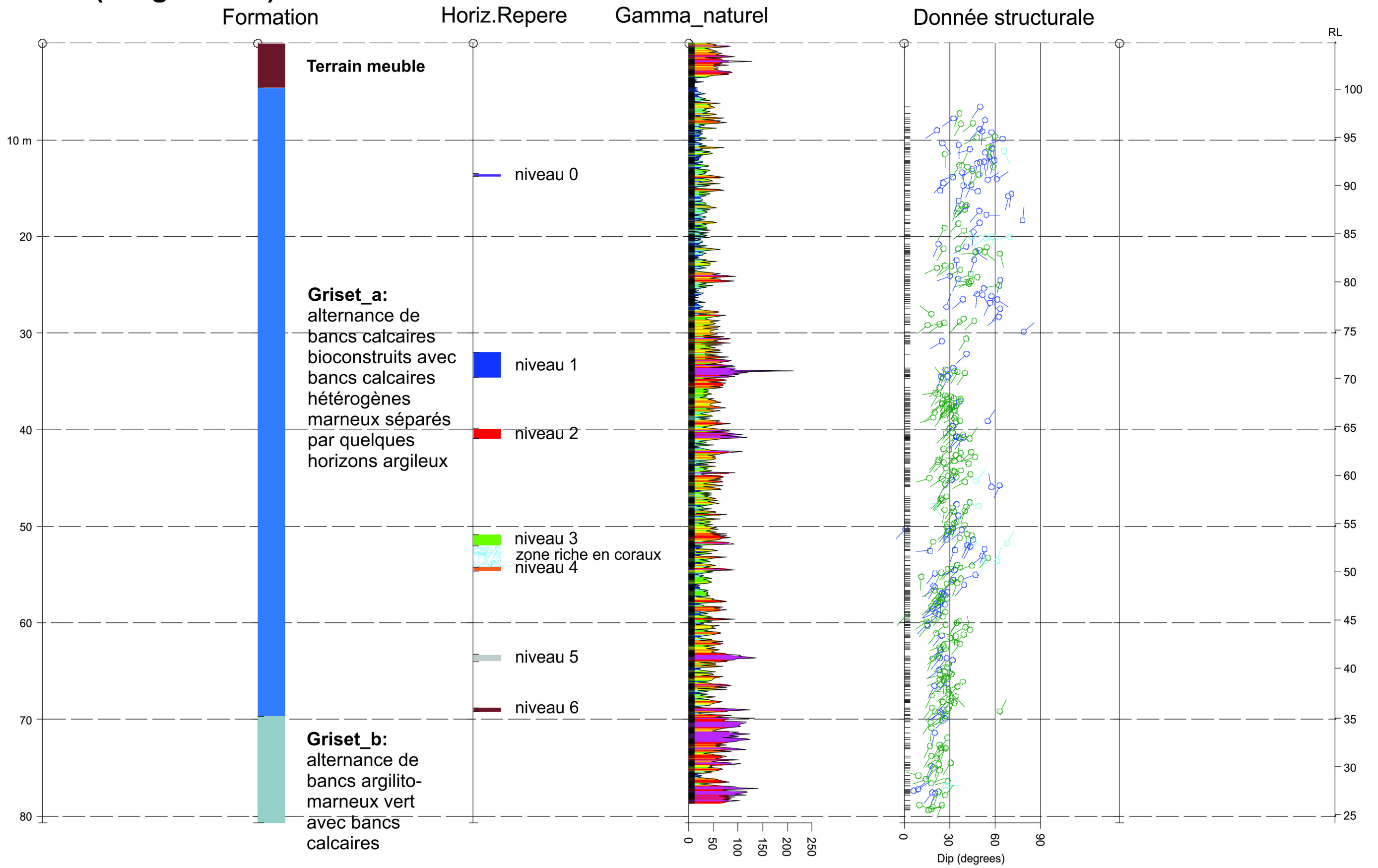
Projet: P.012959.0100

Date: 17-06-2019
Auteur: NC

Titre : Strip-log sondage - 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

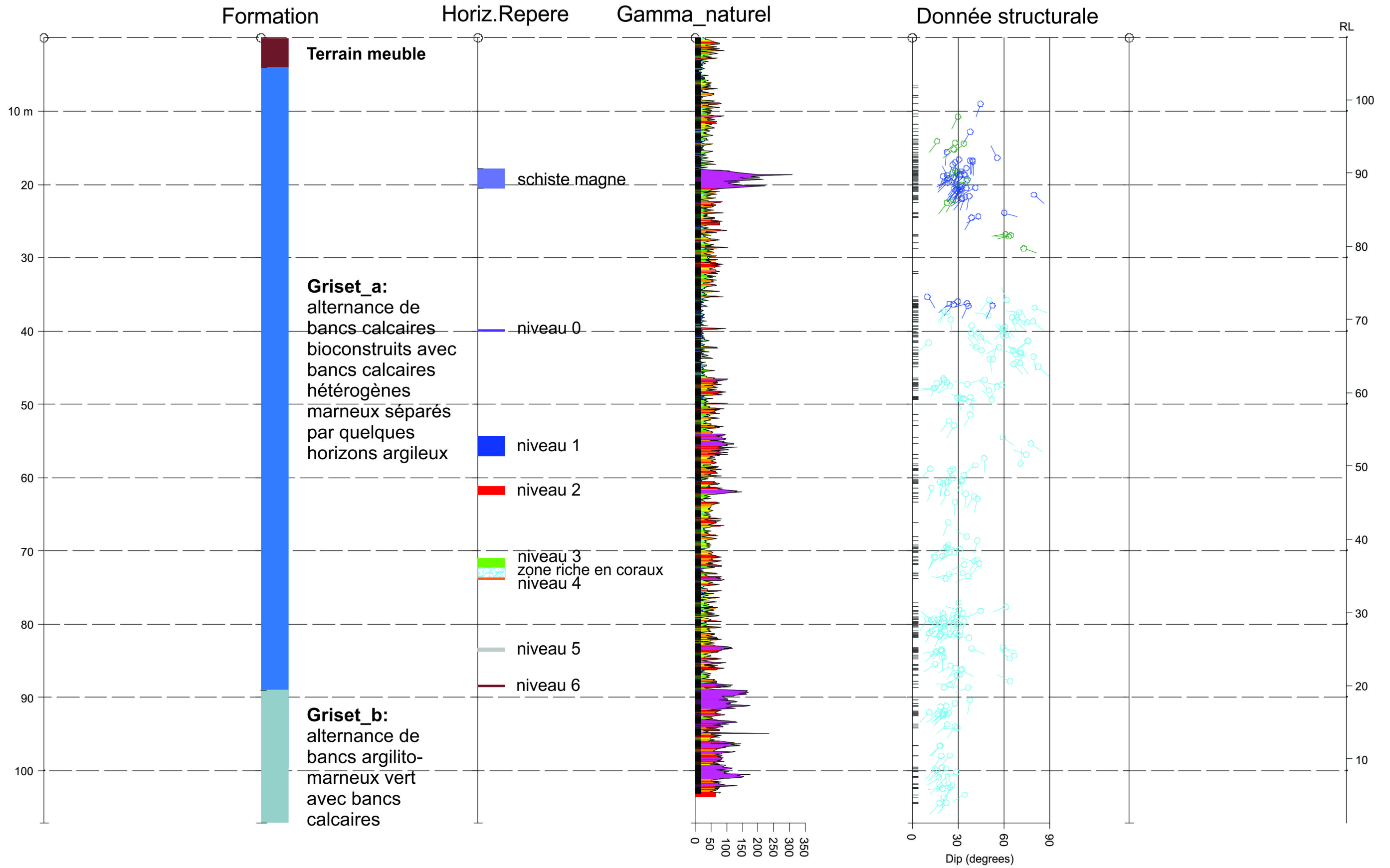
Projet: P.012959.0100

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
ENGIE

[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 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

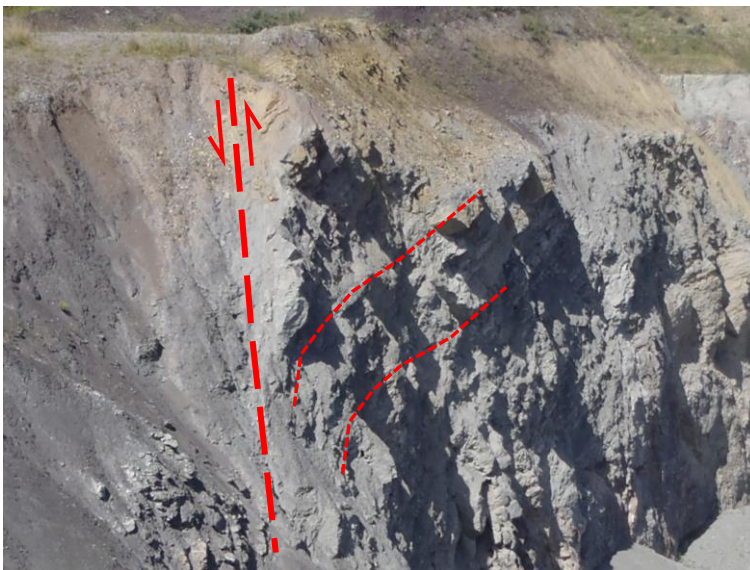


Photo 3 : Faille (N100°) mettant en contact les calcaires (droite) et schiste (gauche)

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).

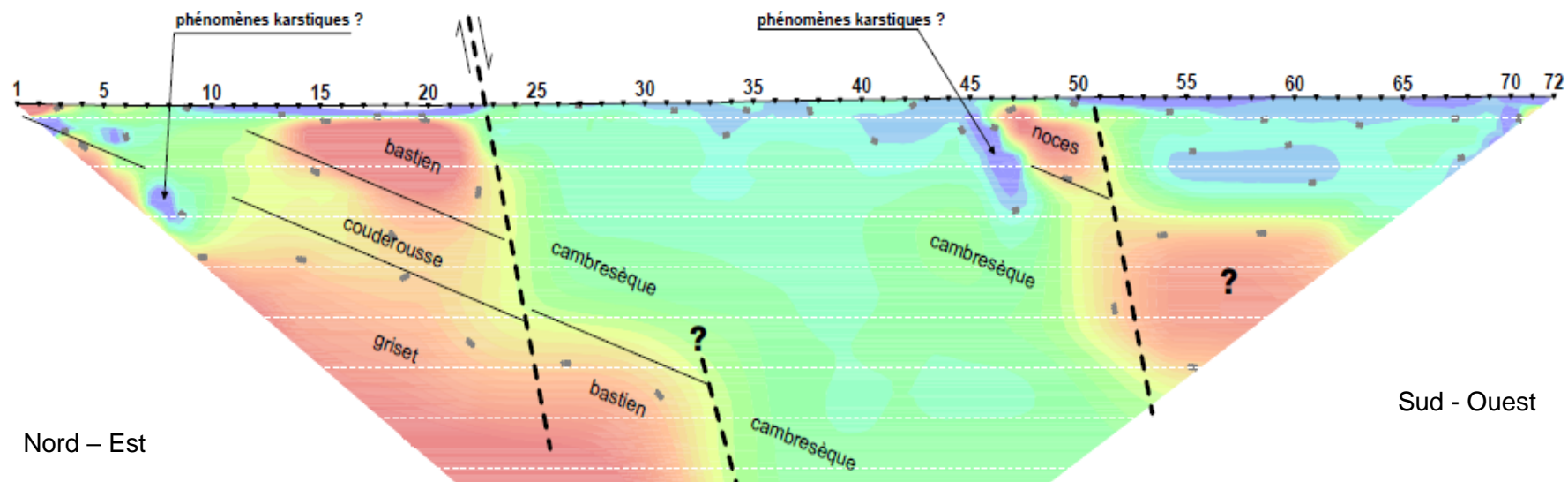


Figure 2 : Extrait du profil géophysique interprété (Fondasol), (Cambresèque = schiste de Beaulieu ; grisset = calcaire de Blacourt).

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	Fonction de l'élément géotechnique étudié

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

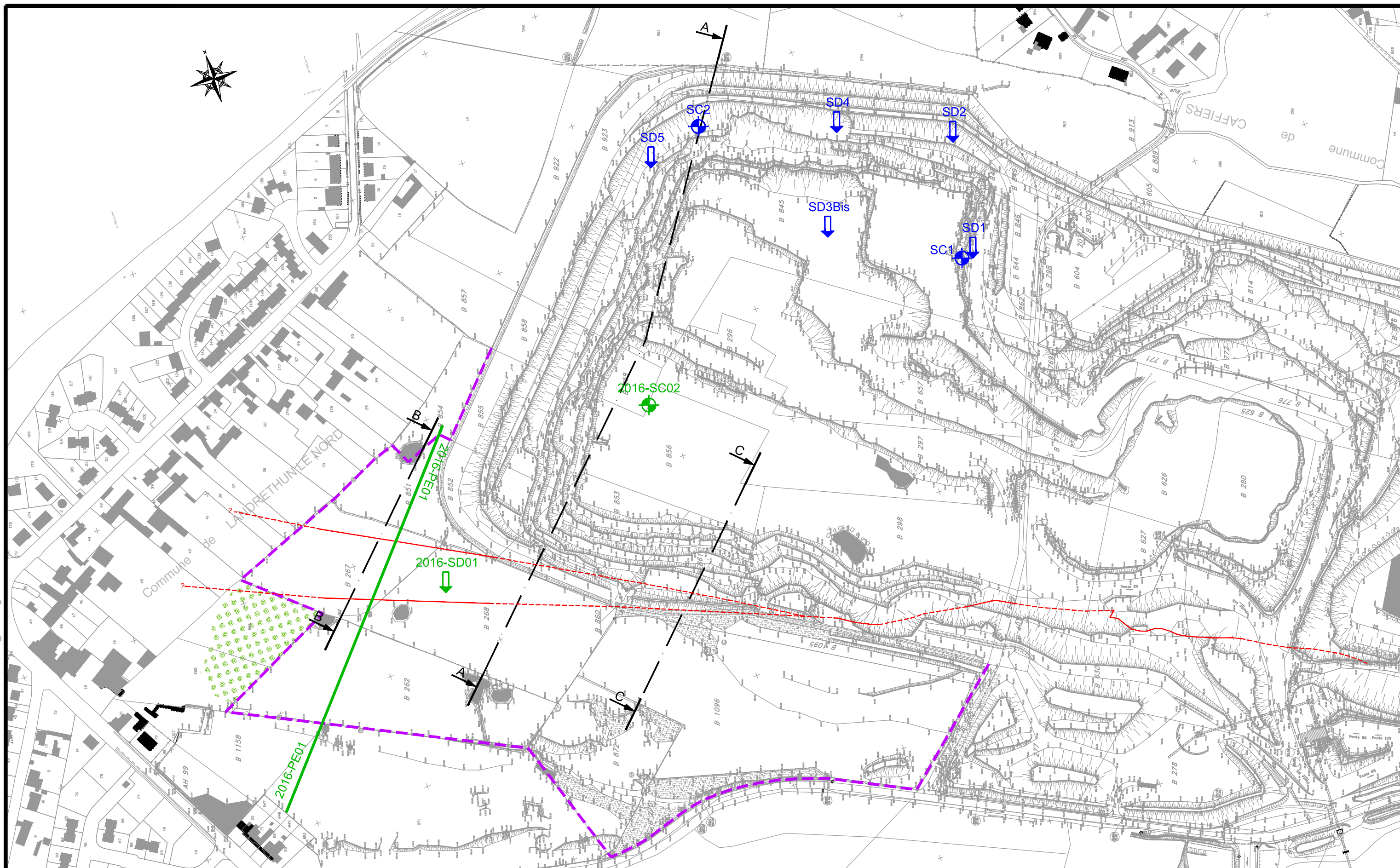
- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique 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

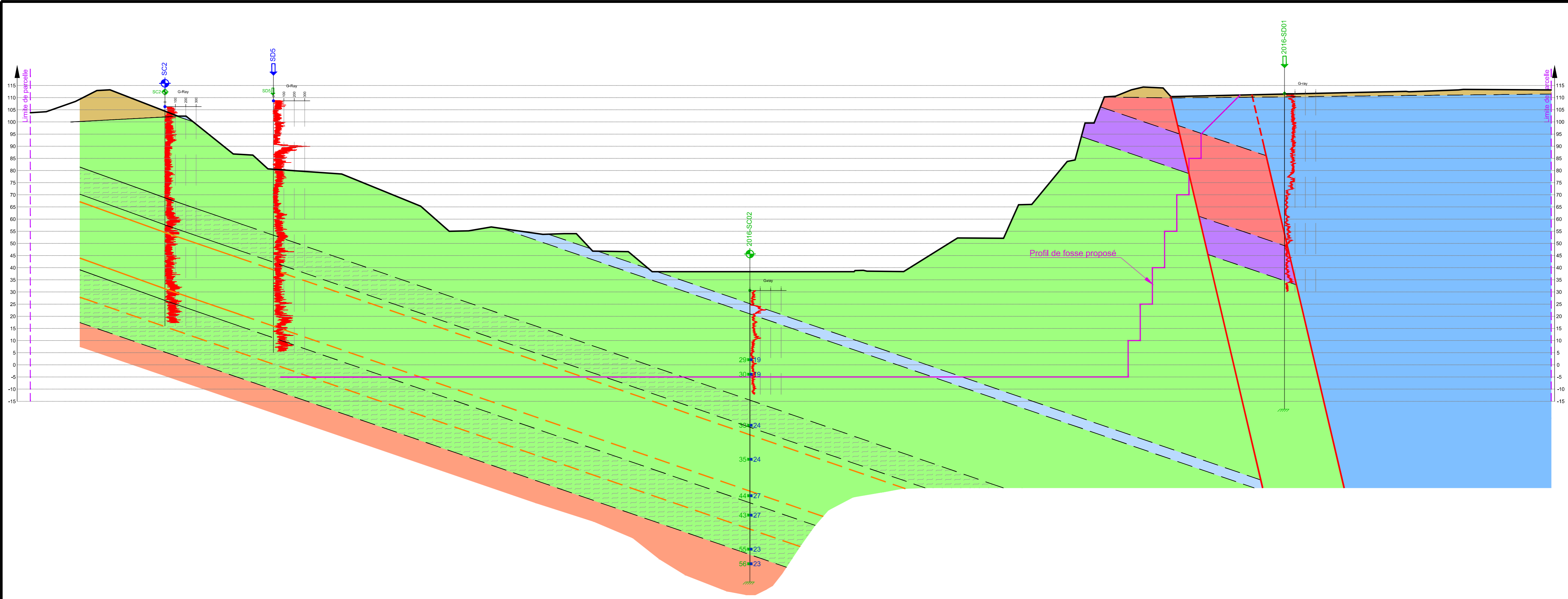


Carrière du Stinkal
Développement sud
Vue en plan



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
---	--

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

Gamma-ray

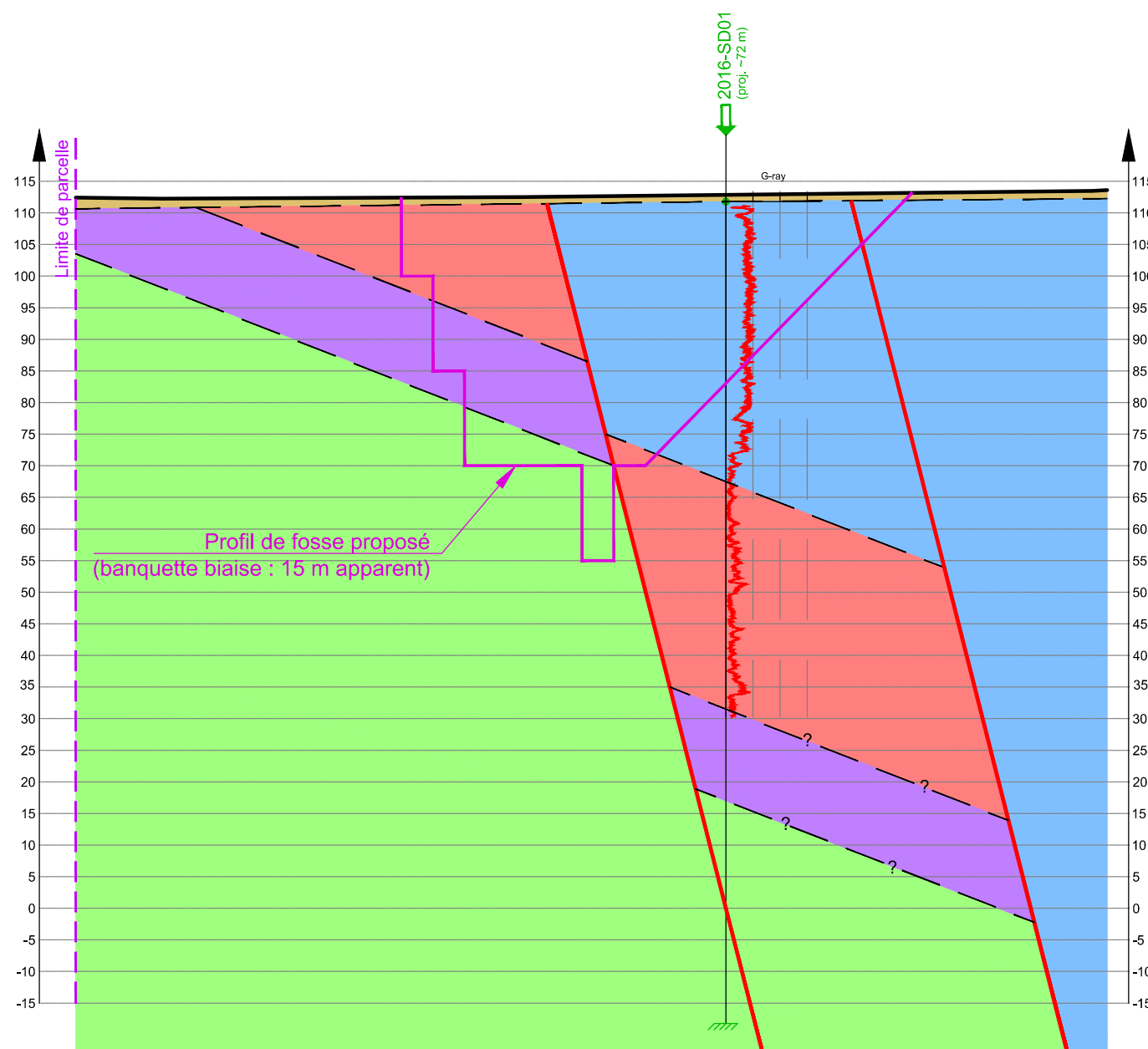
MDE LA

29 ■ 19

**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 du Stinkal\TS\37184-Stinkal_IndC.dwg



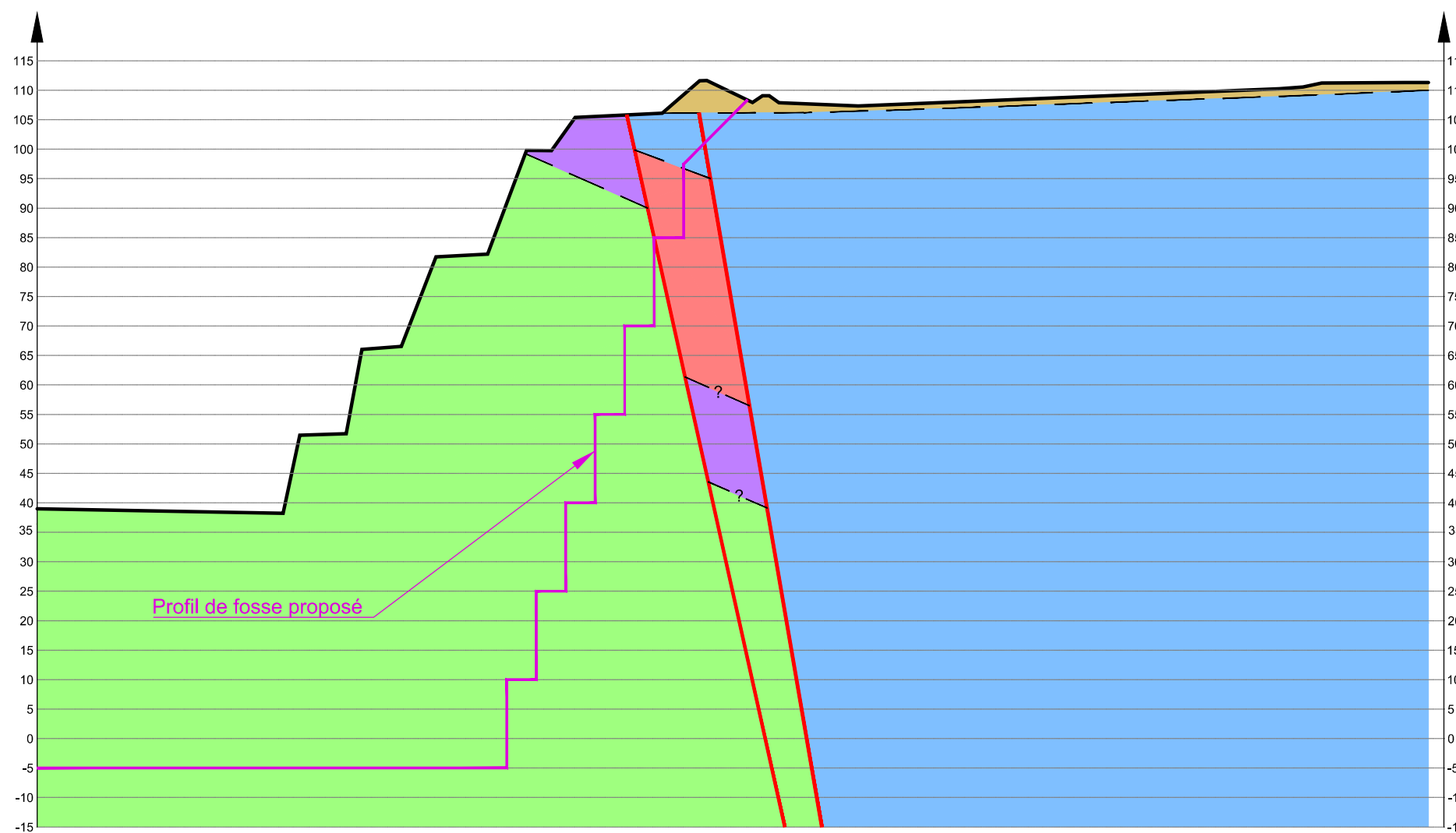
LEGENDE :

- Destructif
 - Carotté
- } 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 |
|---|---|--|

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**

terrasol
 setec

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



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

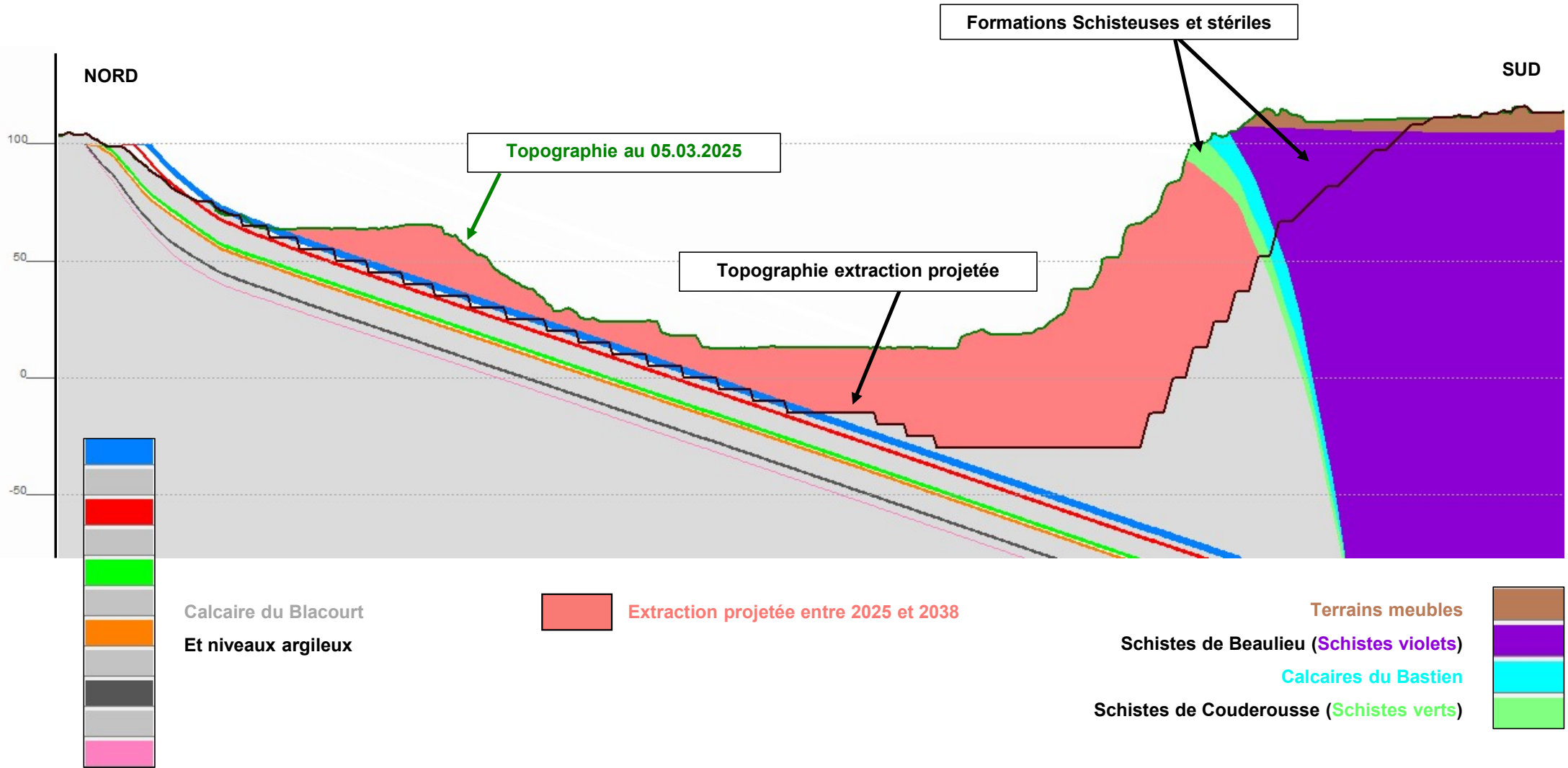
terrasol Tunisie

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



Annexe 3 : Rapport « Lagunes de valorisation de sédiments marins et fluviaux – AVP – Gestion des eaux » (Antea Group – réf. A130980 – Version F – 07/04/2026)



Eiffage - Baudelet

 **EIFFAGE**

Baudelet
environnement 

Lagunes de valorisation de sédiments marins et fluviaux

AVP – Gestion des eaux



Rapport n° A130980 /F – 7 avril 2026

Projet suivi par Cécile PRINCE – 06.16.91.42.69 – cecile.prince@anteagroup.fr

Fiche signalétique

Lagunes de valorisation de sédiments marins et fluviaux
AVP – Gestion des eaux

CLIENT

Eiffage - Baudelet

Branche Route - Région Nord Est
7 Rue Pierre HADOT 51100 Reims

Judith BOUCHAIN

+ 33 (0)6 30 17 66 59

judith.bouchain@eiffage.com

SITE

Carrière de Stinkal

RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet

Cécile PRINCE

Interlocuteur commercial

Nicolas KETELERS

Implantation chargée du suivi du projet

Rapport / version n°

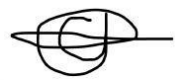

A130980 /F

Projet n°

NPCP240030

Votre commande et date

C508187806 du 11/04/24

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Cécile PRINCE	Ingénieur de projets	Avril 2026	
Approbation	Nicolas KETELERS	Directeur de Projet	Avril 2026	

SUIVI DES MODIFICATIONS

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	09/07/24	33	2	Version initiale
B	19/09/25	27	0	Version suite mesures, essais complémentaires et retours DREAL
C	17/11/25	26	0	Version suite retours DREAL sept.25
D	27/11/25	28	2	Version suite retours DREAL sept.25 et remarques Eiffage
E	15/12/25	28	3	Remarques Eiffage
F	07/04/26	28	4	Ajouts suite dde informations complémentaires DREAL du 20/02/26

Sommaire

1. Contexte et objectifs	5
2. Présentation du projet	7
3. Justification du scénario de gestion retenu.....	11
4. Caractérisation des effluents générés à l'échelle du projet (volume et qualité)	12
4.1. Volume généré par le ruissellement des eaux pluviales	12
4.2. Flux générés.....	12
4.2.1. Méthodologie et hypothèses	12
4.2.2. Résultats.....	15
5. Contraintes de rejet liées au milieu récepteur.....	18
5.1. Présentation du milieu récepteur	18
5.2. Débit et qualité.....	18
5.3. Etudes complémentaires réalisées.....	19
5.4. Flux admissibles par le milieu récepteur.....	22
5.4.1. Méthodologie.....	22
5.4.2. Résultats.....	22
6. Valeurs seuils retenues pour le rejet en eau.....	24
7. Filière de traitement.....	26
8. Conclusion	28

Table des figures

Figure 1 : Localisation de la plateforme de valorisation des sédiments	8
Figure 2 : Projet de plateforme de valorisation des sédiments à Stinkal (Eiffage)	9
Figure 3 : Localisation des stations de suivi de la qualité sur la masse d'eau de la Slack	19
Figure 4 : Schéma de synthèse de l'unité de traitement des eaux	27
Figure 5 : Exemple de filtres de 2 m ³ (Desotec)	27

Table des tableaux

Tableau 1 : Valeurs limites d'acceptation des <u>sédiments non dangereux</u> sur la plateforme de valorisation de Stinkal	7
Tableau 2 : Valeurs limites à respecter pour une valorisation des sédiments en remblai K3+ ou en technique routière sur l'éluat après lixiviation	9
Tableau 3 : Valeurs limites à respecter pour une valorisation des sédiments en remblai K3+ ou en technique routière sur contenu brut	10
Tableau 4 : Comparaison des critères d'acceptation, des critères de valorisation et des sédiments susceptibles d'être accueillis à Stinkal	14
Tableau 5 : Flux spécifiques et flux générés par le projet	16
Tableau 6 : Concentrations correspondant aux flux générés par le projet.....	16
Tableau 7 : Etat et objectifs d'état de la masse d'eau « Slack » (SDAGE Artois-Picardie 2022-2027 ...	18
Tableau 8 : Synthèse de la qualité biologique des milieux récepteurs à l'aval de Stinkal (Hydrosphère – février 2024)	19
Tableau 9 : Qualité du Crembreux à Marquise en août 2023 et en mai 2025	20
Tableau 10 : Qualité du Crembreux et valeurs guides retenues pour évaluer l'impact des rejets aqueux de la plateforme de gestion des sédiments	21
Tableau 11 : Flux maximaux admissibles par Le Crembreux et concentration correspondante dans le rejet	23
Tableau 12 : Valeurs seuils retenues et nécessité d'un traitement pour le rejet en eau	24
Tableau 13 : Valeurs seuils retenues pour le rejet des eaux de la plateforme de valorisation des sédiments	28

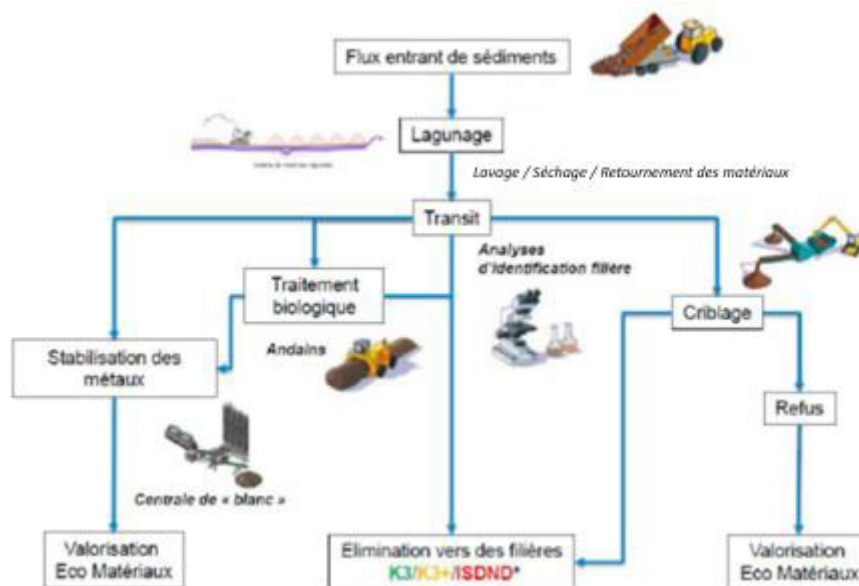
Table des annexes

Annexe I :	Tableau de synthèse des scénarios de gestion envisagés au stade faisabilité
Annexe II :	Rapport « Diagnostic hydrobiologique et piscicole » d'Hydrosphère de février 2024
Annexe III :	Note de caractérisation des cours d'eau du bassin versant de la Slack – Antea Group – Mars 2026
Annexe IV :	Exemple de fiche technique matériau adsorbant spécifique métaux

1. Contexte et objectifs

EIFFAGE et BAUDELET Environnement développent un projet confidentiel sur le site des carrières de Stinkal à Ferques, à savoir la modification du site pour la valorisation de sédiments fluviaux et marins. Comme le montre le logigramme ci-dessous, le projet consistera en un réaménagement partiel du site avec création de plusieurs lagunes destinées à accueillir des sédiments non inertes non dangereux pour ressuyage et retournement en vue, selon la qualité obtenue :

- D'une réutilisation en tant que matière première inerte pour la conception d'éco-matériaux par mélange avec des sables calcaires (STINKAL). Les éco-matériaux formulés seront des sables d'assainissement (agréés par le gestionnaire « NOREADE »), des terres fertiles ou des sables traités,
- D'une valorisation en tant que matériau de remblaiement dans le cadre de la remise en état de la carrière du Griset (K3/K3+),
- D'un stockage en tant que déchet non dangereux non inerte si le lagunage n'a pas permis d'atteindre les seuils visés (transfert vers le site de Blaringhem géré par BAUDELET ENVIRONNEMENT, ISDND/bio renforcé, éloignée de 60 km).



Les matériaux marins proviendraient des ports de Calais et Boulogne, distants de 20 km. Les sédiments fluviaux proviendraient du bassin Artois Picardie.

EIFFAGE a sollicité Antea Group / IRH Ingénieur conseil pour les accompagner au travers d'une mission de maîtrise d'œuvre. Celle-ci s'appuie sur les données déjà disponibles (Etude de l'évolution des sédiments par oxydation ; essais pilote menés par EIFFAGE accompagné de VALETUDES et visant au traitement de sédiments marins du port de Calais menés en 2022-2023 ; Note sur la caractérisation des effluents en sortie de lagune - Projet de valorisation des sédiments marins, Antea Group, 06/01/2023). Elle vise la conception et la réalisation des lagunes et des installations de traitement des eaux. Elle a pour but de définir, notamment :

- Les modalités de construction, le niveau d'étanchéité, le fonctionnement hydraulique et la stabilité géotechnique, au stade AVP, la phase PRO étant gérée par EIFFAGE INFRASTRUCTURES,
- Les modalités de traitement et de gestion des effluents générés, au stade AVP et PRO.

L'objet de ce rapport est de préciser au stade AVP les modalités de gestion des effluents générés par le projet. Il comprend les éléments suivants :

- Présentation du projet et des critères d'acceptation des sédiments,
- Justification du projet,
- Caractérisation des effluents générés à l'échelle du projet (volume et flux) sur la base des critères d'acceptation des sédiments,
- Etude des contraintes de rejet vers le milieu naturel (acceptabilité),
- Définition des valeurs seuils à retenir pour le rejet,
- Revue des traitement disponibles et filière de traitement retenue pour atteindre ces seuils.

2. Présentation du projet

De manière à gérer les sédiments marins et fluviaux non inertes non dangereux sur le site Stinkal de Ferques, le projet prévoit sur le site la création d'une plateforme de valorisation d'une capacité totale de 25 000 m³ par an, en réalisant deux campagnes par an (12 500 m³/campagne). Cette activité est soumise à autorisation au titre de la rubrique 2716 de la nomenclature ICPE.

Les sédiments marins dragués auront été préalablement égouttés bord à quai (hors périmètre de la plateforme, lié à l'opération de dragage) et présenteront une siccité de l'ordre de 75% (densité de 1,67). L'égouttage préalable des sédiments permet en effet de réduire notablement leur volume (environ 40%) et diminue d'autant le nombre de camions nécessaires pour transporter un même tonnage sec.

En plus de respecter les seuils de dangerosité des sédiments vis-à-vis des propriétés HP4 à HP8, HP10, HP11, HP13 et HP14, les sédiments non inertes non dangereux, quelle que soit leur origine, devront respecter les valeurs limites d'acceptation suivantes pour être accueillis sur le site de Stinkal.

Tableau 1 : Valeurs limites d'acceptation des sédiments non dangereux sur la plateforme de valorisation de Stinkal

Paramètres (sur éluât – après lixiviation)	Valeur limite à respecter (mg/kg M.S)
COT	500
Chlorures	30 000
Fluorures	10
Sulfates	5 000
Indices phénols	0,5
Fraction soluble	50 000
Antimoine (Sb)	0,3
Arsenic (As)	0,2
Baryum (Ba)	1
Cadmium (Cd)	0,1
Chrome (Cr)	0,1
Cuivre (Cu)	0,2
Molybdène (Mo)	2
Nickel (Ni)	0,1
Plomb (Pb)	0,1
Sélénium (Se)	0,1
Zinc (Zn)	0,5
Mercure (Hg)	0,005
TBT	0,1
Paramètres (sur contenu brut)	Valeur limite à respecter (mg/kg M.S)
COT	60 000
Hydrocarbures totaux (C10-C40)	2500
HAP (16)	100
BTEX	20
PCB (7 congénères)	1

Après validation du respect des critères d'acceptation sur la plateforme, les sédiments seront transportés sur le site de Stinkal. La plateforme de valorisation de Stinkal présentera les ouvrages suivants (voir figures suivantes) :

- Deux lagunes étanches d'une capacité unitaire de 6 250 m³ et d'une surface unitaire de 6 250 m². Chaque lagune sera équipée d'un réseau de drains en fond. La première lagune accueillera des sédiments marins et la seconde lagune accueillera des sédiments fluviaux. Les sédiments y seront alors ressuyés et retournés sur une période maximale de 6 mois.
- Un bassin étanche de stockage des eaux de ressuyage et de ruissellement (eaux pluviales). Collectées par des drains dans les lagunes, les eaux de ressuyage et de ruissellement seront acheminées vers le bassin par un dispositif de relevage. Ce bassin aura une capacité de 2 900 m³ pour une surface de 2000 m². Il pourra être divisé en deux zones identiques par un merlon, une zone de bassin étant dédiée aux eaux d'une lagune donnée, ce qui permettrait d'isoler les eaux issues de chaque lagune si besoin. Chaque zone du bassin pourra être connectée par une canalisation munie d'une vanne de sectionnement à un regard commun depuis lequel les eaux seront reprises par un dispositif de relevage.
- Une unité de traitement des eaux de ressuyage et de ruissellement, principalement chargées en chlorures, sodium et sulfates, voire en métaux. Les eaux traitées seront rejetées vers un regard depuis lequel elles seront reprises par un dispositif de relevage et envoyées vers le fossé SNCF Ouest (ou ruisseau des Broustats), plus exactement à l'aval immédiat du préleveur automatique des eaux d'exhaure (rejet C). Le fossé SNCF Ouest rejoint ensuite Le Crembreux, affluent de la Slack. Il est prévu la possibilité de retourner les effluents après l'unité de traitement vers le bassin de stockage en cas de non-respect des valeurs seuils fixées.



Figure 1 : Localisation de la plateforme de valorisation des sédiments

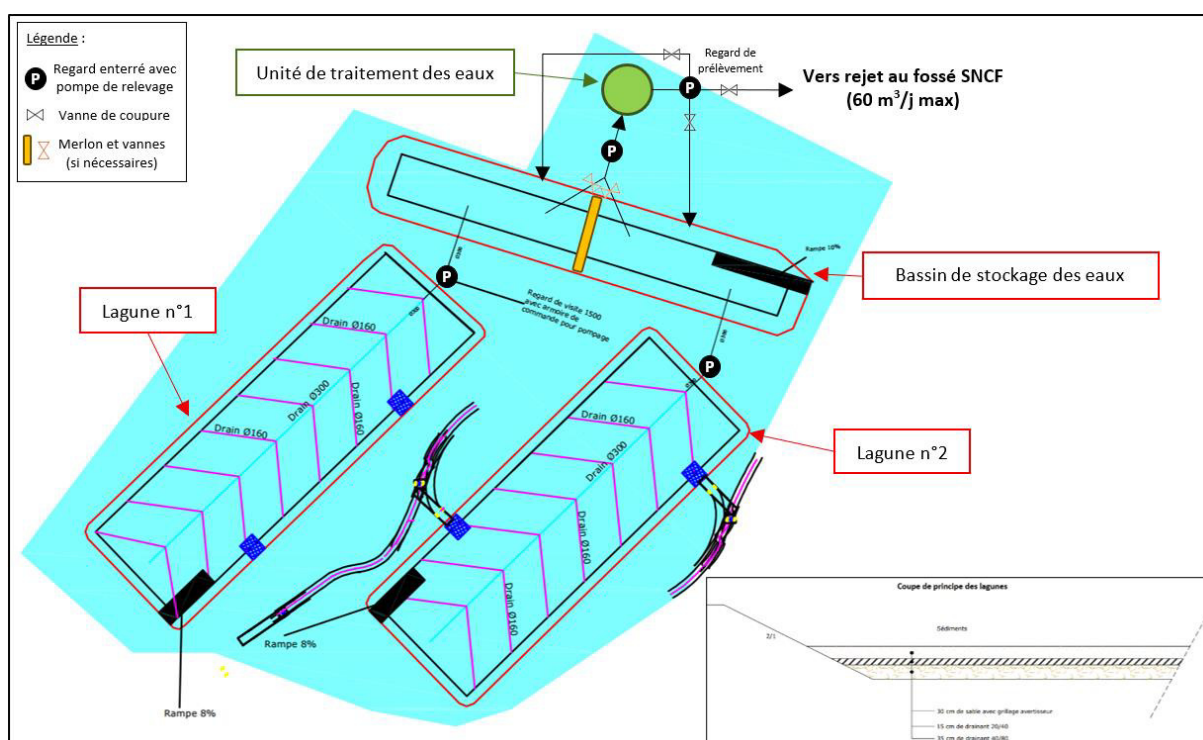


Figure 2 : Projet de plateforme de valorisation des sédiments à Stinkal (Eiffage)

Après analyse, les sédiments seront curés à la pelle mécanique puis transportés, selon les résultats d'analyses, vers un des trois exutoires identifiés précédemment (valorisation routière, valorisation en remblaiement K3+ dans le cadre de la remise en état du site, plateforme BAUDELET).

Tableau 2 : Valeurs limites à respecter pour une valorisation des sédiments en remblai K3+ ou en technique routière sur l'éluât après lixiviation

Paramètres (sur éluât – après lixiviation)	Valeurs limites à respecter (mg/kg M.S)	Valeurs limites à respecter (mg/kg M.S)
	Remblai K3+ GRISET	Technique routière
COT	500	500
Chlorures	2 400	800
Fluorures	30	10
Sulfates	3 000	1000
Indices phénols	3	1
Fraction soluble	12 000	4000
Antimoine (Sb)	0,18	0,06
Arsenic (As)	1,5	0,5
Baryum (Ba)	60	20
Cadmium (Cd)	0,12	0,04
Chrome (Cr)	1,5	0,5
Cuivre (Cu)	3	2
Molybdène (Mo)	1,5	0,5
Nickel (Ni)	1,2	0,4
Plomb (Pb)	1,5	0,5
Sélénium (Se)	0,3	0,1
Zinc (Zn)	12	4
Mercuré (Hg)	0,03	0,01

Tableau 3 : Valeurs limites à respecter pour une valorisation des sédiments en remblai K3+ ou en technique routière sur contenu brut

Paramètres (sur contenu brut)	Valeurs limites à respecter (mg/kg M.S) K3+ GRISET	Valeurs limites à respecter (mg/kg M.S) Technique routière
COT	60 000	30 000
Hydrocarbures totaux (C10-C40)	500	500
HAP (16)	50	50
BTEX	6	6
PCB (7 congénères)	1	1

Ce rapport a pour objet la caractérisation des eaux générées (quantitative et qualitative) et des traitements à mettre en place pour respecter les valeurs seuils retenues en vue de maintenir ou d'atteindre le bon état du milieu récepteur.

3. Justification du scénario de gestion retenu

Divers scénarios de gestion des sédiments ont été étudiés (voir tableau de synthèse en annexe), avec un scénario initial de base comprenant un égouttage puis un ressuyage des sédiments marins sur le site de Stinkal. Les scénarios complémentaires cherchant à réduire les impacts du projet sur le milieu récepteur se sont basés sur :

- Une réduction du débit rejeté :
 - Par une augmentation du volume de stockage dans le bassin (rejet passant de 120 m³/j à 60 m³/j en passant d'un volume de bassin de 1545 m³ à 2900 m³),
 - Par une couverture des lagunes par des serres mobiles lors de la phase d'égouttage (rejet passant de 120 m³/j à 60 m³/j),
 - Par une réutilisation directe des effluents générés, à hauteur de 30 m³/j, pour un usage de brumisation sur le site de Stinkal (rejet passant à 30 m³/j),
- Une suppression de l'égouttage des sédiments sur le site Stinkal pour privilégier un égouttage bord à quai (hors périmètre). L'égouttage préalable des sédiments permettrait de réduire leur volume d'environ 40% et diminuerait d'autant le nombre de camions nécessaires pour transporter un même tonnage sec de sédiments à Stinkal. La capacité des lagunes étant fixe, un pré-égouttage à l'amont permet in fine d'accueillir plus de tonnage sec de sédiments.
- Une limitation de la proportion d'accueil de sédiments marins à 50% de la capacité des lagunes (réduction d'un facteur deux des flux en sels générés– chlorures, sodium).

Les flux générés dans certains scénarios, notamment en chlorures, nécessitaient un traitement par osmose inverse pour préserver le milieu à l'aval. Cette solution semble déraisonnable au regard du coût des traitements (700 à 1 000 000 € HT d'investissement et 400 à 900 000 €HT/an d'exploitation) et de leurs impacts environnementaux (consommation énergétique, gestion des concentrats, trafic lié à l'élimination des concentrats).

Par ailleurs, la réutilisation des effluents générés pour un usage de brumisation sur le site de Stinkal (traités ou non) n'apparaît pas non plus pertinente au regard de l'infiltration possible des effluents vers le sous-sol et la nappe.

Enfin, le bassin pourra être divisé en deux zones identiques par un merlon, une zone de bassin étant dédiée aux eaux d'une lagune donnée, ce qui permettrait d'isoler les eaux correspondantes si besoin.

C'est pourquoi le projet retenu intègre :

- un égouttage des sédiments préalable bord à quai,
- un volume de stockage important permettant de limiter le débit rejeté à 60 m³/j maximum,
- une limitation de la proportion d'accueil de sédiments marins à une seule lagune (50% de la capacité totale de traitement),
- la possibilité de diviser le bassin de stockage des eaux en deux zones (une zone par lagune).

4. Caractérisation des effluents générés à l'échelle du projet (volume et qualité)

4.1. Volume généré par le ruissellement des eaux pluviales

Le volume d'eau généré par le ruissellement des eaux pluviales est proportionnel à la superficie des lagunes et bassins considérés à l'échelle du projet, et non à la quantité de sédiments stockés.

Les calculs sont effectués sur la base de :

- Une surface de lagunes de 12 500 m² (2 lagunes de 6 250 m²).
- Un bassin de stockage des eaux d'une surface de 2000 m².

Sont uniquement prises en compte les eaux pluviales générées par les surfaces des lagunes et du bassin de stockage des eaux.

Le volume d'eaux pluviales généré est évalué avec la pluviométrie journalière au cours de l'essai pilote (de mai 2023 à avril 2024), la pluviométrie de la période étant plutôt défavorable (forte pluviométrie). Sur cette base, le volume total d'eaux issues des eaux pluviales est estimé à environ **15 500 m³ sur l'année.**

Sur cette base, pour un pompage max. de 60 m³/j (45 m³/j en moyenne), en supposant qu'un pompage a lieu dès qu'il y a de l'eau dans le bassin, le volume à stocker est de 2 900 m³.

A noter que la doctrine sur la gestion des eaux pluviales au sein des ICPE soumises à Autorisation de la DREAL Hauts de France de 2017 indique, pour le bassin versant de la Slack, de prendre en compte une pluie centennale avec un débit de fuite de 2 l/s/ha. Le débit de 60 m³/j (0,5 l/s/ha) est bien inférieur au débit de fuite imposé. Pour un tel débit et une surface de 14 500 m², un volume d'environ 1950 m³ est nécessaire. Le bassin prévu de 2 900 m³ est donc largement capacitaire pour gérer la pluie centennale.

Un bassin de stockage des eaux de 2900 m³ permettra donc de conserver un volume tampon d'environ 1000 m³ sans que cela remette en cause la gestion de la pluie centennale.

4.2. Flux générés

4.2.1. Méthodologie et hypothèses

L'estimation des flux générés est basée sur les résultats d'analyses des eaux générées dans le cadre de l'essai pilote réalisé par Eiffage de 2023 à 2024 pour évaluer le comportement des sédiments marins non dangereux non inertes soumis par action mécanique (retournement) aux conditions climatiques (pluie, vent, soleil).

La représentativité de ces analyses se justifie par le fait que les critères d'acceptation des sédiments définis précédemment au §2 ont été établis pour correspondre à la fois (voir tableau ci-dessous) :

- Aux caractéristiques des sédiments marins accueillis lors de l'essai pilote (prélèvement bord à quai dans le bassin Carnot du Port de Calais en mai 2023).

- Aux caractéristiques des sédiments marins (prélèvement en plusieurs points du bassin Carnot du Port de Calais en 2024) et fluviaux utilisés dans le cadre des essais statiques et cinétiques d'évaluation et de correction du caractère acidogène des sédiments.
- Aux caractéristiques des sédiments marins trouvées dans la bibliographie (principalement le rapport Qualité chimique des sédiments marins en France : Synthèse des bases de données disponibles de l'INERIS de 2010).
- Aux caractéristiques des sédiments fluviaux de la région déjà rencontrés par Eiffage dans le cadre de divers chantiers (canal d'Ardres, canal de Bourbourg, canal de Neufossé, canal d'Aire à Béthune, ...)

Le tableau page suivante permet de mettre en évidence que :

- Concernant les paramètres sur éluat, la plupart des valeurs limites des critères d'acceptation de Stinkal, choisies sur la base de la caractérisation réelle et bibliographique des sédiments, sont inférieures aux critères de valorisation K3+ et de valorisation en technique routière excepté pour les chlorures, les sulfates, la fraction soluble, l'antimoine et le molybdène.
- Pour les paramètres sur contenu brut, seule la valeur limite d'acceptation sur Stinkal en PCB respecte les critères de valorisation en K3+ ou en technique routière. Les HAP, BTEX et HCT présentent des valeurs limites d'acceptation à Stinkal bien plus élevées que les critères de valorisation.
- Les sédiments de l'essai pilote présentent des teneurs en métaux sur le contenu total bien plus élevées que l'échantillon prélevé pour les essais statiques et que les valeurs trouvées dans la bibliographie. Pour autant, les teneurs en métaux lixiviables restent faibles, voire ne sont pas quantifiées, autant sur les sédiments prélevés pour le pilote que sur les sédiments prélevés pour les essais statiques. Pour les métaux lixiviables quantifiés (antimoine, baryum, molybdène, zinc), les teneurs sur les sédiments prélevés pour le pilote sont malgré tout supérieures à celles des sédiments prélevés pour les essais statiques.

Ainsi, les paramètres lixiviables et donc susceptibles d'être émis dans l'eau sont ainsi essentiellement des chlorures et des sulfates, et dans une moindre mesure du molybdène et de l'antimoine. Les hydrocarbures totaux, HAP et BTEX, substances non lixiviables, seront essentiellement traitées par retournement des sédiments.

Tableau 4 : Comparaison des critères d'acceptation, des critères de valorisation et des sédiments susceptibles d'être accueillis à Stinkal

Paramètres	Critères acceptation Stinkal	Valorisation K3+ GRISET	Valorisation en technique routière	PILOTE - Sédiments marins Prélèvement bord à quai dans le bassin Carnot		Essais statiques & cinétiques		Bibliographie INERIS – Sédiments Marins		Sédiments fluviaux régionaux Données Eiffage	
				09/05/23 A réception	01/06/23 Après égouttage	Marin Bassin Carnot 11/10/24	Fluvial 11/10/24	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
				SUR ELUAT – APRES LIXIVIATION – en mg/kgMS							
COT	500	500	500	90,7	64,1	NA	NA	NA	NA	187	129
Chlorures	30 000	2 400	800	15 800	10 900	11 000	61,1	NA	NA	244	321
Fluorures	10	30	10	<5	<5	NA	NA	NA	NA	<5	0,7
Sulfates	5 000	3 000	1 000	2 300	3 290	1 510	<50,3	NA	NA	956	580
Indices phénols	0,5	3	1	<0,5	<0,5	NA	NA	NA	NA	<0,5	0
Fraction soluble	50 000	12 000	4 000	33 600	26 200	NA	NA	NA	NA	3 587	3 482
Antimoine (Sb)	0,3	0,18	0,06	0,17	0,13	0,11	0,026	NA	NA	0,034	0,016
Arsenic (As)	0,2	1,5	0,5	<0,1	<0,1	0,115	<0,101	0,087	0,092	0,084	0,042
Baryum (Ba)	1	60	20	0,38	0,86	0,137	0,118	NA	NA	0,334	0,194
Cadmium (Cd)	0,1	0,12	0,04	<0,1	<0,01	<0,002	<0,002	0,0032	0,0018	<0,002	0
Chrome (Cr)	0,1	1,5	0,5	<0,1	<0,01	<0,10	<0,10	0,078	0,087	<0,1	0
Cuivre (Cu)	0,2	3	2	<0,1	<0,01	<0,100	<0,101	0,03	0	0,099	0,088
Molybdène (Mo)	2	1,5	0,5	1,53	0,79	0,623	0,051	NA	NA	0,061	0,026
Nickel (Ni)	0,1	1,2	0,4	<0,1	<0,1	<0,100	<0,101	0,03	0	0,05	0,01
Plomb (Pb)	0,1	1,5	0,5	<0,1	<0,1	<0,100	<0,101	0,023	0,004	<0,1	0
Sélénium (Se)	0,1	0,3	0,1	<0,05	<0,05	<0,01	0,03	NA	NA	0,051	0,013
Zinc (Zn)	0,5	12	4	<0,1	0,24	<0,100	<0,101	0,03	0	0,104	0,111
Mercure (Hg)	0,005	0,03	0,01	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	0,009	0,0004	0,001	0,002
TBT	0,1	NC	NC	<0,02	<0,1	NA	NA	0,0001	0,0003	NA	NA
SUR CONTENU BRUT – en mg/kgMS											
COT	60 000	60 000	30 000	48 700	20 700	28 900	44 800	26 013	20 536	20 419	13 730
Antimoine (Sb)	NC	NC	NC	NA	NA	2,8	<1.02	NA	NA	NA	NA
Arsenic (As)	330*	NC	NC	23,9	31,4	11,9	3,87	13,85	9,22	5,56	1,30
Baryum (Ba)	NC	NC	NC	NA	NA	43,8	53,4	NA	NA	NA	NA
Cadmium (Cd)	530*	NC	NC	13,9	19,7	4,47	0,56	0,6	0,92	0,64	0,16
Chrome (Cr)	250 (Cr VI)*	NC	NC	35,5	38,1	19,1	16	56,2	46,7	21,9	7,3
Cuivre (Cu)	4 000*	NC	NC	172	132	94,8	16,4	85,2	161	18,0	7,9
Molybdène (Mo)	NC	NC	NC	NA	NA	2,38	<1.02	NA	NA	NA	NA
Nickel (Ni)	130*	NC	NC	14,1	15,9	9,7	11,4	23,6	21,2	13,5	5,3
Plomb (Pb)	1 000*	NC	NC	941	1370	276	27,7	56,6	78,2	26,7	6,8
Sélénium (Se)	NC	NC	NC	NA	NA	<1.00	<1.02	NA	NA	NA	NA
Zinc (Zn)	7 230*	NC	NC	4461	6420	1650	122	219	249	109,1	46,0
Mercure (Hg)	500*	NC	NC	2,13	4,18	0,5	<0.10	0,5	4,39	0,20	0,07
Hydrocarbures totaux (C10-C40)	2 500	500	500	150	86	329	254	410	863	253	145
Somme des HAP	100	50	50	39	40,06	3,1	1,9	5,36	16,1	6,04	6,95
BTEX	20	6	6	<0,25	<0,25	NA	NA	NA	NA	0,24	0,12
7 PCB	1	1	1	0,17	0,13	NA	NA	0,139	0,239	0,010	0,016
TBT	3 000*	NC	NC	<0,02	<0,1	NA	NA	1,006	7,048	NA	NA

* seuils de dangerosité des sédiments vis-à-vis des propriétés HP4 à HP8, HP10, HP11, HP13 et HP14

NC : Non Concerné// NA : Non Analysé

Lors de l'essai pilote, une augmentation progressive du zinc lixiviable a été constatée sur les sédiments et le zinc a été quantifié dans les eaux. Ce phénomène s'explique par une présence marquée de sulfures métalliques dans les sédiments du pilote, surtout en sulfures de zinc, qui subissent une oxydation à la suite du dragage et des retournements en lagune provoquant une acidification et un relargage des sulfates et des éléments traces métalliques (ETM). Ces sulfates et ETM sont ensuite lavés par les eaux météoriques. La présence marquée de sulfures de zinc dans les sédiments du pilote se traduit par une teneur élevée en zinc sur le contenu total, qui n'a pas été retrouvée dans ces proportions lors des prélèvements ultérieurs pour les essais statiques et cinétiques et ne semble pas représentative d'après la bibliographie. Le prélèvement des sédiments de l'essai pilote ayant été réalisé bord à quai, la présence marquée de sulfures de zinc peut s'expliquer par les activités historiques de transbordement de pondéreux chargé en sulfures métalliques, probablement réalisées bord à quai, liées aux approvisionnements des industries locales.

Il sera donc supposé dans la suite que, pour les sédiments marins, le phénomène de libération des sulfates et ETM n'a pas lieu dans les proportions observées sur le pilote à l'échelle d'un volume de dragage de plusieurs milliers de m³ (flux émis divisé par 3 pour les sulfates et divisé par 8 pour le zinc par rapport aux valeurs du pilote).

De plus, la caractérisation des sédiments fluviaux du tableau précédent montre :

- Des teneurs en chlorures lixiviables quasi-nulles en comparaison de celles des sédiments marins (> 10 000 mg/kgMS contre 244 mg/kgMS).
- Des teneurs en sulfates lixiviables également bien moindres.
- Des teneurs en zinc lixiviables équivalentes (0,1 mg/kgMS) mais des teneurs en contenu total bien moindre que les sédiments marins (env. 5 000 et 1 650 mg/kgMS contre environ 100 mg/kgMS).

Les essais statiques ont par ailleurs permis de mettre en évidence une teneur en sulfates maximale libérable (sulfates à l'acide contexte pyrite) par les sédiments fluviaux (1260 mg/kgMS) bien inférieure (facteur 4,1) à la valeur mesurée sur les sédiments marins des essais statiques (5 190 mg/kgMS). Les sédiments fluviaux libéreront 4 fois moins de sulfates et donc au moins 4 fois moins de zinc que les sédiments marins. **Il sera donc supposé que les sédiments fluviaux n'émettent pas de chlorures et émettent des sulfates et du zinc en quantités diminuées d'un facteur 4 par rapport aux sédiments marins.**

4.2.2. Résultats

Sur la base des résultats d'analyses des eaux générées dans le cadre de l'essai pilote mené par Eiffage de 2023 à 2024, des flux spécifiques d'émission ont été déterminés en vue d'évaluer les flux générés par le projet. Le sodium, principal constituant d'eau de mer avec les chlorures et les sulfates est ajouté à la liste des paramètres déjà établis. Il est supposé que les sédiments fluviaux se comporteront de la même façon que les sédiments marins, hormis pour les chlorures, le sodium (absence d'émission pour les sédiments fluviaux) et les sulfates et le zinc (4 fois moins d'émission que les sédiments marins). Les flux spécifiques, exprimés en kg/mm/tMS, correspondent à la quantité du paramètre émise lors du ruissellement d'une pluie de 1 mm sur une tonne sèche de sédiments.

Les flux générés ont été évalués sur la base de ces flux spécifiques, de la pluviométrie importante constatée sur la période du pilote (mai-23 à avril-24) et d'un tonnage total de 16 070 tMS de sédiments stockés dans les lagunes (50% sédiments marins- 50% sédiments fluviaux – 12 500 m³ de sédiments égouttés avec une siccité de 77% et une densité de 1,67). Ils sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Flux spécifiques et flux générés par le projet

Paramètres	Flux spécifique sédiments marins (kg/mm/tMS)	Flux spécifique sédiments fluviaux (kg/mm/tMS)	Flux moyen généré par le projet (kg/j) 45 m ³ /j	Flux max. généré par le projet (kg/j) 60 m ³ /j
Sodium	0,0068	0	170	226
MES	15 mg/l		0,675	0,900
DCO	9,8.10 ⁻⁵		4,9	6,5
COT	1,1.10 ⁻⁴		5,5	7,5
Chlorures	0,0109	0	272	362
Fluorures	3,2.10 ⁻⁶		0,160	0,214
Sulfates	0,0025	0,00062	77,9	104
Antimoine (Sb)*	6,75.10 ⁻⁸		0,0035	0,0045
Arsenic (As)*	4,5.10 ⁻⁸		0,0023	0,0030
Baryum (Ba)	4,7.10 ⁻⁸		0,0023	0,0031
Cadmium (Cd)*	2,3.10 ⁻⁸		0,0011	0,0015
Chrome (Cr)*	2,3.10 ⁻⁸		0,0011	0,0015
Cuivre (Cu)*	4,6.10 ⁻⁸		0,0022	0,0030
Molybdène (Mo)	3,8.10 ⁻⁸		0,0019	0,0025
Nickel (Ni)*	2,3.10 ⁻⁸		0,0011	0,0015
Plomb (Pb)*	4,5.10 ⁻⁸		0,0023	0,0030
Sélénium (Se)*	9,0.10 ⁻⁸		0,0046	0,0060
Zinc (Zn)	3,74.10 ⁻⁷	9,35.10 ⁻⁸	0,0116	0,0155
Mercure (Hg)*	4,5.10 ⁻¹⁰		0,000023	0,000030
HCT	Non suivi sur les eaux		Non déterminé	
HAP*	3,9.10 ⁻¹¹		2,0.10 ⁻⁶	2,6.10 ⁻⁶
Benzo(a)pyrène*	2,3.10 ⁻¹¹		1,1.10 ⁻⁶	1,5.10 ⁻⁶
Fluoranthène*	2,3.10 ⁻¹¹		1,1.10 ⁻⁶	1,5.10 ⁻⁶
Naphtalène*	1,1.10 ⁻¹¹		5,6.10 ⁻⁷	7,5.10 ⁻⁷
BTEX*	1,4.10 ⁻⁸		0,00068	0,00090
Benzène*	2,3.10 ⁻⁹		0,00011	0,00015
PCB*	7,9.10 ⁻¹¹		4,0.10 ⁻⁶	5,3.10 ⁻⁶
TBT*	4,5.10 ⁻¹¹		2,3.10 ⁻⁶	3,0.10 ⁻⁶

*paramètres non quantifiés dans les eaux sur le pilote. La LQ/2 a été utilisée pour déterminer le flux spécifique.

Le tableau ci-dessous présente les concentrations correspondant aux flux générés par le projet.

Tableau 6 : Concentrations correspondant aux flux générés par le projet

Paramètres	Unités	Concentration pour le flux moy.	Concentration pour le flux. max
Sodium	mg/l	3 778	3 767
MES	mg/l	15,0	15,0
DCO	mg/l	108,9	108,3
COT	mg/l	122	125
Chlorures	mg/l	6 044	6 033
Fluorures	mg/l	3,6	3,6
Sulfates	mg/l	1 731	1 733
Antimoine (Sb)*	µg/l	76,7	75,0
Arsenic (As)*	µg/l	51,1	50,0

Paramètres	Unités	Concentration pour le flux moy.	Concentration pour le flux. max
Baryum (Ba)	µg/l	51,1	51,7
Cadmium (Cd)*	µg/l	24,4	25,0
Chrome (Cr)*	µg/l	24,4	25,0
Cuivre (Cu)*	µg/l	48,9	50,0
Molybdène (Mo)	µg/l	42,2	41,7
Nickel (Ni)*	µg/l	24,4	25,0
Plomb (Pb)*	µg/l	51,1	50,0
Sélénium (Se)*	µg/l	102	100
Zinc (Zn)	µg/l	258	258
Mercure (Hg)*	µg/l	0,51	0,50
HCT	-	ND	ND
HAP*	µg/l	0,04	0,04
Benzo(a)pyrène*	µg/l	0,02	0,03
Fluoranthène*	µg/l	0,02	0,03
Naphtalène*	µg/l	0,01	0,01
BTEX*	µg/l	15,1	15,0
Benzène*	µg/l	2,4	2,5
PCB*	µg/l	0,09	0,09
TBT*	µg/l	0,05	0,05

*paramètres non quantifiés dans les eaux sur le pilote. La LQ/2 a été utilisée pour déterminer le flux spécifique.

Les concentrations du rejet brut en sodium, chlorures et sulfates sont relativement élevées par rapport à des eaux douces mais environ trois fois moindres que celles d'eau de mer (10 000 mg/l pour le sodium, 19 000 mg/l pour les chlorures et 2 650 mg/l pour les sulfates). Les autres concentrations sont plutôt faibles.

5. Contraintes de rejet liées au milieu récepteur

5.1. Présentation du milieu récepteur

Le site des carrières de Stinkal dispose actuellement de trois points de rejet (un rejet d'eaux d'exhaure et deux rejets d'eaux de ruissellement) vers le fossé SNCF Ouest (ou ruisseau des Broustats), qui se rejette en aval dans le cours d'eau « Le Crembreux », affluent de la Slack.

La masse d'eau de surface de référence sur le secteur est la masse d'eau de surface naturelle (cours d'eau) : FRAR53 « SLACK ».

Les objectifs retenus par le SDAGE du bassin Artois-Picardie 2022-2027 concernant cette masse d'eau sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 7 : Etat et objectifs d'état de la masse d'eau « Slack » (SDAGE Artois-Picardie 2022-2027)

N°	Nom de la masse d'eau	État écologique		Objectifs d'état écologique		
FRAR53	Slack	État écologique moyen		Bon état écologique 2027		
N°	Nom de la masse d'eau	État chimique de la masse d'eau de surface		Objectifs d'état chimique de la masse d'eau de surface		
		Avec subst. Ubiq.	Sans subst. Ubiq.	Avec subst. Ubiq.	Sans subst. Ubiq.	Motif de dérogation
FRAR53	Slack	Mauvais état chimique	Bon état chimique	Bon état chimique 2033	Bon état chimique 2015	Report pour faisabilité technique Pollutions par des substances ubiquistes

L'état écologique moyen actuel de la Slack est lié d'une part à un état biologique moyen mais aussi à un état physico-chimique moyen en lien avec les nutriments (orthophosphates et phosphore) et l'arsenic.

Par ailleurs, le SAGE du Boulonnais, qui concerne cette zone hydrographique, impose dans son règlement de 2013 (article I) que *les rejets [...] doivent être compatibles avec l'objectif de qualité de bon état fixé pour 2015 par le SDAGE pour les cours d'eau principaux du Boulonnais (Liane, Wimereux, Slack) sur la base d'un calcul de dilution calé sur le débit d'étiage quinquennal.*

5.2. Débit et qualité

Aucune station de suivi de la qualité n'existe sur le cours d'eau « Le Crembreux ».

Les deux seules stations présentes sur masse d'eau sont localisées sur la Slack, à l'amont à Rinxent et à l'aval à Ambleteuse (voir figure ci-dessous).

Sur les quatre stations de suivi du débit identifiées sur Hydroportail pour la masse d'eau (2 sur la Slack, 1 sur le Crembreux et 1 sur le ruisseau de Bazhingen), seule la station de la Slack à Rinxent dispose de données permettant d'évaluer les débits caractéristiques, notamment le débit d'étiage (QMNA5) évalué à 46 l/s pour la période 1980-2024.

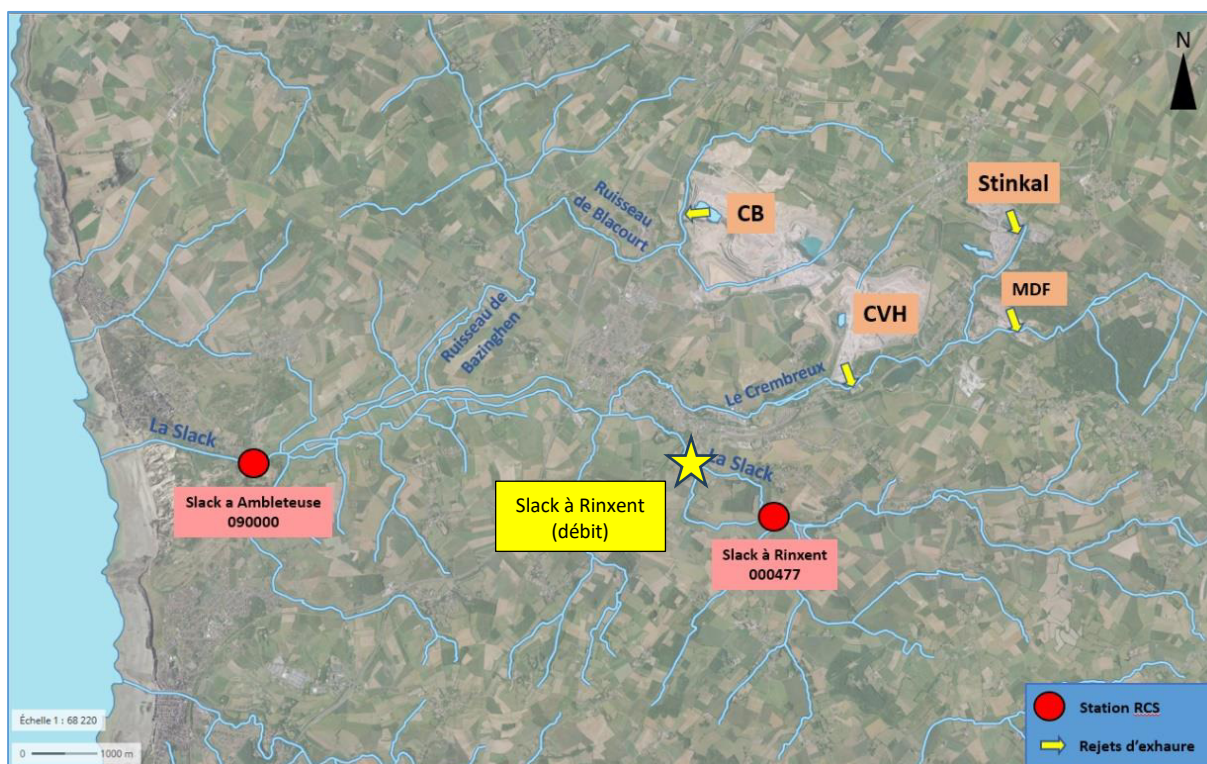


Figure 3 : Localisation des stations de suivi de la qualité sur la masse d'eau de la Slack

5.3. Etudes complémentaires réalisées

De manière à bien caractériser les enjeux vis-à-vis du milieu récepteur, plusieurs études et diagnostics ont été réalisés :

- Le diagnostic hydrobiologique et piscicole d'Hydrosphère de février 2024 sur Le Crembreux et le ruisseau des Broustats (fossé SNCF) (voir annexe),
- Des campagnes de mesure (débit et qualité), réalisées par Antea Group, sur les principaux cours d'eau de la masse d'eau Slack (Slack, Les Broustats, Crembreux et Ruisseau de Bazinghen) en février 2023 et août 2023.
- Une campagne de mesure fin mai 2025 et décembre 2025, réalisée par Antea Group, sur les principaux cours d'eau de la masse d'eau Slack (Slack, Les Broustats, Crembreux et Ruisseau de Bazinghen), intégrant des paramètres supplémentaires comme les métaux (cf. Note de caractérisation des eaux de surface du bassin versant de la Slack en Annexe).

Le tableau ci-dessous présente la synthèse de la qualité biologique du ruisseau des Broustats et du Crembreux, réalisée par Hydrosphère. Elle fait état d'enjeux très faibles sur le fossé SNCF Ouest (ruisseau des Broustats), très anthropisé, et d'enjeux moyens pour Le Crembreux.

Tableau 8 : Synthèse de la qualité biologique des milieux récepteurs à l'aval de Stinkal (Hydrosphère – février 2024)

	Les Broustats	Le Crembreux
Macro-invertébrés benthiques	0,0085 Mauvaise	0,3049 Moyenne
Diatomées	0,67 Moyenne	0,83 Bonne
Ichtyofaune	43,21 Mauvaise	22,93 Moyenne
Qualité biologique DCE	MAUVAISE	MOYENNE

Si la Slack aurait pu être retenue pour évaluer l'impact sur le milieu récepteur, comme le demande le SAGE du Boulonnais dans l'article I de son règlement, c'est finalement Le Crembreux qui est retenu prioritairement dans la suite de l'étude comme point de référence pour évaluer l'impact du projet sur le milieu récepteur, de manière à évaluer l'impact le plus à l'amont possible tout en restant pertinent au vu des enjeux écologiques.

Etant donnée la disparité des valeurs de débits obtenues lors des campagnes de mesures, le débit d'étiage quinquennal du Crembreux, à l'amont de sa confluence avec le fossé SNCF Ouest (Ruisseau des Broustats), est pris à **42 l/s** d'après la cartographie de 2024 de l'INRAE (« Carte Consensus QMNA5 QA » ; E. SAQUET).

En l'absence d'autres données, les données de qualité mesurées lors des prélèvements réalisés par Antea Group en période de basses eaux sur le Crembreux en aval de la confluence avec les Broustats, à Marquise, sont utilisées. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Qualité du Crembreux à Marquise en août 2023 et en mai 2025

Paramètres	Le Crembreux à Marquise (août 23)	Le Crembreux à Marquise (mai-25)	Valeur guide*	Source valeur guide
Sodium (mg/l)	22	22,8	200	EDCH
MES (mg/l)	3,1	8,3	25-50	Guide tech.
COT (mg/l)	1,1	2,8	5-7	Etat écologique
Chlorures (mg/l)	37,3	39,4	200	EDCH
Sulfates (mg/l)	105	97,4	250	EDCH
Antimoine (µg/l)	-	<0,2	10	EDCH
Arsenic (µg/l)	-	0,64	0,83 (MA)	Etat écologique
Baryum (µg/l)	-	32,9	700	EDCH
Cadmium (µg/l)	-	<0,2	0,25 (MA) – 1,5 (CMA)	Etat chimique (Cl.5)
Chrome (µg/l)	-	<0,5	3,4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (µg/l)	-	2,42	1,0 (MA)	Etat écologique
Molybdène (µg/l)	-	0,74	6,7 (NQE)	REGARD
Nickel (µg/l)	-	<2	4 (MA) -34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (µg/l)	-	1,01	1,2 (MA) -14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (µg/l)	-	0,56	20	EDCH
Zinc (µg/l)	-	17	7,8	Etat écologique
Mercure (µg/l)	-	<0,1	0,07 (CMA)	Etat chimique
HCT (mg/l)	<0,03	<0,03	1	EDCH (eaux brutes)
HAP (5)	<0,2587	<0,0475	-	Etat chimique basé sur Benzo(a)pyrène
Benzo(a)pyrène	<0,0645	< 0,0075	0,00017 (MA) 0,27 (CMA)	Etat chimique
Fluoranthène	<0,06	0,06	0,0063 (MA) – 0,12 (CMA)	Etat chimique
Naphtalène	<0,06	0,05	2 (MA) – 130 (CMA)	Etat chimique
HAP (16) (µg/l)	0,47	0,24	-	-
PCB (7) (µg/l)	-	<0,01	0,001	NQE provisoire

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d'un cours d'eau du Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH / > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Reduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

L'arrêté du 25/01/2010 modifié indique que l'évaluation de l'état écologique pour les paramètres physico-chimiques généraux des eaux de surface doit se faire sur le percentile 90 d'au moins 4 valeurs pour une année et sur une moyenne d'au moins 4 valeurs pour une année quand il s'agit d'une NQE en moyenne annuelle (NQE-MA). La NQE en Concentration Maximale Admissible (CMA) est utilisée, quand elle existe, dans les cas où moins de 4 valeurs sont disponibles : la concentration maximale mesurée est alors comparée à la NQE-CMA.

Le tableau montre que Le Crembreux est en bon état, voire en très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour :

- Les concentrations en benzo(a)pyrène et fluoranthène qui sont inférieures à la NQE-CMA mais supérieures à la NQE-MA, même en prenant en compte la limite de quantification (LQ) divisée par deux.
- Le cuivre et le zinc pour lesquels les uniques valeurs mesurées sont supérieures à la NQE-MA (pas de NQE-CMA pour ces substances). Ces données, en nombre insuffisant, ne permettent pas de conclure sur le bon ou le mauvais état du Crembreux. A noter que les mesures réalisées par Antea Group en 2025 sur les cours d'eau du bassin versant de la Slack montrent que l'ensemble du bassin versant est touché par la présence de zinc et de cuivre dans des concentrations supérieures à celles du bon état écologique. Ces deux substances sont ubiquistes et peuvent être liées à de nombreuses sources, notamment les eaux pluviales et urbaines ainsi que les épandages agricoles.
- La concentration PCB qui, même prise à LQ/2, est supérieure à la NQE considérée.

Ainsi, pour ces 5 substances ou familles de substances, la valeur médiane du bon état (NQE-MA divisée par deux) sera utilisée comme valeur de concentration actuelle dans le Crembreux pour le calcul d'acceptabilité.

Par ailleurs, lorsque deux valeurs sont disponibles, la valeur la plus défavorable entre les deux valeurs disponibles est retenue, soit généralement la valeur du prélèvement de mai 2025 (hormis pour les sulfates).

Certains paramètres (DCO, BTEX, TBT, fluorures) n'ont pas fait l'objet d'analyses sur Le Crembreux. Ils ont été recherchés sur la Slack à Ambleteuse. Seuls la DCO et le TBT ont été trouvés dans les analyses récentes (à partir de 2020). Pour les autres paramètres, les médianes du bon état seront utilisées.

Le tableau suivant rassemble les valeurs qui vont être utilisées pour caractériser le milieu récepteur et évaluer l'impact des rejets aqueux de la plateforme de gestion des sédiments.

Tableau 10 : Qualité du Crembreux et valeurs guides retenues pour évaluer l'impact des rejets aqueux de la plateforme de gestion des sédiments

Paramètres	Unités	Concentration du Crembreux retenue	Valeur guide	Source valeur guide
Sodium	mg/l	22,8	200	EDCH
MES	mg/l	8,3	25-50	Guide tech.
DCO**	mg/l	25,5	20-30	Guide tech.
COT	mg/l	2,8	5-7	Etat écologique
Chlorures	mg/l	39,4	200	EDCH
Fluorures*	mg/l	0,75	1,5	EDCH
Sulfates	mg/l	105	250	EDCH
Antimoine (Sb)	µg/l	0,1	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	0,64	0,83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	32,9	700	EDCH

Paramètres	Unités	Concentration du Crembreux retenue	Valeur guide	Source valeur guide
Cadmium (Cd)	µg/l	0,1	0,25 (MA)	Etat chimique (Cl.5)
Chromé (Cr)	µg/l	0,25	3,4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	0,5	1,0 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	0,74	6,7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	1	4 (MA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	1,01	1,2 (MA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	0,56	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	3,9	7,8	Etat écologique
Mercure (Hg)	µg/l	0,05	0,07 (CMA)	Etat chimique
HCT	µg/l	15	1	EDCH (eaux brutes)
HAP	µg/l	-	-	Etat chimique basé sur Benzo(a)pyrène
Benzo(a)pyrène*	µg/l	8,5.10 ⁻⁵	0,00017 (MA)	Etat chimique
Fluoranthène*	µg/l	0,00315	0,0063 (MA)	Etat chimique
Naphtalène*	µg/l	0,05	2 (MA)	Etat chimique
BTEX*	µg/l	75	-	-
Benzène*	µg/l	5	10 (NA)	Etat chimique
PCB*	µg/l	0,0005	0,001	NQE provisoire
TBT**	µg/l	0,0001	0,0002 (MA)	Etat chimique

*médiane du bon état **Slack

5.4. Flux admissibles par le milieu récepteur

5.4.1. Méthodologie

Les calculs réalisés permettent de déterminer, pour chaque paramètre considéré, le flux maximal admissible (FMA) par le milieu, soit le flux maximal qui permet de maintenir le bon état du cours d'eau. Il est calculé comme suit :

$$(Eq. 1) FMA = Conc_{Lim.Sup\ Bon\ état} \times (Débit_{Crembreux} + Débit_{Plateforme}) - Conc_{Crembreux} \times Débit_{Crembreux}$$

A partir de ce flux, est calculé la concentration maximale du rejet :

$$(Eq. 2) Conc.\ maxi\ Rejet\ Plateforme = \frac{FMA}{Débit_{SITE}}$$

5.4.2. Résultats

Les flux admissibles par le Crembreux, garantissant le maintien de son état, sont rassemblés dans le tableau ci-dessous. Le tableau présente également les concentrations associées. Ces concentrations sont comparées aux valeurs limites de l'arrêté ministériel du 02/02/98 modifié réglementant les rejets dans l'eau des ICPE.

Les valeurs limites à retenir sont les concentrations maximales admissibles si ces dernières sont inférieures aux VLE définies dans l'AM du 02/02/98. Dans le cas contraire (concentrations max. admissibles > VLE AM ICPE), ce sont les VLE de l'AM du 02/02/98 qui sont à retenir. **Les valeurs seuils à retenir en première approche sont identifiées en gras.**

Tableau 11 : Flux maximaux admissibles par Le Crembreux et concentration correspondante dans le rejet

Paramètres	Flux max. admissible	Concentration max. rejet	VLE AM 02/02/98
Sodium	655 kg/j	10 917 mg/l	-
MES	62,1 kg/j	1035 mg/l	100 mg/l si flux < 15 kg/j ; 35 mg/l au-delà*
DCO	18,1 kg/j	302 mg/l	300 mg/l si flux < 50 kg/j ; 125 mg/l au-delà*
COT	8,3 kg/j	138 mg/l	100 mg/l si flux < 35 kg/j ; 45 mg/l au-delà
Chlorures	595 kg/j	9 913 mg/l	-
Fluorures	2,8 kg/j	46,9 mg/l	15 mg/l si flux > 150g/j
Sulfates	541 kg/j	9 019 mg/l	-
Antimoine (Sb)	36,5 g/j	609 µg/l	-
Arsenic (As)	0,7 g/j	12 µg/l	25 µg/l
Baryum (Ba)	2,5 kg/j	41 mg/l	-
Cadmium (Cd)	0,6 g/j	9 µg/l	25 µg/l
Chrome (Cr)	11,6 g/j	194 µg/l	100 µg/l si flux > 5g/j
Cuivre (Cu)	1,9 g/j	31 µg/l	150 µg/l si flux > 5 g/j
Molybdène (Mo)	22,0 g/j	367 µg/l	-
Nickel (Ni)	11,1 g/j	185 µg/l	200 µg/l si flux > 5g/j
Plomb (Pb)	0,8 g/j	13 µg/l	100 µg/l si flux > 5g/j
Sélénium (Se)	71,7 g/j	1,2 mg/l	-
Zinc (Zn)	14,6 g/j	244 µg/l	800 µg/l si flux > 20g/j
Mercure (Hg)	0,1 g/j	1 µg/l	25 µg/l
HCT	3,6 kg/j	60 mg/l	10 mg/l si flux < 100 g/j*
HAP	-	-	25 µg/l (5 HAP)
Benzo(a)pyrène	0,0003 g/j	0,005 µg/l	-
Fluoranthène	0,01 g/j	0,2 µg/l	25 µg/l si flux > 1g/j
Naphtalène	7,2 g/j	120 µg/l	130 µg/l si flux > 1g/j
BTEX	281 g/j	4,7 mg/l	174 µg/l
Benzène	19 g/j	312 µg/l	50 µg/l si flux > 1 g/j
PCB	0,002 g/j	0,03 µg/l	25 µg/l
TBT	0,004 g/j	0,006 µg/l	25 µg/l

*AP Stinkal du 07/04/11 : MES < 10 mg/l ; DCO < 60 mg/l ; HCT < 2 mg/l (pas de VLE pour les autres paramètres du tableau dans cet AP).

6. Valeurs seuils retenues pour le rejet en eau

Le tableau ci-dessous présente les concentrations du rejet non traité, les valeurs seuils à retenir, les valeurs seuils retenues (valeur arrondie tenant compte du rejet réel et des limites de quantifications), si ces dernières nécessitent la mise en place d'un traitement au vu des concentrations du rejet non traité, et la fréquence de suivi proposée pour l'autosurveillance réglementaire sur la base des flux rejetés. Par souci de cohérence avec l'AP actuel de Stinkal, il est proposé de retenir pour les rejets en eau de la plateforme de gestion des sédiments les mêmes valeurs seuils que l'AP existant de Stinkal pour les trois paramètres communs : MES < 10 mg/l ; DCO < 60 mg/l ; HCT < 2 mg/l.

Tableau 12 : Valeurs seuils retenues et nécessité d'un traitement pour le rejet en eau

Paramètres	Unités	Concentration du rejet non traité	Valeur seuil à retenir suite calcul acceptabilité	Valeur seuil retenue	Traitement nécessaire	Fréquence de suivi proposée**
Sodium	mg/l	3 778	10 917	4 000	Non	T
MES	mg/l	15,0	35	10*	OUI	M
DCO	mg/l	108,9	125	60*	OUI	M
COT	mg/l	125,0	45	45	OUI	M
Chlorures	mg/l	6044	9 913	6 500	Non	T
Fluorures	mg/l	3,6	15	15	Non	T
Sulfates	mg/l	1733	9 019	2000	Non	T
Antimoine (Sb)	µg/l	77,0	609	100	Non	T
Arsenic (As)	µg/l	51,1	12	10	OUI	M
Baryum (Ba)	µg/l	51,7	41	40	OUI	M
Cadmium (Cd)	µg/l	25,0	9	10	OUI	M
Chrome (Cr)	µg/l	25,0	100	100	Non	T
Cuivre (Cu)	µg/l	50,0	31	30	OUI	M
Molybdène (Mo)	µg/l	41,7	367	100	Non	T
Nickel (Ni)	µg/l	25,0	185	100	Non	T
Plomb (Pb)	µg/l	51,1	13	10	OUI	M
Sélénium (Se)	µg/l	102	1200	150	Non	T
Zinc (Zn)	µg/l	258	244	200	OUI	M
Mercure (Hg)	µg/l	0,51	1	1	Non	T
HCT	µg/l	ND	10 000	2 000*	Non	T
HAP (5)	µg/l	0,04	25	25	Non	T
Benzo(a)pyrène	µg/l	0,03	0,005	0,01 (LQ)	OUI	M
Fluoranthène	µg/l	0,03	0,2	0,1	Non	T
Naphtalène	µg/l	0,01	120	1	Non	T
BTEX	µg/l	15,1	174	174	Non	T
Benzène	µg/l	2,5	50	50	Non	T
PCB	µg/l	0,09	0,03	0,035 (LQ)	OUI	M
TBT	µg/l	0,05	0,006	0,02 (LQ)	OUI	M

*Cohérence AP Stinkal - MES < 35 mg/l ; DCO < 125 mg/l et HCT < 10 mg/l suffisant pour le bon état.

** T = Trimestrielle / M = Mensuelle ; sur un échantillon moyen 24h

Ainsi, le traitement à mettre en place doit permettre d'éliminer le COT, des métaux (As, Ba, Cd, Cu, Pb, Zn), des HAP, des PCB et le TBT.

Les tableaux ci-dessous présentent, pour chaque paramètre considéré, l'impact du rejet respectant les valeurs seuils établies dans le tableau précédent en calculant la concentration future dans le Crembreux, en précisant s'il y a déclassement ou non et en calculant la part du FMA qu'il représente.

		Paramètres	Sodium	MES	DCO	COT	Chlorures	Fluorures	Sulfates	Antimoine	Arsenic	Baryum	Cadmium	Chrome	Cuivre		
HYPOTHESES	Le Crembreux avant le rejet de la plateforme de gestion des sédiments	Débit du cours d'eau (m3/s)	m3/s	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	
		Débit cours d'eau (m3/j)		3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8
		Concentration Borne inférieure de l'état	mg/l	0	0	20	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Concentration Borne supérieure de l'état	mg/l	200	25	30	5	200	1,5	250	0,01	0,00083	0,7	0,00025	0,0034	0,001	
		Concentration du cours d'eau	mg/l	22,8	8,3	25,5	2,8	39,4	0,75	105,0	0,00010	0,00064	0,03290	0,00010	0,00025	0,00050	
		Flux dans le cours d'eau	kg/j	82,74	30,12	92,53	10	142,97	2,72	381,02	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	
	Rejet de la plateforme de gestion des sédiments Valeurs seuils retenues	Débit du rejet	m3/j	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
		Concentration du rejet	mg/l	4000,0	10,0	60,0	45,0	6500,0	15,0	2000,0	0,100	0,010	0,040	0,010	0,100	0,030	
		Flux émis par le rejet	kg/j	240,00	0,60	3,60	2,70	390,00	0,90	120,00	0,006000	0,000600	0,002400	0,000600	0,006000	0,001800	
	RESULTATS	Le Crembreux avec le rejet de la plateforme	Concentration du cours d'eau	mg/l	87,5	8,3	26,1	3,5	144,5	1,0	135,8	0,00172	0,00079	0,03302	0,00026	0,00187	0,00098
"Déclassement" de l'état du cours d'eau			-	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	NON	NON	
Acceptabilité		Flux Maximal Admissible (Eq.1)	kg/j	655,0	62,1	18,1	8,3	594,8	2,8	541,2	0,0365	0,0007	2,4628	0,0006	0,0116	0,0019	
		Part du flux de rejet par rapport au Flux Max. Admissible	%	36,6%	1,0%	19,9%	32,6%	65,6%	32,0%	22,2%	16,4%	81,2%	0,1%	107,3%	51,6%	96,0%	
		Paramètres	Molybdène	Nickel	Plomb	Sélénium	Zinc	Mercur	HCT C10-C40	HAP (5)	Fluoranthène	Naphtalène	BTEX	Benzène	PCB (7)	TBT	
HYPOTHESES	Le Crembreux avant le rejet de la plateforme de gestion des sédiments	BaP															
		Débit du cours d'eau (m3/s)	m3/s	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
		Débit cours d'eau (m3/j)		3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8	3628,8
		Concentration Borne inférieure de l'état	mg/l	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0
		Concentration Borne supérieure de l'état	mg/l	0,0067	0,004	0,0012	0,02	0,0078	0,00007	1	1,70E-07	6,30E-06	0,002	0,15	0,01	0,000001	2,00E-07
		Concentration du cours d'eau	mg/l	0,00074	0,00100	0,00101	0,00056	0,00390	0,00005	0,015	8,50E-08	3,15E-06	0,00005	0,0750	0,0050	0,0000005	1,00E-07
	Flux dans le cours d'eau	kg/j	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	
	Rejet de la plateforme de gestion des sédiments Valeurs seuils retenues	Débit du rejet	m3/j	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
		Concentration du rejet	mg/l	0,100	0,100	0,010	0,150	0,200	0,0010	2,0	0,00001	0,00010	0,001000	0,1740	0,0500	0,000035	0,00002
		Flux émis par le rejet	kg/j	0,006000	0,006000	0,000600	0,009000	0,012000	0,000060	0,120000	0,000001	0,000006	0,000060	0,010440	0,003000	0,000002	0,000001
RESULTATS	Le Crembreux avec le rejet de la plateforme	Concentration du cours d'eau	mg/l	0,00235	0,00261	0,00116	0,00299	0,00709	0,00007	0,04729	2,46E-07	4,73E-06	0,00007	0,07661	0,00573	1,06E-06	4,24E-07
		"Déclassement" de l'état du cours d'eau	-	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI
	Acceptabilité	Flux Maximal Admissible (Eq.1)	kg/j	0,0220	0,0111	0,0008	0,0717	0,0146	0,0001	3,6344	0,0000003	0,000012	0,0072	0,281	0,019	0,0000019	0,00000037
		Part du flux de rejet par rapport au Flux Max. Admissible	%	27,2%	53,9%	78,8%	12,5%	82,1%	78,1%	3,3%	188,3%	50,8%	0,8%	3,7%	16,0%	112,0%	320,1%

Légende :

Valeurs du Crembreux à Marquise (Antea Group)
Valeurs de La Slack à Ambleteuse (Antea Group ou AEAP)
Médiane car mauvais état ponctuel sur le Crembreux mais bon état pour la Slack
Médiane en l'absence de valeur récente (>2020) sur la Slack à Ambleteuse et sur Le Crembreux
Médiane car LQ/2 correspond à mauvais état
< LQ; LQ/2 utilisée

Pour la très grande majorité des paramètres (23/27), les valeurs seuils retenues ne déclassent pas l'état du Crembreux et le flux rejeté correspond en moyenne à 37,5% du flux maximal admissible (minimum à 0,1% et maximum à 96%).

Pour 3 des 4 paramètres où les valeurs seuils retenues ne permettent pas de maintenir le bon état (Benzo(a)pyrène, PCB et TBT), les concentrations qu'il faudrait atteindre pour maintenir le bon état ne sont pas quantifiables en laboratoire. Ce sont donc les limites de quantification qui ont été retenues, même si le calcul montre une non-acceptabilité.

Pour le cadmium, le dépassement avec la valeur seuil fixée reste mineur (0,26 µg/l dans le Crembreux en prenant en compte le rejet pour une NQE-MA à 0,25 µg/l) et la valeur seuil fixée de 10 µg/l est déjà très restrictive (très proche de la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine définie dans l'AM du 30/12/2025 de 5 µg/l) et dans les limites de ce qui reste possible sans passer par un traitement disproportionné.

7. Filière de traitement

Le traitement à mettre en place doit permettre d'éliminer le COT, des métaux (As, Ba, Cd, Cu, Pb, Zn), des HAP, des PCB et le TBT, en présence d'une salinité importante.

Il existe peu de procédés capables d'éliminer les métaux et HAP à l'état de traces en présence de salinité, sans éliminer et donc sans être impacté par cette salinité. Ont été identifiés :

- Les traitements de type adsorption par charbon actif pour le traitement du COT, des HAP, PCB, TBT et métaux, combinés avec un autre matériau adsorbant spécifique pour le traitement de finition des métaux.
- La nanofiltration membranaire. Cette technologie, similaire à l'osmose inverse évoquée au §3, n'est pas détaillée ici dans la mesure où elle semble déraisonnable au regard du coût des traitements (> 700 000 € HT d'investissement et > 400 000 €/an d'exploitation) et de leurs impacts environnementaux (consommation énergétique, gestion des concentrats, trafic lié à l'élimination des concentrats).

L'adsorption du COT, des HAP, des PCB et du TBT sur certains types de charbon actif est éprouvée. En revanche, l'adsorption des métaux est plus variable. Pour les métaux, d'autres matériaux adsorbants spécifiques peuvent être envisagés et peuvent permettre d'atteindre des concentrations <10 µg/l (voir seconde annexe).

Afin de valider l'efficacité de ce traitement et d'estimer au plus juste les coûts d'exploitation (vitesse de saturation des filtres), il apparaît primordial de réaliser des essais en laboratoire (isothermes d'adsorption) sur un effluent représentatif.

La filière de traitement à mettre en place (voir schéma ci-dessous) pourrait être la suivante :

- Pompage depuis le bassin de stockage des eaux.
- Filtre à tamis « Y ».
- Filtre à sable, en tant que pré-traitement pour protéger les filtres aval des MES résiduelles et limiter leur saturation.
- Filtre 1 avec charbon actif pour traiter le COT et les HAP.
- Filtre 2 avec charbon actif pour du traitement de finition sur les PCB et le TBT.
- Filtre 3 avec matériau d'adsorption spécifique pour les métaux.
- Filtre 4 avec matériau d'adsorption spécifique pour du traitement de finition sur l'arsenic.
- Rejet de l'effluent traité vers le milieu naturel par pompage dans un regard, depuis lequel il sera possible de réaliser un prélèvement moyen 24h. La canalisation de pompage sera équipée d'un débitmètre.
- Rejet des éventuelles eaux de lavage dans le bassin.

En termes d'utilités, sont à prévoir :

- Electricité (pompage),
- Eau industrielle pour le lavage du filtre à sable et le rinçage des filtres charbon avant enlèvement. Pour le lavage du filtre à sable, une cuve de stockage d'eau traitée pourra être installée.

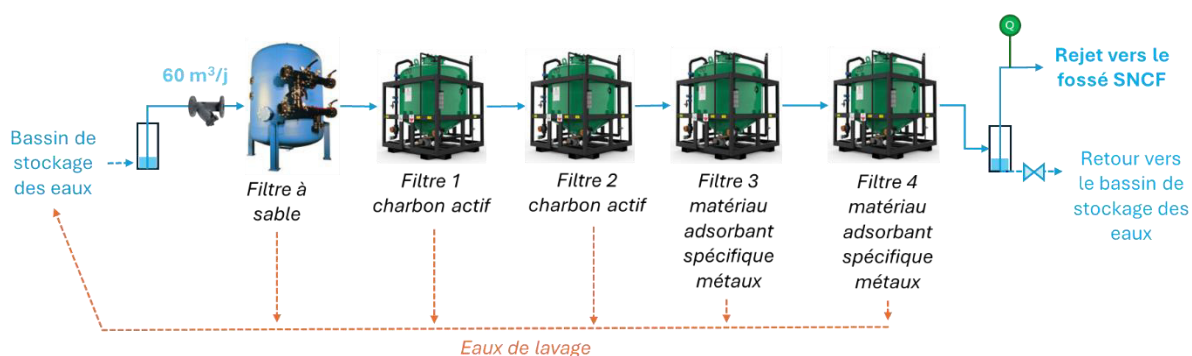


Figure 4 : Schéma de synthèse de l'unité de traitement des eaux

Pour traiter 60 m³/jour, des filtres d'un volume unitaire de 2 m³ pourraient être envisagés (H x L x l : 2,3 m x 1,7 m x 1,7 m). Au démarrage de l'installation et pendant les premières semaines de fonctionnement, un suivi resserré des performances de l'installation sera à prévoir.



Figure 5 : Exemple de filtres de 2 m³ (Desotec)

La plupart des filtres sont généralement mis à disposition en location avec le matériau adsorbant à l'intérieur. Lorsque que le matériau adsorbant est saturé, le filtre saturé est échangé avec un nouveau filtre contenant du matériau adsorbant « neuf ». Aucune manipulation de charbon actif n'est à réaliser.

Le charbon actif saturé peut être réactivé pour une réutilisation ultérieure. De manière à assurer la possibilité de réactiver le charbon actif, un rinçage des filtres avant reprise sera à effectuer. Les autres matériaux adsorbants sont à éliminer une fois saturés.

A ce stade, dans l'attente des essais en laboratoire, pour un débit de 60 m³/j, il est supposé une saturation des deux filtres au bout d'un mois d'utilisation. Sur cette base, les coûts de la filière décrite ci-dessus sont estimés à :

- Coûts d'investissement (hors GC) à ±30% : 75 000 € HT,
- Coûts d'exploitation à ±30% : 330 000 € HT/an.

8. Conclusion

Après avoir présenté et justifié le projet de plateforme de valorisation à terre des sédiments marins et fluviaux, notamment vis-à-vis de la gestion des effluents générés, le rapport a permis de :

- Caractériser les effluents générés (volume et flux) : le rejet brut, d'un maximum de 60 m³/j, présente des concentrations en sodium, chlorures et sulfates relativement élevées par rapport à des eaux douces mais environ trois fois moindres que celles d'eau de mer (10 000 mg/l pour le sodium, 19 000 mg/l pour les chlorures et 2 650 mg/l pour les sulfates). Les autres concentrations (métaux, HAP, BTEX, ...) sont plutôt faibles à très faibles.
- Définir l'acceptabilité du rejet par le milieu récepteur (Le Crembreux).
- Définir des valeurs seuils à retenir pour le rejet, en comparant les valeurs acceptables par le milieu et les valeurs de l'AM du 02/02/98 modifié mais aussi en se basant sur les caractéristiques des effluents bruts.
- Définir une filière de traitement permettant de respecter ces seuils (à confirmer par des essais en laboratoire) : charbon actif et matériau adsorbant spécifique des métaux.

Tableau 13 : Valeurs seuils retenues pour le rejet des eaux de la plateforme de valorisation des sédiments

Paramètres	Unités	Valeur seuil retenue	Fréquence d'autosurveillance proposée**
Débit	m ³ /j	60	M
pH	upH	5,5-8,5	M
Sodium	mg/l	4 000	T
MES	mg/l	10*	M
DCO	mg/l	60*	M
COT	mg/l	45	M
Chlorures	mg/l	6 500	T
Fluorures	mg/l	15	T
Sulfates	mg/l	2000	T
Antimoine (Sb)	µg/l	100	T
Arsenic (As)	µg/l	10	M
Baryum (Ba)	µg/l	40	M
Cadmium (Cd)	µg/l	10	M
Chrome (Cr)	µg/l	100	T
Cuivre (Cu)	µg/l	30	M
Molybdène (Mo)	µg/l	100	T
Nickel (Ni)	µg/l	100	T
Plomb (Pb)	µg/l	10	M
Sélénium (Se)	µg/l	150	T
Zinc (Zn)	µg/l	200	M
Mercure (Hg)	µg/l	1	T
HCT	µg/l	2 000*	T
HAP (5)	µg/l	25	T
Benzo(a)pyrène	µg/l	0,01 (LQ)	M
Fluoranthène	µg/l	0,1	T
Naphtalène	µg/l	1	T
BTEX	µg/l	174	T
Benzène	µg/l	50	T
PCB	µg/l	0,035 (LQ)	M
TBT	µg/l	0,02 (LQ)	M

*Cohérence AP Stinkal - MES < 35 mg/l ; DCO < 125 mg/l et HCT < 10 mg/l suffisant pour le bon état.

** T = Trimestrielle / M = Mensuelle ; sur un échantillon moyen 24h

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Sauf avis contraire de votre part, la présente prestation sera intégrée dans la liste des références d'Antea Group. Les noms de nos clients, les titres des prestations ainsi que leurs montants sont ainsi susceptibles d'être communiqués à des tiers.

Ce rapport devient la propriété du client après paiement intégral du coût de la mission ; son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <http://www.annexes.anteagroup.org>.



ANNEXES

- Annexe I : Tableau de synthèse des scénarios de gestion envisagés au stade faisabilité
- Annexe II : Rapport « Diagnostic hydrobiologique et piscicole » d’Hydrosphère de février 2024
- Annexe III : Note de caractérisation des cours d’eau du bassin versant de la Slack – Antea Group – Mars 2026
- Annexe IV : Exemple de fiche technique matériau adsorbant spécifique métaux

Annexe I : Tableau de synthèse des scénarios de gestion envisagés au stade faisabilité

(1 page A3)

2 lagunes de 6 250 m ² 1 bassin de 2000 m ²	1-Scenario initial	2-Lissage du débit rejeté	3-Couverture par serre lors de l'égouttage	4-Suppression de l'égouttage à Stinkal (égouttage bord à quai)	5-Réutilisation directe sur le site de 30 m ³ /j d'effluents générés	6-Accueil d'eau maximum 50% de sédiments de marins	7-Accueil d'eau maximum 50% de sédiments de marins sans réutilisation			
Egouttage à Stinkal	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non			
Lavage par EP à Stinkal	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui			
Volume et tonnage par campagne accueillis à Stinkal	12 500 m ³ 9 625 tMS	12 500 m ³ 9 625 tMS	12 500 m ³ 9 625 tMS	12 500 m ³ 16 070 t MS	12 500 m ³ 16 070 t MS	12 500 m ³ 16 070 t MS	12 500 m ³ 16 070 t MS			
Volume de bassin Débit max. d'effluents généré	1545 m ³ 120 m ³ /j	2900 m ³ 120 m ³ /j en égouttage 60 m ³ /j lavage EP	2900 m ³ 60 m ³ /j	2900 m ³ 60 m ³ /j	2900 m ³ 60 m ³ /j	2900 m ³ 60 m ³ /j	2900 m ³ 60 m ³ /j			
Répartition Sédiments marins/ Sédiments fluviaux	100% sédiments marins 0% sédiments fluviaux	100% sédiments marins 0% sédiments fluviaux	100% sédiments marins 0% sédiments fluviaux	100% sédiments marins 0% sédiments fluviaux	100% sédiments marins 0% sédiments fluviaux	50% sédiments marins 50% sédiments fluviaux	50% sédiments marins 50% sédiments fluviaux			
Flux générés max. à gérer (si égouttage, valeur la plus haute entre égouttage et lavage)	Débit	120 m ³ /j	120 m ³ /j	60 m ³ /j	60 m ³ /j	60 m ³ /j	60 m ³ /j			
	Sodium	550 kg/j	515 kg/j	275 kg/j	452 kg/j	452 kg/j	226,0 kg/j			
	Chlorures	895 kg/j	887 kg/j	448 kg/j	725 kg/j	725 kg/j	362,4 kg/j			
	Sulfates	637 kg/j	376 kg/j	319 kg/j	525 kg/j	525 kg/j	326,0 kg/j			
	Zinc	0,0304 kg/j	0,0152 kg/j	0,0152 kg/j	0,0250 kg/j	0,0250 kg/j	0,0125 kg/j			
Réutilisation des effluents	0%	0%	0%	0%	30 m ³ /j - 50% de réutilisation (70% du flux rejeté – 50% directement et 20% en différé)	30 m ³ /j - 50% de réutilisation (70% du flux rejeté – 50% directement et 20% en différé)	0%			
	Débit	120 m ³ /j	120 m ³ /j	60 m ³ /j	60 m ³ /j	30 m ³ /j	60 m ³ /j			
	Sodium	550 kg/j	515 kg/j	275 kg/j	452 kg/j	316 kg/j	158 kg/j			
	Chlorures	895 kg/j	887 kg/j	448 kg/j	725 kg/j	508 kg/j	254 kg/j			
	Sulfates	637 kg/j	376 kg/j	319 kg/j	525 kg/j	368 kg/j	228 kg/j			
Rejet maximal au milieu	Zinc	0,0304 kg/j	0,0152 kg/j	0,0152 kg/j	0,0250 kg/j	0,0175 kg/j	0,0125 kg/j			
	Débit	120 m ³ /j	120 m ³ /j	60 m ³ /j	60 m ³ /j	30 m ³ /j	60 m ³ /j			
	Sodium	550 kg/j	515 kg/j	275 kg/j	452 kg/j	10 547 mg/l	5 273 mg/l			
	Chlorures	895 kg/j	887 kg/j	448 kg/j	725 kg/j	16 917 mg/l	8 456 mg/l			
	Sulfates	637 kg/j	376 kg/j	319 kg/j	525 kg/j	12 250 mg/l	7 607 mg/l			
Part du rejet sur les Flux Maximaux Acceptables (FMA) par le milieu (avant traitement)	Zinc	0,0304 kg/j	0,0152 kg/j	0,0152 kg/j	0,0250 kg/j	0,0175 kg/j	0,0125 kg/j			
	120 m ³ /j	Rejet (%FMA)	FMA	60 m ³ /j	Rejet (%FMA)	FMA	30 m ³ /j	Rejet (%FMA)	FMA	
	Sodium	82%	667 kg/j	Sodium	77%	667 kg/j	Sodium	49%	649 kg/j	
	Chlorures	147%	607 kg/j	Chlorures	146%	607 kg/j	Chlorures	86%	589 kg/j	
	Sulfates	115%	556 kg/j	Sulfates	68%	556 kg/j	Sulfates	69%	534 kg/j	
Traitements à mettre en place	Zinc	201%	0,0151 kg/j	Zinc	104%	0,0146 kg/j	Zinc	122%	0,0144 kg/j	
	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non		
	● Filière : Filtre à sable, filtres à cartouche, osmose inverse (2 passes probablement)		● Filière : Filtre à sable, filtres à cartouche, osmose inverse (2 passes probablement)		● Filière : 2 x Filtres à charbon actif en grain en série		● Filière : 2 x Filtres à charbon actif en grain en série		● En sécurité	
	● Débit max. à traiter : 70 m ³ /j		● Débit max. à traiter : 40 m ³ /j		● Débit max. à traiter : 60 m ³ /j		● Débit max. à traiter : 30 m ³ /j		● Débit max. à traiter : 30 m ³ /j	
	● Taux de conversion : 75%		● Taux de conversion : 75%		● Taux de conversion : 75%		● Taux de conversion : 75%		● Taux de conversion : 75%	
● Concentrats max. : 17 m ³ /j		● Concentrats max. : 10 m ³ /j		● Concentrats max. : 7,5 m ³ /j		● Concentrats max. : 7,5 m ³ /j		● Concentrats max. : 7,5 m ³ /j		
Coûts d'investissement du traitement (hors GC) ±30%	1 000 000 €HT	800 000 € HT	25 000 € HT	700 000 €HT/an	25 000 € HT	25 000 € HT	25 000 € HT			
Coûts d'exploitation du traitement ±30%	840 000 €HT/an (dt transport et incinération concentrats) Traitement fonctionnant 65% du temps	480 000 € HT/an (dt transport et incinération concentrats) Traitement fonctionnant 65% du temps	170 000 € HT/an (1 rotation complète/mois)	440 000 €HT/an (dt transport et incinération concentrats) Traitement fonctionnant 80% du temps	170 000 € HT/an (1 rotation complète/mois)	100 000 € HT/an (1 rotation/ 2 mois)	170 000 € HT/an (1 rotation complète/mois)			
Commentaires (PL : poids-lourds de 12,5 m ³)	Coûts disproportionnés Evac. concentrats : 325 PL /an	Coûts disproportionnés Evac. concentrats : 190 PL /an	Rotation charbon : 12 PL/an	Pas de rejet d'eau d'égouttage Quantité de sédiments gérés plus élevée donc augmentation de l'impact Coûts disproportionnés Evac. concentrats : 175 PL /an	Rotation charbon : 12 PL/an	Rotation charbon : 6 PL/an	Rotation charbon : 12 PL/an			

xxx mg/l : ce ne sont pas les concentrations réelles rejetées directement au milieu, elles sont surestimées du fait de la prise en compte du flux rejeté via la réutilisation ; voir concentrations du flux max. à gérer pour les concentrations réelles

Annexe II : **Rapport « Diagnostic hydrobiologique et piscicole » d’Hydrosphère de février 2024**

(81 pages)



Etude écologique préalable au stockage de
sédiments marins sur le site de Stinkal à Ferques
Diagnostic hydrobiologique et piscicole

RAPPORT FINAL

Références du maître d'ouvrage – ANTEA GROUP	
Titre du marché :	Etude écologique préalable au stockage de sédiments marins sur le site de Stinkal à Ferques – Diagnostic hydrobiologique et piscicole
Adresse :	Synergie Park - 5, avenue Louis NEEL F - 59260 LEZENNES
Affaire suivie par :	Nicolas KETELERS
Tél / mail :	Tél. 03.20.29.81.85 / Mob. 06.27.10.13.02 Mail. nicolas.ketelers@anteagroup.fr

Références du mandataire ou du/des sous-traitant(s)	
Adresse :	 BI-EAU 15 rue Lainé Laroche 49000 ANGERS
Affaire suivie par :	Anne-Marie Lançon Tél.: 02 41 88 52 88 lancon@bieau.fr

		Agence Paris Nord (Siège) 2 avenue de la mare 95310 – Saint-Ouen-l'Aumône		Tél : 01.30.73.17.18 Email : infos@hydrosphere.fr	
N°Affaire :	E21-121				
Fichier :	E21_121_Etude_Ecologique_Stinkal				
Affaire suivie par :	Elora FAUCHERY				
Tél / mail	Tél. 01.30.73.61.30 Mail : efauchery@hydrosphere.fr				
Participants :	Terrain : CVE, EFA, LLO, MKA Labo : EFA Rapport : EFA				
Version	Etabli par	Vérfié par	Approuvé par	Date	Objet de la révision
1	EFA	MCA	MCA	19/02/2024	Version initiale
2	EFA	-	-	20/02/2024	Version finale corrigée

Crédits Photographiques de ce document : HYDROSPHERE© Sauf mention contraire

Sommaire

Sommaire	3
1. Contexte et objectif de l'étude	4
2. Contexte hydrologique du site	6
3. Synthèse des données existantes	8
4. Veille bibliographique	10
4.1. La salinité.....	10
4.2. Les sulfates	13
4.3. La dureté.....	14
4.4. Les métaux lourds : cuivre	15
4.5. Polluants spécifiques : arsenic	15
5. Méthodologies du diagnostic	16
6. Étude de l'hydromorphologie des cours d'eau	18
6.1. Ruisseau des Broustats	18
6.2. Le Crembreux.....	21
6.3. Synthèse des prospections.....	22
7. Résultats des analyses hydrobiologiques.....	26
7.1. Ruisseau des Broustats (fossé SNCF Ouest)	26
7.1.1. Macroinvertébrés benthiques	26
7.1.2. Diatomées	32
7.1.3. Ichtyofaune	34
7.2. Le Crembreux.....	39
7.2.1. Macroinvertébrés benthiques	39
7.2.2. Diatomées	43
7.2.3. Ichtyofaune	45
8. Analyse des impacts potentiels du rejet	51
8.1. Les chlorures	51
8.2. Les sulfates	52
8.3. Le carbone organique	52
8.4. Les métaux lourds	53
8.5. L'arsenic.....	53
9. Conclusion du diagnostic.....	54
Bibliographie.....	56
Table des Illustrations	59
Listes des annexes.....	62

1. Contexte et objectif de l'étude

Le site de Stinkal se situe à Ferques dans le département du Pas-de-Calais (62) (Figure 1). La carrière est exploitée par la société Eiffage Route pour ses roches calcaires. Les granulats fabriqués sont à destination du commerce, du marché routier, du béton prêt à l'emploi et de la préfabrication.

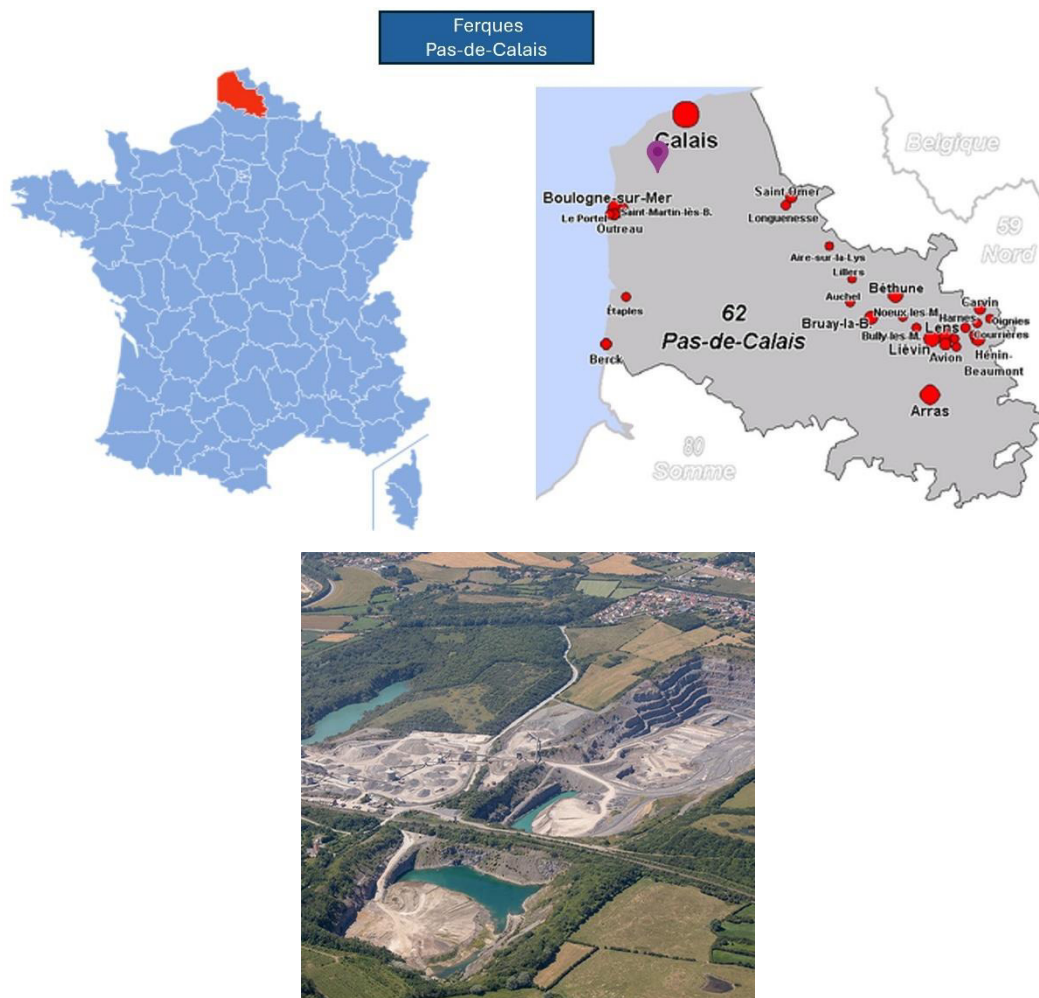


Figure 1 : Localisation et vue aérienne du site de Stinkal

L'extraction des roches et la production des granulats nécessitent l'utilisation de grandes quantités d'eau. Après traitement, les eaux dites d'exhaures sont rejetées dans le milieu naturel. La carrière de Stinkal est entourée par un important réseau de fossés. Ils confluent à l'aval du site pour former le ruisseau des Broustats avant de rejoindre le Crembreux quelques kilomètres plus loin (cf 2. Contexte hydrologique du site).

Le site se divise en deux parties. La partie active à l'ouest où se concentrent les activités d'extractions et la partie Est qui n'est plus exploitée aujourd'hui et qui est en cours de remblaiement. Les sites remblayés font l'objet d'une restauration et d'une valorisation écologique dans l'optique de compenser les impacts de la carrière. Afin de valoriser également économiquement ces secteurs, Eiffage développe un projet de stockage de sédiments marins issus de draguages des grands ports du Nord de la France.

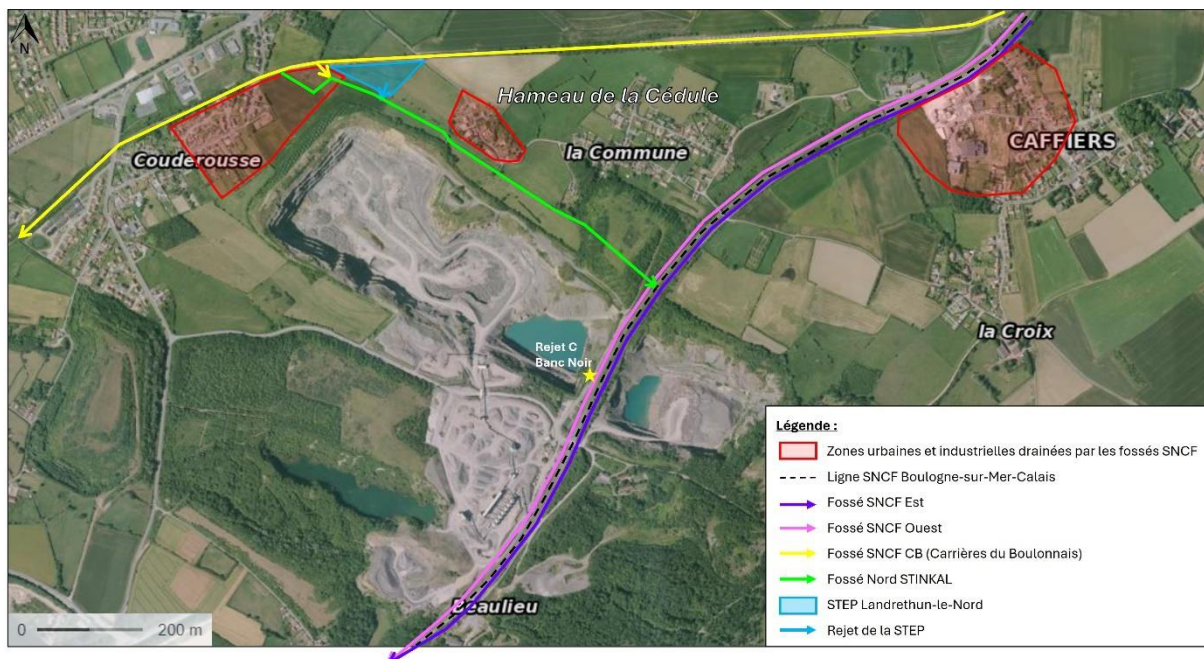
HYDROSPHÈRE a été sollicité par ANTEA GROUP pour réaliser un **diagnostic des milieux aquatiques en vue d'évaluer les impacts potentiels de rejets d'eaux salées** (chlorures et sulfates) sur la biocœnose des cours d'eau récepteurs. Le présent dossier comprend :

- Une **synthèse des données bibliographiques** sur l'impact des rejets d'eau salée sur les milieux d'eau douce et plus particulièrement sur la faune et la flore ;
- L'**état initial** des milieux récepteurs du rejet ;
- L'**analyse des impact** avérés et potentiels du rejet d'eau salée sur la biocœnose en place ;
- La **préconisation de mesures** pour limiter ces incidences.

Les investigations se sont portées sur le **ruisseau des Broustats** qui reçoit les eaux de la carrière de Stinkal et sur le **Crembreux**, après sa confluence avec le ruisseau. Le linéaire d'étude est d'environ **3 km**.

2. Contexte hydrologique du site

Comme évoqué précédemment, le site de Stinkal est entouré par **plusieurs fossés** qui drainent des **eaux d'origines multiples** (Carte 1).



Carte 1 : Détail du réseau de rejets et fossés autour du site de Stinkal

La carrière est bordée **au nord** par un fossé qui draine les **eaux de ruissellement** du Hameau de la Cédule et d'une partie de la Commune et de Couderousse (en vert sur la Carte 1). Il reçoit également le **rejet de la STEP de Landretum-le-Nord**, mise en service en 2016.

La **ligne de chemin de fer** reliant Boulogne-sur-Mer et Calais a été mise en service en 1848. Elle est longée par **un fossé de chaque côté** qui permettent l'évacuation des **eaux de pluies** : le **fossé SNCF Est** (en violet) et le **fossé SNCF Ouest** (en rose). Le fossé SNCF Est draine les eaux de pluie de la commune de Caffiers. Le fossé SCNF Ouest draine une partie de la Commune, récupère les eaux du fossé Nord et reçoit les **eaux d'exhaure de la carrière de Stinkal (rejet C** sur la Carte 1). Ces derniers, confluent à l'aval du site à environ **800 m du rejet** pour former le **ruisseau de Broustats (E5100790)**.

Sur le terrain, on constate donc que le ruisseau a été **fortement modifié** et est bien **éloigné de son tracé d'origine** qui figure sur les cartes actuelles. Sa moitié amont sur environ 1 km correspond aujourd'hui au fossé SNCF Ouest qui est **majoritairement busé**. Il ne suit son cours historique que sur les 1,3 km qui séparent la confluence des deux fossés SNCF de sa confluence avec le Crembreux.

3. Synthèse des données existantes

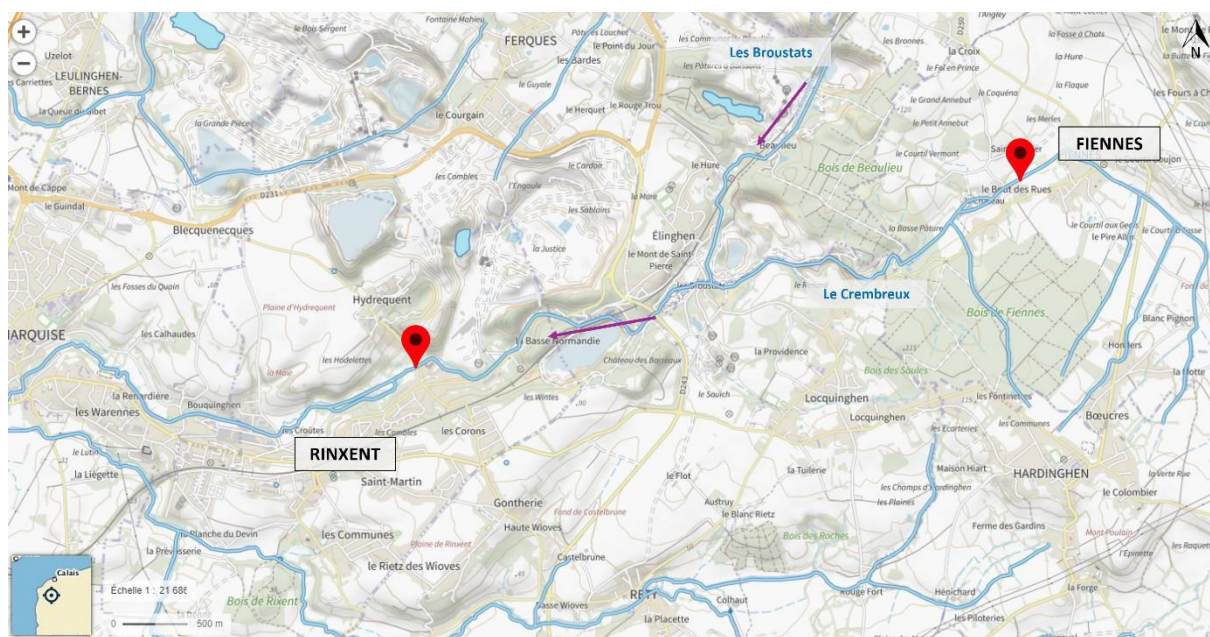
Presque **aucune donnée historique** n'existe sur le ruisseau des Broustats. Comme évoqué précédemment, son tracé a été **largement modifié** lors de **l'implantation des carrières** et avec la **construction de la voie de chemin de fer**. Son linéaire actuel réel est donc **très différent** de son linéaire historique qui figure sur les cartes officielles (cf. 6. Étude de l'hydromorphologie des cours d'eau).

Le ruisseau traverse la **ZNIEFF de type I** « Bois de Fiennes, bois de Beaulieu et carrière de la Parisienne » (310013293). Les efforts de prospection se sont principalement concentrés sur les communautés végétales et en complément sur les amphibiens, les mammifères et les oiseaux. Aucune donnée supplémentaire n'a été collectée sur le milieu aquatique (poisson, mollusque, macrophytes etc.)

Le Crembreux est un cours d'eau de **1^{ère} catégorie**. Ce classement s'applique aux cours d'eau **salmonicoles** qui abritent des espèces comme la Truite, le Saumon, l'Anguille, etc. qui font l'objet de **mesures de protection**. Il reçoit plus ou moins directement les eaux de nombreuses carrières de la région et des plaines agricoles qui l'entourent.

Hydrosphère a réalisé un diagnostic écologique du cours d'eau en 2019. Deux stations avaient été définies (Carte 3) :

- Le Crembreux amont à Fiennes, à environ 4 km en amont de la confluence avec les Broustats ;
- Le Crembreux aval à Rinxent, à 4 km en aval, avant sa confluence avec La Slack.



Carte 3 : Localisation des stations de suivi Hydrosphère sur le Crembreux en 2019

Deux compartiments faunistiques avaient été analysés : les poissons (IPR) et les macro-invertébrés benthiques (MPCE/I2M2). Le Tableau 1 synthétise les résultats obtenus à l'époque.

Tableau 1 : Synthèse des résultats biologiques 2019 sur le Crembreux (Hydrosphère)

	Crembreux amont	Crembreux aval
Note IPR	40,13	11,5
Classe de qualité associée	Mauvaise	Bonne
Note I2M2	0,4375	0,75
Classe de qualité associée	Médiocre	Moyenne

Le Crembreux amont traverse une large plaine agricole et de nombreux sites d'extraction sur sa moitié amont. Il présentait donc déjà une qualité dégradée en 2019. Le cours aval est plus libre notamment de l'influence des carrières et possède de fait, une bien meilleure qualité biologique.

4. Veille bibliographique

Afin de mieux estimer les impacts potentiels du futur rejet dans les milieux récepteurs de la carrière de Stinkal, une veille bibliographique a été réalisée autour des paramètres suivants : la salinité (chlorures, sodium), les sulfates, la dureté de l'eau (calcaire et magnésium), métaux lourds (cuivre), polluants spécifiques (arsenic).

4.1. La salinité

L'augmentation de la salinité d'origine anthropique dans les cours d'eau douce est appelée **salinisation secondaire** (Cañedo-Argüelles et al., 2013). Bien que méconnue, elle est considérée comme l'une des **premières causes** de dégradation des cours d'eau aujourd'hui (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, 2005) et possède parmi les **plus forts potentiels d'impacts** sur les organismes aquatiques (Cañedo-Argüelles, 2020; Côté et al., 2016). Aux États-Unis, la salinisation figure parmi les 15 principales causes d'altération des cours d'eau, au même niveau que les pesticides (Agence américaine de protection de l'environnement, 2012). En Australie, une enquête menée auprès de gestionnaires des milieux aquatiques a classé la salinité parmi les trois contaminants environnementaux les plus préoccupants (Lovett et al., 2007.).

Les conséquences globales de la salinisation des rivières sont multiples :

- **Écroulement** de la biodiversité (Bäthe & Coring, 2011) ;
- Mobilisation des **métaux lourds** (Lazur et al., 2020) ;
- Augmentation de la **toxicité** de certains métaux (Hall & Anderson, 1995) ;
- Stimulation de l'**eutrophisation** :
 - En mobilisant l'azote organique, l'ammonium et le phosphore par échange d'ions (réduction de NH_4^+ par Na^+) (Sujay S. et al., 2018) ;
 - En favorisant la croissance des algues par une réduction de la pression alimentaire des invertébrés herbivores (cascades trophiques) (Moyano Salcedo et al., 2024) ;
 - En favorisant le développement des organismes autotrophes au détriment des hétérotrophes (Gruntz, 2021).

En Allemagne, Schulz & Cañedo-Argüelles (2018) ont tenté de classer les organismes aquatiques selon leur sensibilité au phénomène (de la plus sensible à la moins sensible) : **poissons > macroinvertébrés > phytoplancton > macrophytes > diatomées**. D'autres études ont montré que les macroinvertébrés aquatiques étaient **plus sensibles** que les poissons (Wang et al., 2020).

A une échelle plus fine, Castillo et al. (2018) ont constaté que les **microinvertébrés** comme les Cladocères et les Copépodes étaient plus sensibles à la salinité que les macroinvertébrés comme les insectes. Ils ont également montré qu'au sein des macroinvertébrés, les **racleurs**, les **cueilleurs** et les **filtreurs** étaient en moyenne plus sensibles que les omnivores, les déchiqueteurs et les prédateurs.

Globalement, l'augmentation, **même légère**, de la salinité a un **impact significatif immédiat** sur les communautés d'invertébrés. Une augmentation **massive** des concentrations en sels peut aller jusqu'à modifier significativement les **conditions de qualité de l'eau**. Une expérience réalisée en mésocosme a montré que des concentrations en sels correspondant à une conductivité de 5 mS cm^{-1} induisait des modifications de l'oxygène dissous, de la température et du pH (Cañedo-Argüelles et al., 2012).

Une étude référence dans le domaine, a suivi pendant 17 ans les conséquences des variations de salinité dans le bassin de la Werra, situé dans les plateaux du centre de l'Allemagne (Bäthe & Coring, 2011). Le rejet d'eaux usées salines issues de l'industrie de la potasse a transformé la rivière en un cours d'eau saumâtre presque salin. Entre 1950 et 1990, l'augmentation des concentrations en sels a causé la **disparition d'espèces** autochtones **d'amphipodes** et de la plupart des espèces de **plécoptères**, **d'éphéméroptères**, de **mollusques** et de **bivalves**. La **production de biomasse végétale** et avec elle les épisodes **d'eutrophisation** sont montés en flèche.

Les concentrations maximales de chlorures ont atteint un record de 27 g/l en 1992 où de nombreuses normes de traitement et de rejet ont été imposées aux industriels. Le taux de chlorures a ainsi été divisé par 3 en cinq ans pour plafonner à 9 g/L en 1997. La surveillance effectuée entre 1993 et 1996 a montré une **augmentation du nombre de taxons** sur l'ensemble du « linéaire salinisé ».

Les espèces prédominantes pendant la pollution étaient les taxons **halotolérants** *Gammarus tigrinus*, *Oligochaeta* et divers Chironomidae. Avec la réduction des concentrations en sels, plusieurs taxons ont progressivement recolonisé le cours d'eau depuis l'aval et les petits affluents :

- Chez les Trichoptères : *Hydropsyche*, *Hydroptila*, *Psychomyia* et *Tinodes*. Ils étaient parmi les premiers à revenir du fait de la capacité de vol des adultes ;
- Chez les Coléoptères : *Elmis* puis *Oulimnius* ;
- Chez les Crustacées : *Asellus* ;
- Chez les Gastéropodes : *Potamopyrgus* ;
- Chez les Planariés : *Dendrocelum* puis *Dugesia*.

Cette étude montre bien les conséquences **négatives** de l'augmentation massive de la salinité mais elle révèle également la forte **résilience des macro-invertébrés** qui sont capables de rapidement recoloniser un milieu après une pollution aiguë lorsque des populations saines sont présentes à proximité (Bäthe & Coring, 2011).

Le maintien d'un **environnement ionique intracellulaire** relativement constant est essentiel au fonctionnement de tous les animaux. C'est pourquoi la plupart des organismes aquatiques ont la capacité de contrôler leurs concentrations internes d'ions (*i.e.* **osmorégulation**) (Ferreira-Martins et al., 2021). Ce processus a bien évidemment un **coût énergétique**. Cependant, il n'y a toujours pas de consensus sur le montant de celui-ci qui varie de quelques % à 40% selon les études (Hintz & Relyea, 2017). Les mécanismes d'osmorégulation chez les insectes aquatiques sont encore **mal compris** (Scheibener et al., 2017). Certaines **diatomées** sont également fortement affectées par la proportion de **cations** et **d'anions** et par le ratio entre cations monovalents et divalents dans l'eau (Cañedo-Argüelles, 2020).

Chez la plupart des espèces de poissons, la fécondation et l'incubation des œufs, la résorption du sac vitellin, l'embryogenèse précoce, le gonflement de la vessie natatoire et la croissance des larves notamment dépendent de la salinité (Hintz & Relyea, 2017). Passé un certain seuil, les variations de salinité de l'eau ont donc des **conséquences léthales** sur les poissons. Les organismes ne peuvent plus maintenir leur balance osmotique et **osmoconforment** avec la concentration ionique du milieu (Evans & Kültz, 2020). Ce phénomène entraîne la **déstructuration des cellules** et induit des modifications du comportement alimentaire et de la nage, des perturbations dans la croissance (Tavares-Dias, 2022) et à terme, la **mort** de l'individu.

Une étude menée sur les poissons de la Werra river en Allemagne dans les années 1970 a retenu un seuil léthal de concentration de potasse (minerai formé principalement de chlorure de potassium (KCl)) de **80 mg/l** (Halsband, 1976).

Une autre étude menée dans des piscicultures, a mis en évidence que la toxicité du **chlorure de sodium** (NaCl) **variait considérablement** d'une espèce de poisson à l'autre (**3,5-150,0 g/l**) et dépendait de certains paramètres environnementaux (Tavares-Dias, 2022).

Évaluation de l'état des masses d'eau en France :

La salinité, en tant que taux de chlorures, taux de sulfates et conductivité, n'entre pas dans les paramètres d'évaluation de la qualité physico-chimiques des eaux de surface dans le cadre de la DCE. Les connaissances actuelles sont jugées **insuffisantes pour fixer des seuils fiables**.

Le taux de chlorure est en revanche pris en compte dans le volet « Minéralisation » du **SEQ-EAU v2** de 2003. Cet outil permet d'apprécier la qualité physico-chimique des cours d'eau à travers différentes grilles d'évaluation. Le chlorure ne dispose que d'un seuil séparant « Bonne » et « Mauvaise » qualité. Ce dernier est fixé à **200 mg/l**.

4.2. Les sulfates

L'augmentation des concentrations de sulfates (SO_4^{2-}) dans les systèmes d'eau douce influence les **processus biogéochimiques** du carbone, de l'azote et du phosphore. La littérature scientifique a clairement démontré que la pollution aux sulfates avait des **effets toxiques** sur les organismes aquatiques dont les plantes, les poissons, les invertébrés et les amphibiens (Zak et al., 2021).

Karjalainen et al. (2023) ont mesuré la sensibilité critique de 10 familles d'animaux et de plantes aux sulfates :

- Les Salmonidés et les Cyprinidés chez les poissons ;
- Les Unionidés chez les Bivalves ;
- Les Lymnées pour les Gastéropodes ;
- Les Chironomes chez les Diptères ;
- Les Daphnidés et les Rotifères pour les microinvertébrés ;
- Les Oligochètes ;
- Les Aracées (plantes vasculaires) et les Sélénastracées (algues vertes) pour les végétaux.

Ils ont montré que la plupart des organismes sélectionnés pouvait **tolérer de fortes concentrations** de sulfates. Les concentrations **chroniques** efficaces médianes étaient de l'ordre de **1000 mg/l**. Sur cette base, les chercheurs ont pu extrapoler que la concentration de sulfates dangereuse pour 5 % des organismes aquatiques dans les eaux douces était comprise entre **117 et 194 mg SO_4/l** .

Évaluation de l'état des masses d'eau en France :

Dans le cadre de la DCE, les sulfates entrent dans les paramètres permettant de décrire la salinité. Comme évoqué à la fin du paragraphe précédent, il n'est **pas pris en compte dans l'évaluation DCE** de la qualité physico-chimiques des eaux de surface.

Il possède en revanche un seuil de la qualité unique dans le **SEQ-EAU v2** qui fixe la bonne qualité à maximum **250 mg/l**.

4.3. La dureté

L'augmentation de la dureté de l'eau peut également avoir de **effets néfastes** sur la biodiversité aquatique. Elle induit, comme pour la salinité, un **stress osmotique** et une **toxicité ionique spécifique**, tout particulièrement avec le **calcium** (Ca^{2+}) et le **magnésium** (Mg^{2+}) dont les concentrations sont normalement faibles en eau douce (Griffith, 2017).

Elphick et al. en 2011 se sont intéressés aux interactions entre dureté de l'eau (en tant que calcium CaCO_3) et **toxicité du chlorure** (NaCl) en vue de proposer des valeurs seuils référentes. Les tests ont été effectués sur neuf espèces d'eau douce (un Rotifère, un Caldocère, un Copépode, deux poissons, deux Annélides, un Diptère et un Crustacé). Les **Cladocères** se sont révélés être les **plus sensibles** aux variations des deux facteurs analysés. Ils ont permis de retenir des concentrations de **chlorure critiques** évoluant de **64 mg/l à 10 mg/l de dureté à 388 mg/l à 160 mg/l de dureté**. En multipliant par 16 la dureté de l'eau, le seuil de toxicité du chlorure n'augmente que selon un facteur 6. Le calcium n'accroît donc pas la toxicité du chlorure.

La même année, Soucek et al. (2011) sont arrivés à des conclusions similaires en montrant **l'effet positif de la dureté de l'eau sur la toxicité du chlorure**. En effet, la concentration létale médiane pour certains microorganismes était deux fois moins élevée à 800 mg/l de dureté qu'à 50 mg/l.

Évaluation de l'état des masses d'eau en France :

La dureté n'est **pas systématiquement mesurée** pour l'évaluation DCE de la qualité physico-chimique des cours des eaux de surface. Elle peut être prise en compte dans le cadre de l'étude des **métaux lourds et de leurs composés** car elle affecte la **biodisponibilité** de ces derniers.

Les taux de calcium et de magnésium sont décrits dans le volet « Minéralisation » du SEQ-EAU v2.

Si le **taux de calcium** est compris entre **32 et 160 mg/l**, il traduit une « **Très bonne** » qualité physicochimique, sinon elle est « **Médiocre** ».

Le **taux de magnésium** présente quant à lui un découpage en **5 classes** : « Très bonne », « Bonne », « Moyenne », « Médiocre » et « Mauvaise ».

Magnésium (mg/l)	50	75	100	400	
-------------------------	-----------	-----------	------------	------------	--

4.4. Les métaux lourds : cuivre

L'exposition à de faibles concentrations de Cu peut entraîner une **toxicité chronique** chez les organismes aquatiques comme **l'altération des fonctions sensorielles**. Cependant, la plupart des symptômes peuvent progressivement disparaître après l'arrêt de l'exposition. A l'inverse, des quantités excessives de Cu peuvent avoir des **effets néfastes** sur la croissance, le développement, le métabolisme, l'activité immunologique, les fonctions cardio-respiratoires, etc. voire à terme **léthales** (Liao et al., 2023).

La même étude a rapporté que la **valeur critique** du Cu évoluait de **2,73 µg/l** (*Daphnia*, genre de Cladocères) à **107 880 µg/l** (*Notemigonus crysoleucas*, espèce de Cyprinidé d'Amérique du Nord). Les seuils d'**exposition chroniques** provoquant les **premiers effets néfastes** allaient de **2,83 µg/l** (*Daphnia*, genre de Cladocères) à **249 µg/l** (*Cyprinodon variegatus*, espèce de Vairon d'Amérique du Nord).

Évaluation de l'état des masses d'eau en France :

Certains métaux lourds comme le zinc, le cuivre et le chrome ont été **retenus par la DCE** pour l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de surface dans la catégorie « **polluants spécifiques non synthétiques** ».

La **Norme de Qualité Environnementale** unique qui détermine si la qualité est bonne ou non est fixée à **1 µg/l**.

La concentration en cuivre peut être corrigée en premier lieu par la biodisponibilité, notamment en utilisant le modèle BLM (*Biotic Ligand Model*).

4.5. Polluants spécifiques : arsenic

L'arsenic se fixe majoritairement à **l'exosquelette des invertébrés** et dans le **foie des poissons**. Les **algues** restent cependant l'organisme aquatique le plus **bio-accumulateur** de ce polluant (R. Garnier et al., 2008).

L'exposition à des seuils de **toxicité chronique et critique** est dans tous les cas associée à des effets **fatals** chez les organismes aquatiques : empoisonnement, altération de la reproduction et de la croissance, troubles immunitaires, lésions cellulaires et tissulaires et mort cellulaire (Byeon et al., 2021).




Évaluation de l'état des masses d'eau en France :



L'arsenic a été **retenu par la DCE** pour l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de surface dans la même catégorie que les métaux lourds « **polluants spécifiques non synthétiques** ».

La **Norme de Qualité Environnementale** unique qui détermine si la qualité est bonne ou non est fixée à **0,83 µg/l**.

5. Méthodologies du diagnostic

Les méthodes de prospection sont présentées ici de manière simplifiée. Le détail des protocoles de prélèvement et d'analyse ainsi que les méthodologies de calcul sont annexés au présent document.

Groupe ou thématique ciblé	Date d'intervention	Conditions météorologiques	Méthode
Hydromorphologie	18 et 19/07/2023	Chaud et ensoleillé	<ul style="list-style-type: none"> • Prospection intégralement à pied le long ou dans le cours d'eau : 1 km du fossé SNCF Ouest, 1,3 km du ruisseau des Broustats et 1 km sur le Crembreux après la confluence ; • Cartographie et caractéristiques détaillées directement sur tablette (Photos 1) <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;"><i>Photos 1 : Prospection du linéaire et saisie sur tablette</i></p>
Macroinvertébrés benthiques	19/07/2023		<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements des invertébrés par micro-habitats suivant des critères d'habitabilité et de recouvrement (protocole MPCE, NF T90-333) (Photo 2) ; • Calcul et analyse de l'I2M2(NF T90 388). <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><i>Photo 2 : Prélèvement MPCE</i></p>

Groupe ou thématique ciblé	Date d'intervention	Conditions météorologiques	Méthode
Diatomées	19/07/2023		<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvement des diatomées par brossage de pierres immergées (NF T90-354) (Photo 3) ; • Traitement des échantillons et calcul des indices (IBD et IPS) par un laboratoire partenaire (Bi-Eau).  <p data-bbox="1018 775 1275 801"><i>Photo 3 : Prélèvement IBD</i></p>
Poissons	18 et 19/07/2023		<ul style="list-style-type: none"> • Inventaire des poissons et des écrevisses par pêche électrique (NF EN 14011) (Photo 4) ; • Calcul de l'IPR (XP T90-344).  <p data-bbox="959 1258 1334 1285"><i>Photo 4 : Pêche électrique et biométrie</i></p>

6. Étude de l'hydromorphologie des cours d'eau

Dans la mesure du possible, l'intégralité du linéaire depuis la confluence entre les fossés Nord et SCNF Ouest jusqu'au Crembreux sur environ 1 km a été prospectée à pied, soit en longeant par la berge, soit en progressant directement dans le lit du cours d'eau. Certains secteurs situés dans le périmètre de carrières voisines n'ont pas pu être prospectés (notés NA sur les cartes ci-après).

Les cours d'eau ont été découpé en grands tronçons homogènes. Les enjeux écologiques associés découlent du potentiel estimé à partir des caractéristiques hydromorphologiques (capacités d'accueil) et non des espèces effectivement observées.

6.1. Ruisseau des Broustats

Le Tableau 2 décrit les tronçons identifiés sur le ruisseau des Broustats.

Tableau 2 : Morphologie du ruisseau des Broustats

Principales caractéristiques	Illustrations
<p>1) Fossé SNCF Ouest</p> <p>Il s'écoule entre le front Est de la carrière et la ligne SNCF.</p> <p>Il est intégralement artificialisé et se caractérise par une alternance de passages busés (5) et canalisés (5). Le fossé reçoit les eaux d'exhaure de Stinkal quelques mètres à l'amont de la rue de Beaulieu qui traverse le site (cf étoile sur la Carte 4).</p> <p>Les sections libres sont contraintes dans un canal béton rectangulaire de moins d'1 m de large. Par temps chaud et sec, comme c'était le cas lors du passage en juillet, les écoulements sont très réduits et ne semblent alimentés que par le rejet. Cela induit un fort colmatage à la fois végétal (algues filamenteuses) et minéral (vases/limons).</p> <p>La hauteur des berges et les marques de crues sur les murs, témoignent de sa capacité à monter en charge lors des forts épisodes pluvieux (Rappelons que le fossé réceptionne les eaux d'autres carrières, de la STEP et des communes à l'amont).</p> <div data-bbox="167 1742 660 1812" style="background-color: red; color: white; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 20px;"> Enjeux écologiques nuis à très faibles </div>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;">    </div>

Principales caractéristiques

Illustrations

Remarque :

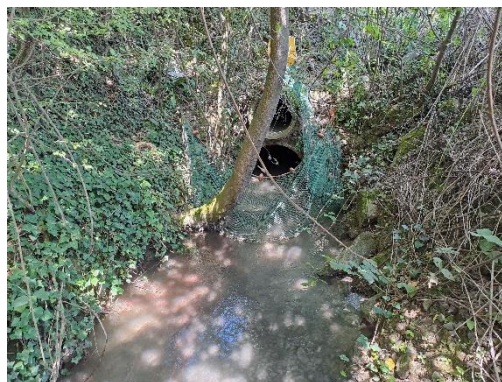
Deux portions n'ont pas pu être décrites. Elles étaient entièrement grillagées pour réduire le risque d'accident sur ces secteurs d'ordinaire peu entretenus (débroussaillage uniquement pour notre intervention). La densité de la végétation occultait entièrement le cours d'eau.



2) Stations hydrobiologiques

Le fossé résurge par une **buse** au coin sud-est du site de Stinkal. Ce tronçon correspond aux **stations MPCE et IPR adapté** du ruisseau des Broustats. Toutes les caractéristiques du tronçon sont précisées plus loin dans le dossier dans les premiers **paragraphes du 7.1.1 et du 7.1.3**.

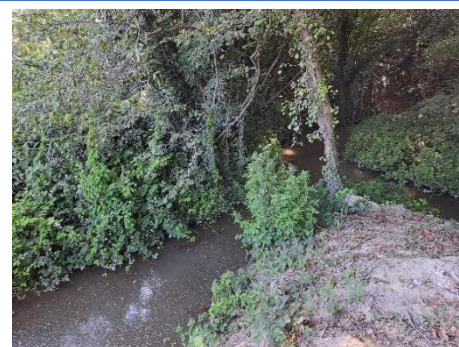
Le secteur est **totalemt ombragé**. La lame d'eau est **réduite**. Les écoulements dépendent directement de la **pompe du rejet** qui induit dans le même temps, une **forte turbidité** lorsqu'il est en marche.



Enjeu écologique faible

Confluence des fossés SNCF

Le fossé Ouest conflue 50 m plus bas avec le fossé SNCF Est après son passage sous la voie ferrée. C'est à partir de ce point que le ruisseau des Broustats **reprend son cours historique**.



Principales caractéristiques

Illustrations

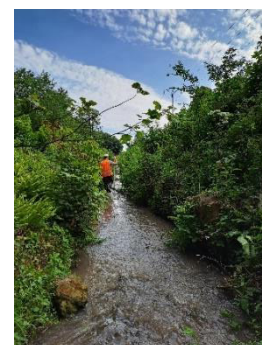
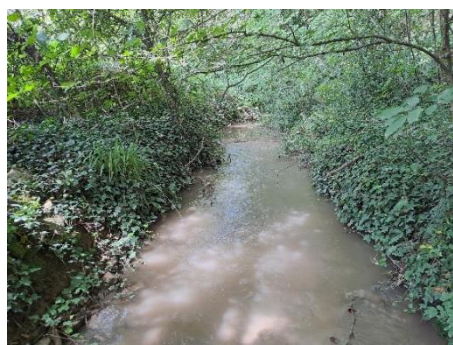
3) Alternance plat courant-radier

Le reste du linéaire évolue entre **secteurs boisés et friches arbustives/herbacées denses**. Les écoulements passent d'un long chenal courant à une **alternance entre plat courant et radiers**. La largeur en eau est **constante** (environ 2 m) et la profondeur varie entre **15 et 40 cm**.

Les substrats dans les secteurs les plus lenticques sont dominés par la **vase** et la matière organique grossière (**litière**). La réduction de la lame d'eau et l'accélération des écoulements sur les autres secteurs favorise les **substrats pierreux**. **Aucune végétation aquatique** ne s'est développée.

Le ruisseau est dans l'ensemble **fortement colmaté et très turbide** (fond non visible au-delà de 20 cm). Il est ponctué d'**embâcles** et de **buses**. Des **concrétions calcaires** agissant comme des seuils se sont même formées par endroits. La **continuité écologique du secteur est fortement perturbée**.

Enjeux écologiques très faibles à faibles



4) Secteur des Dolomies (NA)

Le ruisseau passe sous la ligne SNCF au niveau de la STEP de Ferques avant de traverser le périmètre de la carrière des Dolomies. Il ressort par une buse le long du chemin piéton qui relie la rue de la Basse Ville à la rue du Pont. Cette portion n'a pas pu être décrite.

Le ruisseau des Broustats rejoint le Crembreux une soixantaine de mètres à l'aval.



6.2. Le Crembreux

Le Tableau 3 décrit les tronçons identifiés sur le Crembreux.

Tableau 3 : Morphologie du Crembreux

Tronçon	Descriptif
<p><u>Confluence Broustats-Crembreux</u></p> <p>Le ruisseau des Broustats alimente le Crembreux en rive droite.</p> <p>Lors du passage mi-juillet 2023, le Crembreux était entièrement à sec sur une distance importante et non-indéterminée à l'amont de la confluence. Le ruisseau des Broustats assure donc le soutien d'étiage du Crembreux à l'aval.</p>	
<p><u>5) Crembreux aval confluence</u></p> <p>A l'aval de la confluence, le Crembreux passe d'une courte section de plat lentique à une alternance de plat courant/radier. La largeur du lit évolue entre 3 et 5 m. La lame d'eau oscille entre 10 et 20 cm de profondeur.</p> <p>Le Crembreux s'écoule en contexte boisé plus ou moins dense. L'ombrage sur le cours d'eau est ainsi moyen à très fort.</p> <p>Les substrats sont quasi exclusivement minéraux avec une dominance de pierres-graviers et des blocs éparses. Quelques placettes de bryophytes et les chevelus racinaires de grands arbres isolés viennent enrichir ponctuellement la gamme des habitats disponibles pour la faune aquatique.</p> <p>Les berges sont verticales et fortement érodées. Elles témoignent de la forte réactivité du Crembreux aux épisodes pluvieux intenses.</p> <div data-bbox="167 1659 660 1727" style="background-color: #76923c; color: white; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>Enjeux écologiques moyens</p> </div>	

Tronçon	Descriptif
<p>6) Secteur du Haut-Blanc (NA)</p> <p>Le Crembreux pénètre le périmètre de la carrière de la Vallée Heureuse par un large passage busé sous la D243.</p> <p>Les prospections n’ont pas pu être conduites plus loin.</p>	

6.3. Synthèse des prospections

Le **ruisseau des Broustats** a été **très fortement modifié**. Le premier kilomètre de cours d’eau a été **entièrement artificialisé** avec l’implantation de la ligne SNCF et des sites d’extraction. Il est systématiquement **busé** ou **canalisé**. Au regard des données cartographiques, la partie amont du ruisseau correspondrait aujourd’hui au fossé SNCF Ouest. Les enjeux sur ce secteur sont globalement **très faibles voire nuls**. Le ruisseau ne récupère son tracé d’origine qu’après la confluence entre les deux fossés SNCF. Il respecte ensuite globalement le tracé des cartes hydrographiques (légère rectification au niveau de la STEP le long de la ligne de chemin de fer). Le reste du linéaire évolue entre secteurs **boisés** et **friches**. Il passe d’un long **chenal courant** à une **alternance entre plat courant et radiers**. Le ruisseau est dans l’ensemble **fortement colmaté** et **turbide** (fond non visible au-delà de 20 cm). Le reste du linéaire présente des enjeux globalement faibles.

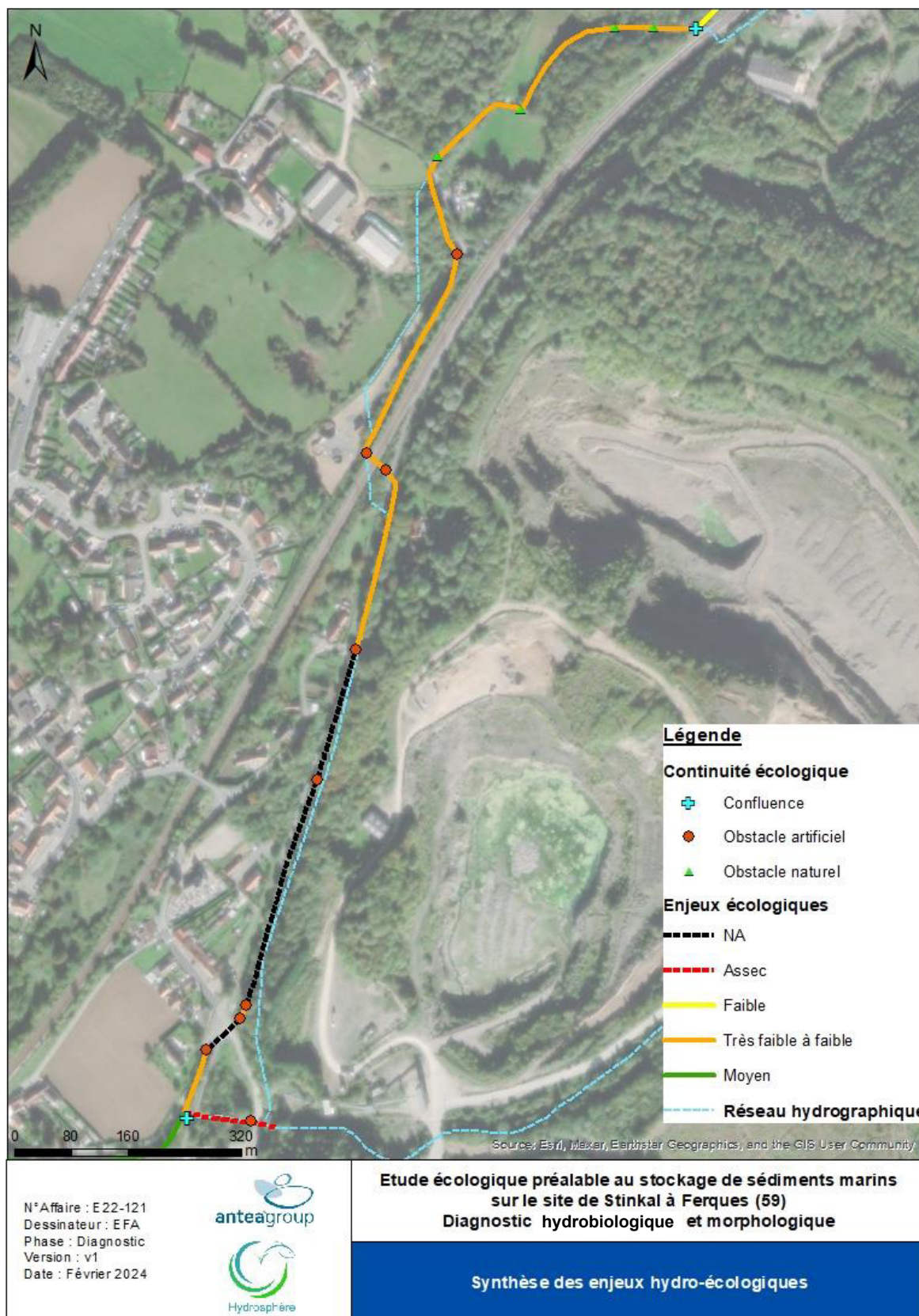
Les Carte 4 et Carte 5 reprennent les enjeux écologiques identifiés sur le fossé SNCF Ouest et sur le ruisseau des Broustats ainsi que les obstacles à la continuité écologique.

Le Crembreux était à sec sur un linéaire non-déterminé à l’amont de sa confluence avec les Broustats. Ce dernier semble donc lui assurer un **soutien d’étiage essentiel**. Le cours d’eau semble ainsi caractérisé par une **forte instabilité hydrologique** avec des période d’assec et des épisodes de crue importants. Son **lit très encaissé** et les marques **d’érosion en berge** à plus d’1 m de hauteur en sont les témoins. La lame d’eau et les écoulements étaient réduits à leur minimum lors du passage en juillet 2023, réduisant considérablement les potentialités d’accueil du secteur. En dehors de ces constats, le cours d’eau abrite tout de même une **belle diversité d’habitats** (bryophytes, racines, blocs, sous-berge, fosses, etc.) qui lui confère un enjeu écologique globalement **moyen**.

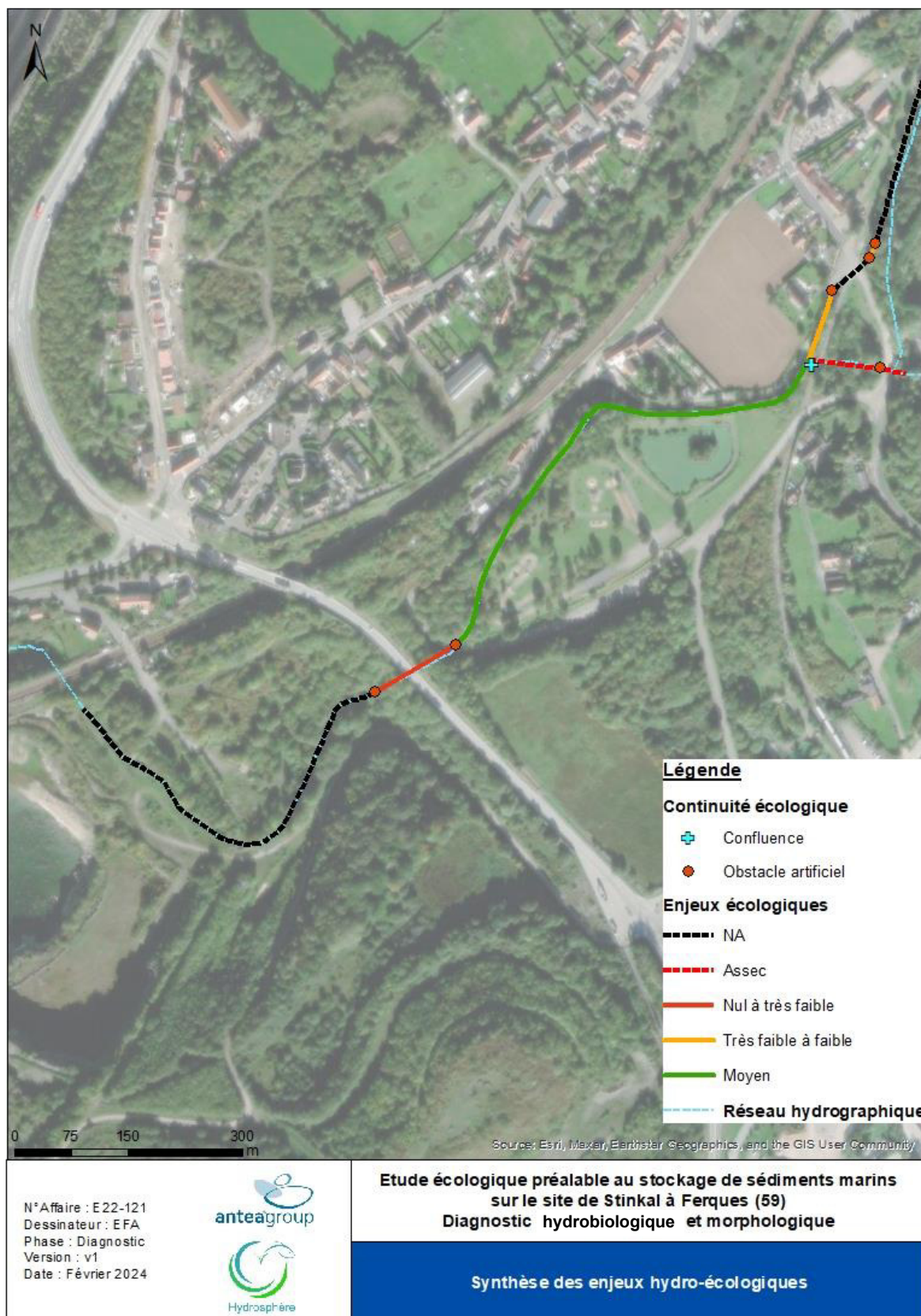
La Carte 6 reprend les enjeux écologiques et les obstacles à la continuité relevés sur le premier kilomètre du Crembreux après la confluence avec les Broustats.



Carte 4 : Synthèse des enjeux sur le fossé SNCF Ouest



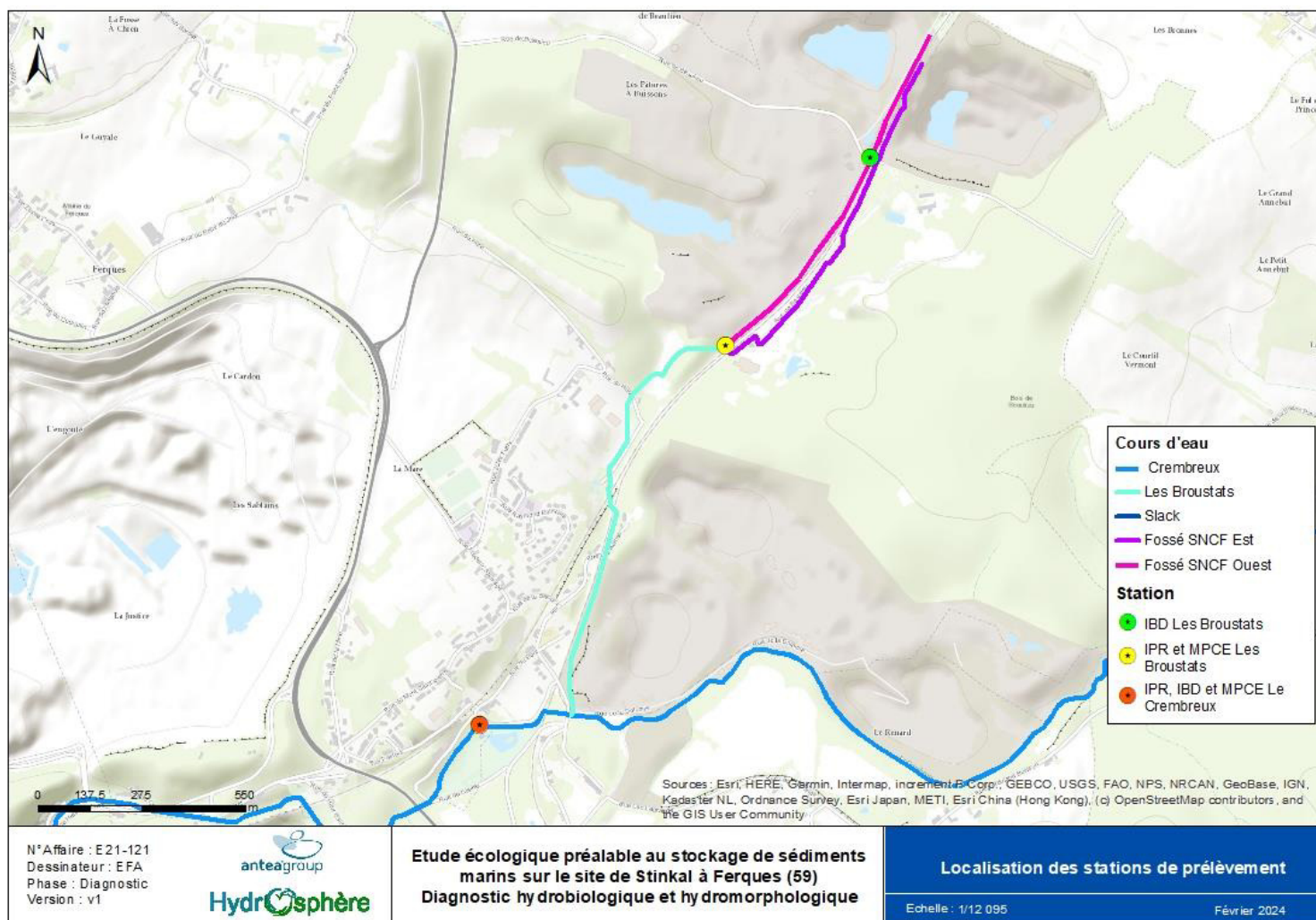
Carte 5 : Synthèse des enjeux sur le ruisseau des Broustats



Carte 6 : Synthèse des enjeux sur le Crembreux

7. Résultats des analyses hydrobiologiques

La Carte 7 précise la localisation des différentes stations d'analyse. Les données faunistiques (invertébrés et poissons) et floristiques (diatomées) complètes sont présentées en annexe.



Carte 7 : Localisation des stations

7.1. Ruisseau des Broustats (fossé SNCF Ouest)

7.1.1. Macroinvertébrés benthiques

Descriptif de la station

L'objectif de la présente étude est d'estimer les impacts du rejet de Stinkal sur son milieu récepteur. La station de prélèvement a donc été positionnée sur le **fossé SNCF Ouest** sur le seul linéaire « libre » (non busé) **avant la confluence avec le fossé Est** afin de limiter l'influence de ce dernier sur les résultats. On gardera tout de même le nom de « ruisseau des Broustats » pour cette station.

La norme NF T90-333 prévoit qu'en présence de **singularités**, la position et/ou la longueur de la station peuvent être adaptées. Elle ne précise pas de longueur minimum à prospector. Aussi, il n'est pas problématique ici de réduire la station (longueur théorique 90 m, longueur retenue 50 m).

Le ruisseau s'écoule au pied d'un grand **talus de plus de 6 m** de haut en rive droite. Il s'agit d'un ancien stock de matériaux stériles non valorisables (mélange de calcaires et d'argiles) qui a fait l'objet de mesures de valorisation écologique. L'ensemble étant complètement imperméable une mare a été créée au sommet. Elle sert à la fois de collecteur d'eaux de pluie et d'abris pour les amphibiens qui font d'ailleurs l'objet d'un suivi par les équipes du parc naturel voisin. Une prairie en éco-gestion a également été implantée. Aucun produit phytosanitaire n'y est utilisé. Le reste du merlon a été entièrement boisé. Le cours d'eau est ainsi totalement ombragé et n'abrite **aucune végétation aquatique**.

Il est également contraint en rive gauche par la voie ferrée dont il est séparé par un talus sub-vertical de 1 à 3 m. Celui-ci est colonisé par une végétation arbustive. Il n'y a pas de ripisylve (Photo 5).

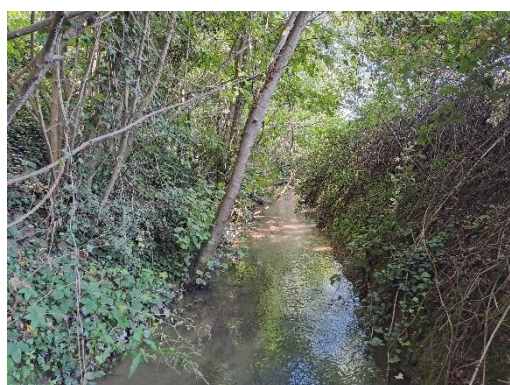


Photo 5 : Vue générale de la station depuis la limite aval



Photo 6 : Poste de nettoyage et pré-tri des prélèvements

Le lit du ruisseau est dominé par les graviers et les pierres dans les zones courantes et la vase dans les secteurs plus lenticulaires vers la confluence. Les longs chevelus racinaires en rive gauche offrent un habitat particulièrement attractif pour la macrofaune benthique. Le tout présente un colmatage calcaire important.

Les prélèvements MPCE (Photo 6) ont été réalisés selon le plan d'échantillonnage suivant (Tableau 4).

Tableau 4 : Plan d'échantillonnage MPCE sur le ruisseau des Broustats

Substrats	Représentativité	Phase A	Phase B	Phase C
Éléments organiques grossiers/Litière	Minoritaire	1 et 3	-	-
Chevelu racinaire	Dominant	-	5	-
Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets)	Dominant	-	6	-
Blocs déplaçables	Minoritaire	2 et 4	-	-
Granulats grossiers/Graviers	Dominant	-	7	9, 10 et 12
Vase	Dominant	-	8	11

A noter que contrairement aux consignes qui avaient été données, le rejet de la carrière a été activé pendant les prélèvements, entre 9h et 18h, entraînant une augmentation du débit, du niveau et surtout de la turbidité de l'eau. La visibilité restait suffisante et les prélèvements ont été réalisés dans des conditions convenables.

Notes indicielles et principales composantes

Le Tableau 5 synthétise les principaux résultats de l'analyse du peuplement de macroinvertébrés benthiques sur le ruisseau des Broustats en 2023.

Tableau 5 : Synthèse des résultats de l'analyse des macroinvertébrés sur le ruisseau des Broustats

Station		LES BROUSTATS
Hydroécocorégion		HER 09 – Tables calcaires
I2M2 (A+B+C)		
Valeur en EQR		0,0085
Classe de qualité		Mauvaise
Résultats des métriques ¹	Indice Shannon	0,0497
	ASPT score	0
	Polyvoltinisme	0
	Ovoviviparité	0
	Richesse I2M2	0
Richesse faunistique niveau B ²		23
« Equivalent IBGN » (A+B)		
Note indicielle		7/20
Classe de qualité		Médiocre
Groupe indicateur (GI)		2
Taxon indicateur (TI)		Gammaridae
Effectif du TI		1631
Richesse faunistique niveau A ³		19
Peuplement global (A+B+C)		
Taxons dominants ⁴		Gammaridae (54%) Oligochètes (32%)
% taxons polluo-résistants ⁵		38%
% taxons fragiles		41%



Photo 7 : Taxon indicateur GI2 - genre Gammarus, famille des Gammaridae

¹ Valeurs brutes converties en EQR

² Généralement le genre conformément à la norme NF T90-388 de décembre 2020

³ Généralement la famille conformément à la norme NF T90-388 de décembre 2020

⁴ Représentant > 10% des effectifs totaux

⁵ 4 groupes taxonomiques constitutifs du GI 1 (Chironomes, Asellidae, Achètes et Oligochètes)

⁵ Représentés < 3 individus

Avec une note I2M2 de seulement **0,0085**, le ruisseau des Broustats se classe en « **Mauvaise** » qualité biologique du point de vue des macroinvertébrés. La diversité est **très faible** avec 23 taxons identifiés (au niveau B, genre). Toutes les métriques exprimées en EQR sont **nulles** (quasi nulle pour l'indice de Shannon). Cela signifie que les résultats bruts obtenus sur la station sont **plus mauvais que les pires résultats** obtenus sur l'ensemble des données utilisées pour construire le modèle (environ 10 000 données).

Si on s'intéresse au détail des valeurs brutes, les scores sont **très mauvais**. L'indice de Shannon qui évalue la diversité spécifique et l'équitabilité est proche de 1 – il évolue généralement entre 0 et 5. L'ASPT score qui mesure le niveau de sensibilité du peuplement et qui peut aller jusqu'à 10 est ici inférieur à 4. La fréquence d'individus ovovivipares s'approche des 50%, tandis que celle des polyvoltins dépasse les 60%. Ces deux traits écologiques sont généralement sélectionnés dans les **milieux fortement perturbés**. Le premier offre une plus grande résistance et de meilleures chances de survie à la progéniture. Le second correspond à la capacité de se reproduire plusieurs fois dans l'année et ainsi multiplier les générations et renouveler la population plus rapidement.

La note IBGN équivalente ne prend en compte que les résultats des deux premières phases (A et B). Le ruisseau des Broustats obtient une note de **7/20** correspondant à une qualité biologique « **Médiocre** ». Avec seulement 19 familles identifiées, le peuplement est **pauvre** (classe de variété 6 sur 14). Le taxon indicateur retenu **Gammaridae**, fait partie du **G12 sur 9**. Il regroupe des taxons **ubiquistes** et **polluorésistants**. Les taxons de ce GI représentent près de **60% du peuplement**.

Un taxon plus polluosensible a été observé : **Psychomyiidae** du GI 4 mais en effectifs trop faibles pour être retenu (< 3 ind.). Les larves de trichoptère du genre *Tinodes* construisent leurs galeries sur les **dalles calcaires**, tandis que les adultes, lorsqu'ils émergent, recherchent l'humidité et l'ombrage. Il est donc tout à fait logique de le trouver ici. Cependant, seuls 2 ind. ont été échantillonnés, ce qui montre que la population n'est pas bien installée sur la station. Ce peut être la conséquence des « **coups d'eau** » causés par le rejet qui fait **dériver les larves** vers l'aval. La consolidation de cette population de trichoptères est le seul point d'amélioration qui se dégage de l'analyse.

Composition et structure du peuplement

Le peuplement est dominé à presque **90% par les Crustacés et les Annélidés** (Figure 2). Les premiers regroupent un ensemble de taxons **détritivores**, capables de supporter des **pollutions importantes** et des **conditions hydrologiques extrêmes**. Les seconds se composent des Oligochètes, communément appelés **vers de vase** et des **sangsues**. Lorsqu'ils sont en surnombres comme c'est cas ici, ils témoignent d'un **déséquilibre organique** dans les eaux.

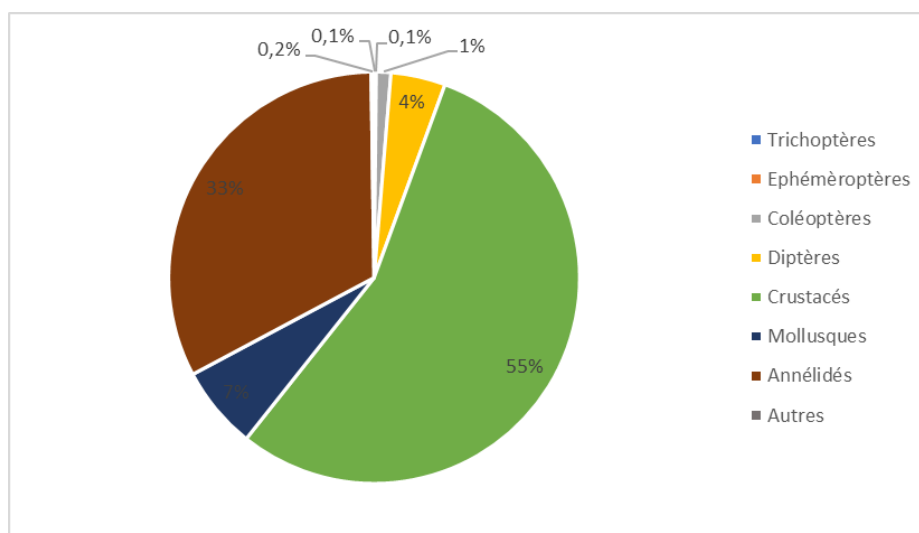


Figure 2 : Répartition du peuplement de macroinvertébrés sur le ruisseau des Broustats

Ce cortège est complété par les **Mollusques**, principalement représentés par les Sphaeriidae, petits bivalves **filtreurs** et les larves de **Diptères** avec :

- Les Ceratopogonidae¹, inféodées aux milieux **riches en matière organique, détritivores** et carnivores. Ils sont généralement marqueurs de **niveaux d'eau fluctuant** car les larves aiment se nicher dans la matière en décomposition humide ;
- Les Chironomes², **ubiquistes** et généralement **peu exigeant sur la qualité** physico-chimique des eaux ;
- Les Tabanidae³ qui se développent dans la **vase** ou la **litière**.

Ils viennent confirmer la suspicion d'une **surcharge organique** sur le ruisseau des Broustats et témoignent de son **instabilité hydrologique**.

¹ Les adultes volant sont des petits moucheron piqueurs hématophages.

² Les adultes volant ressemblant à des moustiques avec des antennes plumeuses mais ils ne sont pas capables de piquer.

³ Plus communément appelés Taons, les adultes ressemblent à de grandes mouches et la femelle piqueuse est hématophage.

Outil diagnostic

L'outil diagnostic ODInvertébrés développé en complément de l'I2M2, permet d'identifier la/les catégorie(s) de pression(s) anthropique(s) présentant la/les plus forte(s) probabilité(s) d'expliquer l'état du peuplement. Il se base sur l'analyse des **traits biologiques** et des **stratégies écologiques** utilisées par les communautés d'invertébrés en réponse à ces pressions. Elles sont divisées en deux familles : celles **altérant la qualité physico-chimique** des eaux et celles entraînant une **dégradation des habitats**. Les résultats se présentent sous la forme de **diagrammes radars** (Figure 3). En milieu fortement modifié, on considère une probabilité de pression comme significative lorsqu'elle affiche un score **supérieur à 70%**.

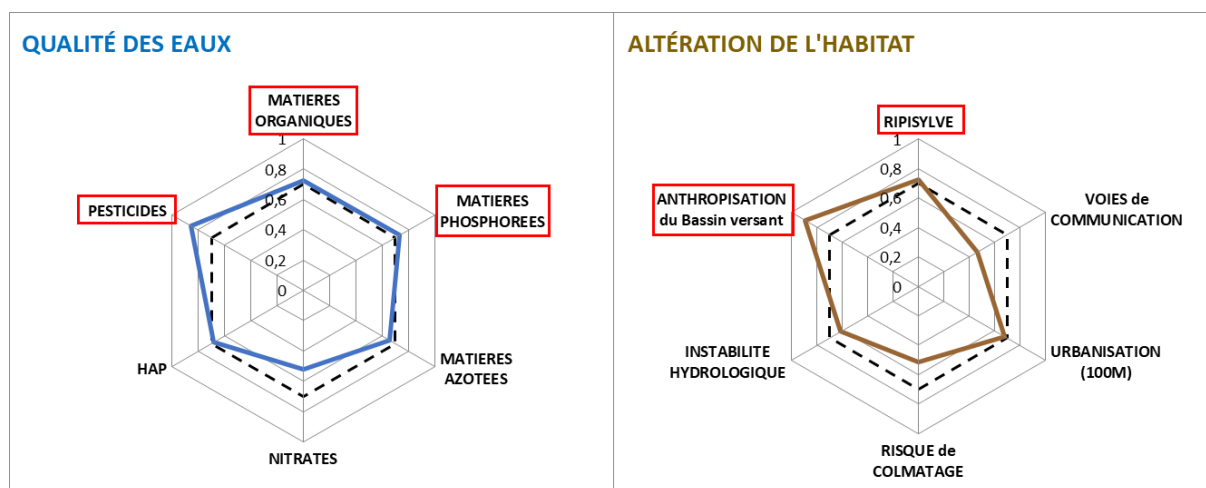


Figure 3 : Diagrammes radars issus de l'outil diagnostic sur le ruisseau des Broustats

5 catégories de pressions sont considérées comme fortement probables d'expliquer l'état dégradé du peuplement de macroinvertébrés sur le ruisseau des Broustats :

- Les taux de **matières organiques**, de **pesticides** et de **matières phosphorées** en influant négativement sur la qualité physico-chimique des eaux ;
- L'état de **ripisylve** et le niveau **d'anthropisation** du bassin versant qui conditionnent la qualité des habitats.

Ces résultats sont **en accord avec le contexte** du site, les observations de terrain et éléments mis en évidence par l'analyse du peuplement de macroinvertébrés.

Comme évoqué en introduction, le fossé SNCF Ouest ne draine pas que les eaux de la voie ferrée et de la carrière. Il reçoit également les eaux du fossé Nord qui draine toute la plaine agricole de Landrethun-le-Nord et sa STEP. Cela peut expliquer les pics observés au niveau des produits phytosanitaires (pesticides et phosphores, l'azote est juste le seuil des 70%).

Le ruisseau est busé ou canalisé sur plus de la moitié de son cours et il longe une carrière et une ligne de chemin de fer. Le caractère anthropisé de son bassin versant ne fait donc pas débat.

7.1.2. Diatomées

Descriptif de la station

Les prélèvements de diatomées n'ont pas été fait au niveau de la station MPCE car celle-ci est trop ombragée. La norme NF T90-354, stipule que les substrats pierreux prélevés doivent être bien ensoleillés pour maximiser le développement de ces micro-organismes végétaux photosynthétiques. Là encore, « ruisseau des Broustats » est conservé comme nom de station.

Le **ruisseau des Broustats** est busé et canalisé sur sa partie amont. Il ne ressort que sur une dizaine de mètres au milieu de la carrière (Photo 8 et Photo 9). C'est à cet endroit qu'a été réalisé le prélèvement (Photo 10). L'ombrage y est quasiment nul. Le cours d'eau est encaissé entre deux berges béton verticales de 1,80 m de haut. Sans entretien, la végétation arbustive (principalement des ronces) colonise le haut des berges et tombe dans le canal.

Le lit mineur est constitué de petites pierres et de débris minéraux colmatés.



Photo 8 : Vue de la station depuis l'aval vers l'amont



Photo 9 : Vue de la station depuis l'amont vers l'aval



Photo 10 : Prélèvement des diatomées par MKA

Notes indicielles et principales composantes

Le Tableau 6 résume les résultats des analyses diatomiques de la campagne de juillet 2023.

Tableau 6 : Synthèse des résultats de l'analyse des diatomées sur le ruisseau des Broustats

	Ruisseau des Broustats
EQR	0,67
Classe de qualité DCE associée	Moyenne
IBD (note/20)	12,4
Classe de qualité associée	Moyenne
IPS (note/20)	12
Taxons dominants (>10% eff.)	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (35%) <i>Cocconeis euglypta</i> (22%) <i>Gomphonema parvulum</i> (19%) <i>Cocconeis pediculus</i> (11%)
Richesse taxinomique (nb. taxons/récolte)	19
Indice de diversité spécifique de Shannon (bits/ind.)	2,66
Équitabilité	0,63

Le ruisseau des Broustats se classe en qualité biologique « **Moyenne** » au regard de son peuplement de diatomées. Les **résultats sont homogènes** puisque tous les indices affichent des scores proches.

Le cortège est dominé par *Rhoicosphenia abbreviata* (35%) qui dénonce un milieu **riche en nutriments**. Elle est secondée par *Cocconeis euglypta* (22%), *Gomphonema parvulum* (19%) et *Cocconeis pediculus* (11%). Ces trois taxons supportent des **eaux eutrophes**. *Gomphonema parvulum* tolère également de **fortes concentrations en matière organique**.

La structure du peuplement est caractéristique d'un cours d'eau qui subit des **pollutions par intermittence**. *Cocconeis pediculus* peut traduire une certaine **richesse en électrolytes**. Cette observation est confirmée par les résultats des analyses physico-chimiques qui montrent un **marquage en anions et cations** dès l'amont de la carrière (présence d'une ICPE à Caffiers, SCORA, qui est spécialisée dans la chimie du Calcium et du Magnésium) (source : Antea).

7.1.3. Ichtyofaune

Descriptif de la station

La station de pêche est la même que la station MPCE. Elle est bornée à l'amont par la buse de résurgence du cours d'eau et se termine juste en dessous de la confluence (Photo 11 et Photo 12). Aucun point n'a été réalisé dans le fossé Est. La norme NF EN 14011 de 2003 qui décrit les méthodes de pêche à l'électricité prescrit une longueur de la station d'au moins 20 fois la largeur de la rivière avec un minimum de 60 m prospectés. Avec seulement 50 m de station, on se trouve en dehors du cadre d'application du protocole qui permet le calcul de l'IPR (XP T90-344). La note indiciaire a tout de même été calculée mais elle est à nuancer.

Pour rappel, les caractéristiques de la station sont précisées au paragraphe 7.1.1.



Photo 11 : Limite amont - buse de résurgence du cours d'eau après son passage dans la carrière

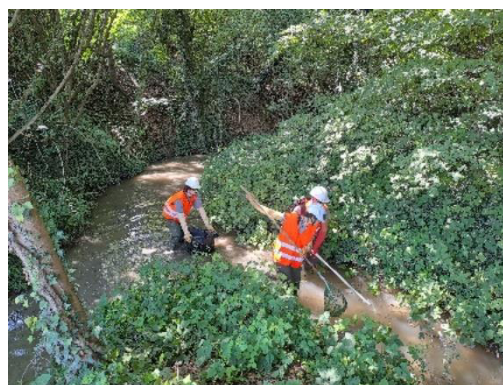


Photo 12 : Début de l'opération de pêche électrique - limite aval au niveau de la confluence

Principaux résultats

Les principaux résultats issus de la pêche électrique réalisée sur le ruisseau des Broustats le 18/07/2023 sont synthétisés dans la Figure 4.

Figure 4 : Synthèse des résultats de la pêche réalisée sur le ruisseau des Broustats

RESULTATS DES INVENTAIRES PISCICOLES							
MAITRE D'OUVRAGE :	ANTEA GROUP		COORDONNEES RGF 93	X: 614 365			
CONTEXTE DE L'ETUDE :	Etat initial			Y: 7 081 864			
NUMERO DE DOSSIER :	21-121		DATE DES ANALYSES :	18/07/2023			
STATION DE PECHE			PHOTOS				
Cours d'eau	Ruisseau des Broustats						
Commune	Ferques						
Lieu-dit / Nom du site / N° station	Les Broustats						
Bassin versant (km²)	5 km²						
Longueur (m)	49 m						
Largeur (m)	2 m						
Moyen de prospection	A pied						
Méthode d'échantillonnage	Complète						
Nb. de points de pêche en EPA	-						
Surface pêchée (m²)	93 m²						
Distance à la source (km)	1,0 km						
CONDITIONS							
Heure de début	14:20						
Heure de fin	14:40						
Temps de pêche (h)	0:20						
Turbidité	Moyenne						
Hydrologie	Basses eaux						
LISTE FAUNISTIQUE							
NOM	NOM VERNACULAIRE	CODE	Effectif	Densité (/ 100m²)	%	Biomasse (g)	%
Epinoche	<i>Gasterosteus gymnurus</i>	EPI	16	17,2	100,0%	16	100,0%
TOTAL			16	17	100%	16 g	100%
DIVERSITE TOTALE	1		REMARQUES :				
DIVERSITE "IPR"	1		Conditions hors protocole (longueur minimale de 60m non respectée), IPR donné à titre indicatif				
NOTE IPR	43,21						
QUALITE PISCICOLE	MAUVAISE		Rejet de la carrière actif pendant la pêche				
<input type="checkbox"/>	Espèce non prise en compte dans l'IPR		<i>Espèce patrimoniale</i>				
<input type="checkbox"/>	Peuplement typique (probabilité de présence généralement > 50 %)		<i>Espèce susceptible de provoquer des déséquilibres biologiques</i>				
<input type="checkbox"/>	Peuplement atypique (probabilité de présence < 10%)						

Avec une note de **43,21**, le ruisseau des Broustats se classe en « **Mauvaise** » qualité du point de vue de son peuplement piscicole.

Composition et structure du peuplement

Une seule espèce a été capturée : L'**Épinoche** (Photo 13) avec 16 individus pour une biomasse de 16 g.

Compte tenu de la faible taille des individus capturés (entre 2 et 4 cm), il n'est pas possible de dire s'il s'agit de juvéniles ou de mâles – qui ne mesurent que la moitié voire 1/3 de la taille de la femelle même adultes. En revanche, des grosses femelles ont été observées dans la fosse au niveau de la confluence entre les deux fossés. L'espèce semble donc **bien installée** et sa reproduction est quasi avérée sur le secteur. Elle dispose également largement de ressources alimentaires puisqu'elle se nourrit de micro-invertébrés benthiques comme les **Crustacés**, les **Mollusques** et les **Chironomes** (cf 7.1.1).

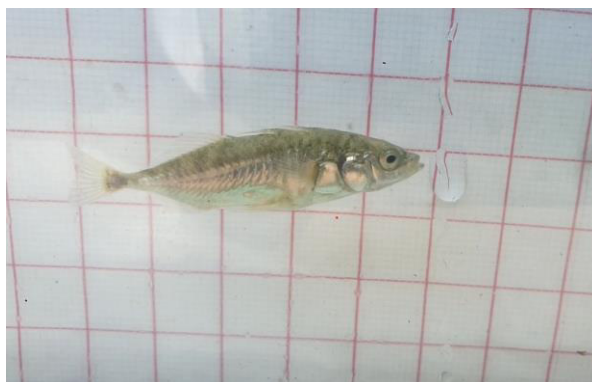


Photo 13 : Epinoche capturée sur le Crembreux

L'Épinoche est un poisson **peu sensible à la pollution**, qui affectionne les **milieux stagnants à lentiques** sur un **substrat meuble et végétalisé**. Il n'est donc pas surprenant de la trouver ici.

Elle n'est pas menacée en France et ne dispose d'aucun statut de protection.

Analyse des statistiques de l'IPR

Le Tableau 7 détaille les résultats des métriques constitutives de l'indice IPR.

Tableau 7 : Métriques constitutives de l'IPR sur les Broustats

Ruisseau des Broustats					
Métriques	Code	Valeur théo.	Valeur obs.	Score associé	Poids
Nb. d'esp. Total	NTE	4,00	1,00	3,85	9%
Nb d'esp. lithophiles	NEL	1,73	0,00	6,00	14%
Nb d'esp. Rhéophiles	NER	1,16	0,00	5,57	13%
Dens. d'ind. Tolérants (/ m ²)	DIT	0,03	0,17	4,17	10%
Dens. d'ind. omnivores (/ m ²)	DIO	0,04	0,17	3,82	9%
Dens. d'ind. invertivores (/ m ²)	DII	0,43	0,00	16,18	37%
Dens. totale d'ind. (/ m ²)	DTI	0,72	0,17	3,62	8%
				IPR	43,21
				Qualité	Mauvaise

 Métrique fortement pénalisante (poids dans la note ≥ 30%)

 Métrique moyennement pénalisante (poids dans la note ≥ 10%)

Plus de la moitié des métriques pénalisent significativement la note IPR. Aucune espèce **lithophile**⁴, ni aucun poisson **rhéophile**⁵ n'a été observé alors que l'IPR en attendait au moins un.

Avec un score de 16, la densité d'individus **invertivores** est la métrique qui pèse le plus lourd dans la note (37%). L'Épinoche qui est la seule espèce à avoir été échantillonnée est considérée par l'IPR comme omnivore, même si dans les faits, elle est plutôt carnivore -invertivore

⁴ Qui affectionne les substrats pierreux

⁵ Inféodée aux milieux courant

Selon les modélisations de l'IPR basées sur les caractéristiques hydromorphologiques de la station, **4 espèces étaient attendues** dans l'échantillonnage. Elles sont classées par probabilité de présence dans la Figure 5.

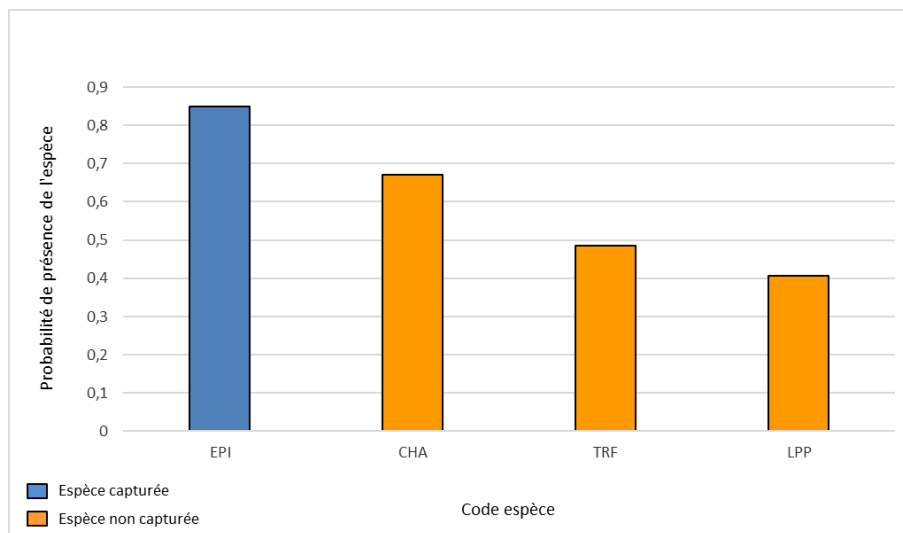


Figure 5 : Peuplement piscicole attendu sur les ruisseau des Broustats selon l'IPR (probabilité de présence >50%)

Une seule des quatre espèces attendues a été effectivement capturée : l'Épinoche, qui avait d'ailleurs la plus forte probabilité d'occurrence. Les espèces manquantes sont le **Chabot** (Photo 14), la **Truite fario** (Photo 15) et la **Lamproie de Planer** (Photo 16).



Photo 14 : Chabot - photo ex situ



Photo 15 : Truite fario - photo ex situ



Photo 16 : Lamproie de Planer - photo ex situ

A titre indicatif, la capture d'un individu de Chabot ou de Truite, poissons litho-rhéophile, allègerait la note IPR de plus de 10 points qui correspondrait alors à une classe de qualité « **Médiocre** ». L'isolement du tronçon, la faible lame d'eau, l'instabilité hydrologique et surtout de la qualité physico-chimique de l'eau, sont autant de facteurs qui limitent la recolonisation de ces espèces.

7.2. Le Crembreux

7.2.1. Macroinvertébrés benthiques

Descriptif de la station

Le **Crembreux** évolue en contexte **urbanisé peu dense**. Il s'écoule au pied d'un haut **talus boisé** en rive gauche de l'autre côté duquel se trouve un parc avec une aire de jeux pour enfants et un petit étang de pêche. Il est bordé en rive droite par un **chemin piéton** et la **voie ferrée**. La ripisylve est donc continue en rive gauche et induit un ombrage important sur la majorité du lit. La rive droite ne compte que quelques arbres isolés. Elle est principalement colonisée par les ronces et quelques plantes herbacées (Photo 17 et Photo 18).

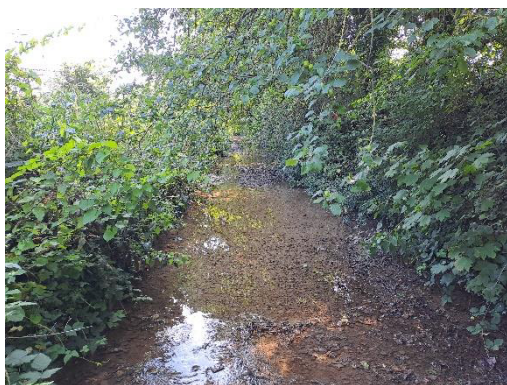


Photo 17 : Moitié aval de la station MPCE



Photo 18 : Moitié amont de la station MPCE

Le cours d'eau est **fortement encaissé** avec des berges verticales de plus de 2,5 m. C'est un cours d'eau dit « **réactif** » qui subit de **fortes fluctuations de niveau** d'eau et de débits. Il connaît aussi bien des périodes d'assecs que des crues éclairées (montée en charge très rapide lors des forts épisodes pluvieux). La hauteur des berges et les **marques d'érosion** témoignent de ces événements.

Le lit du Crembreux est principalement composé de **pierres colmatées** (colmatage réduit sur les zones de radier). Les substrats se diversifient ponctuellement avec les écoulements et on observe quelques **patches de sables/graviers**, des **racines immergées** (en marge du fait de l'encaissement du cours d'eau) et des blocs. A l'exception de quelques patches de **bryophytes**, aucune végétation aquatique ne s'est développée.

12 prélèvements répartis en 3 phases (A, B et C) et définis en fonction de l'habitabilité (du plus biogènes au moins biogènes) et du recouvrement (dominants/minoritaires) des substrats disponibles ont été réalisés comme suit (Tableau 8).

Tableau 8 : Plan d'échantillonnage MPCE sur le Crembreux

Substrats	Représentativité	Phase A	Phase B	Phase C
Bryophytes	Minoritaire	1	-	-
Éléments organiques grossiers/Litière	Minoritaire	2	-	-
Chevelu racinaire	Minoritaire	3 et 4	-	-
Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets)	Dominant	-	5 à 8	9 à 12

Notes indicielles et principales composantes

Le Tableau 9 synthétise les principaux résultats de l'analyse du peuplement de macroinvertébrés benthiques sur le Crembreux en 2023.

Tableau 9 : Synthèse des résultats de l'analyse des macroinvertébrés sur le Crembreux

Station		LE CREMBREUX
Hydroécocorégion		HER 09 – Tables calcaires
I2M2 (A+B+C)		
Valeur en EQR		0,3049
Classe de qualité		Moyenne
Résultats des métriques ¹	Indice Shannon	0,3539
	ASPT score	0,1217
	Polyvoltinisme	0,2331
	Ovoviviparité	0,3575
	Richesse I2M2	0,5349
Richesse faunistique niveau B ²		47
« Equivalent IBGN » (A+B)		
Note indicielle		14/20
Classe de qualité		Bonne
Groupe indicateur (GI)		5
Taxon indicateur (TI)		Hydroptilidae
Effectif du TI		18
Richesse faunistique niveau A ³		34
Peuplement global (A+B+C)		
Taxons dominants ⁴		Chironomes (53%) Hydrobiidae (17%)
% taxons pollueurésistants ⁵		66%
% taxons fragiles		31%



Photo 19 : Taxon indicateur GI5 - genre *Hydroptila*, famille des Hydroptilidae

¹ Valeurs brutes converties en EQR

² Généralement le genre conformément à la norme NF T90-388 de décembre 2020

³ Généralement la famille conformément à la norme NF T90-388 de décembre 2020

⁴ Représentant > 10% des effectifs totaux

⁵ 4 groupes taxonomiques constitutifs du GI 1 (Chironomes, Asellidae, Achètes et Oligochètes)

⁵ Représentés < 3 individus

Avec une note I2M2 de **0,3049**, le Crembreux se classe en qualité biologique « **Moyenne** » au regard des macroinvertébrés. Il affiche une **assez bonne diversité** taxonomique avec presque 47 taxons identifiés (au genre). **L'équitabilité** et le **niveau de sensibilité** du peuplement sont **passables** avec des **scores proches de la moyenne**.

La note IBGN équivalente sur les deux premières phases seulement (A et B) est de **14/20** correspondant à une « **Bonne** » qualité biologique. Avec 34 familles identifiées, la diversité est considérée comme **bonne** du point de vue de l'IBGN (classe de variété 11 sur 14). Le taxon indicateur retenu est **Hydroptilidae**. Cette famille de petits trichoptères à fourreau appartient au **GI5 sur 9** qui traduit un **niveau de polluo-sensibilité moyen**. C'est le seul représentant de ce groupe et il est présent en **effectifs relativement limités** au vu de son écologie. Il peut former de très grandes colonies lorsqu'il est bien établi sur une station.

Il est soutenu par deux autres familles de trichoptères du GI inférieur (**Psychomyiidae** et **Rhyacophilidae**). Un taxon plus sensible représenté par un seul individu (insuffisant pour être retenu comme TI) a été échantillonné : **Glossosomatidae (GI7 sur 9)**. Cette observation met en évidence le potentiel d'amélioration de la station sur le court et le moyen terme.

Composition et structure du peuplement

Le peuplement est largement dominé par les larves de **Diptères** et plus particulièrement par celles de la famille des **Chironomidae**⁶ (Figure 6).

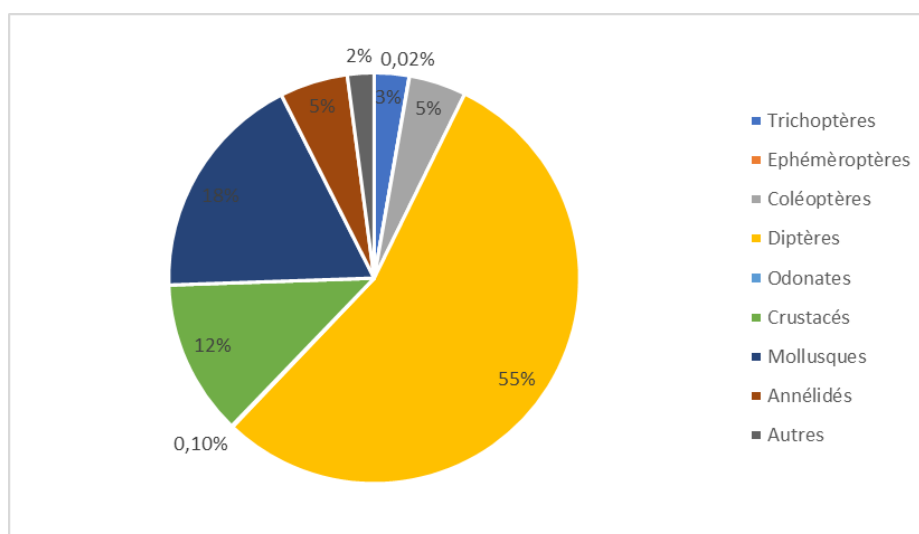


Figure 6 : Répartition du peuplement de macroinvertébrés du Crembreux

Elles sont secondées par les **Mollusques**, principalement représentés par *Potamopyrgus*, petit **gastéropode brouteur** de film végétal et les **Crustacés** avec les Aselles et les Gammare, quant à eux **détritivores**. Ces derniers sont capables de **supporter des pollutions importantes** et des **conditions hydrologiques extrêmes**. Les individus polluo-résistants comptabilisent les **2/3 de l'effectif total**.

Les métriques évaluant le niveau de résistance et de résilience aux perturbations (polyvoltinisme et ovoviviparité) obtiennent des scores **passables**.

Les taxons représentés par moins de 3 individus constituent une part non négligeable du peuplement (31% soit 1/3).

Le peuplement de macroinvertébrés du Crembreux est donc **dominé par des taxons polluo-résistants** capables de résister à des conditions hydrologiques instables et qui dénoncent un **déséquilibre organique des eaux**. Les taxons les plus sensibles observés sur la station ne sont présents qu'en effectifs limités.

⁶ Les adultes volants ressemblant à des moustiques mais ils ne sont pas capables de piquer.

Outil diagnostic

Trois pressions affichent des probabilités particulièrement élevées (Figure 7) :

- Les **pesticides** pour la qualité de l'eau ;
- La dégradation de la **ripisylve** et le degré **d'anthropisation** du bassin versant pour l'hydromorphologie.

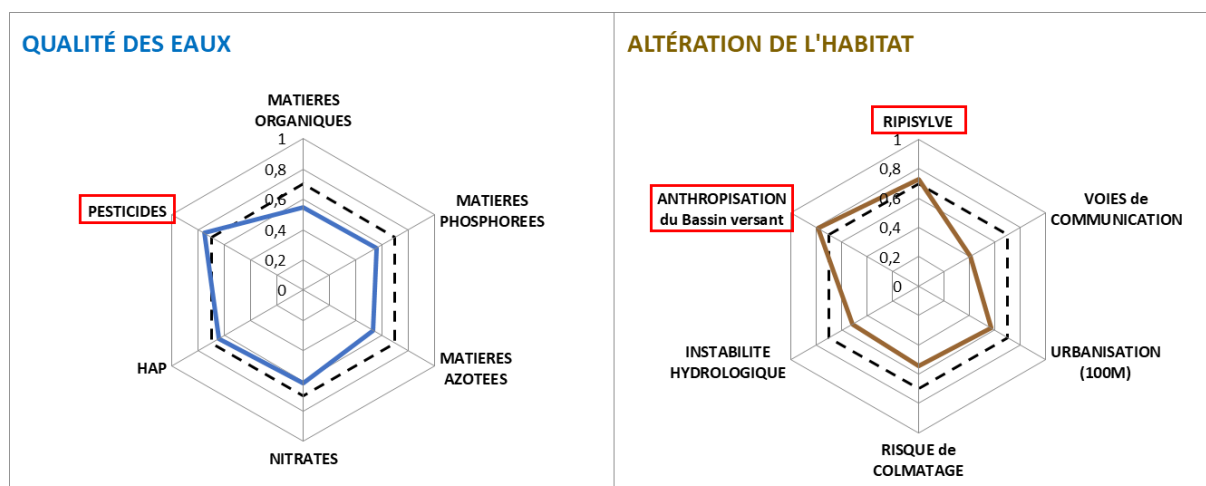


Figure 7 : Diagrammes radars issus de l'outil diagnostic sur le Crembreux

Ces catégories de pressions sont là encore **cohérentes avec le contexte** du site et plus largement du Crembreux dans sa moitié amont. Cette région est **très agricole**. Elle accueille notamment des exploitations de céréales (orge, blé, maïs), de lin et de betteraves (source : RPG 2022). Ces cultures vont généralement de pair avec un usage important de **produits phytosanitaires** (pesticides) et, historiquement, la réduction des surfaces boisées et la dégradation des bocages (dégradation de la ripisylve). Le secteur compte également **plusieurs grandes carrières** qui accentuent encore l'artificialisation des sols du bassin versant.

7.2.2. Diatomées

Descriptif de la station

La station est la même que la station MPCE. Conformément à la norme, les substrats pierreux échantillonnés étaient entièrement immergés et bien ensoleillés.

Notes indicielles et principales composantes

Le Tableau 10 résume les résultats des analyses diatomiques de la campagne de juillet 2023 sur le Crembreux.

Tableau 10 : Synthèse des résultats de l'analyse des diatomées sur le Crembreux

	Le Crembreux
EQR	0,83
Classe de qualité DCE associée	Bonne
IBD (note/20)	15,2
Classe de qualité associée	Bonne
IPS (note/20)	15,2
Taxons dominants (>10% eff.)	<i>Amphora pediculus</i> (34%) <i>Cocconeis euglypta</i> (16%) <i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (10%)
Richesse taxinomique (nb. taxons/récolte)	33
Indice de diversité spécifique de Shannon (bits/ind.)	3,40
Équitabilité	0,67

Le Crembreux se classe en « **Bonne** » qualité biologique au regard de son peuplement de diatomées. Le cortège diatomique est **varié** et **assez équilibré** avec 33 taxons.

Le cortège est dominé par ***Amphora pediculus*** (1/3 des effectifs). Elle reflète des **eaux riches en nutriments** mais **peu impactées par la matière organique**. Elle est secondée par *Cocconeis euglypta* (16%) qui confirme le **niveau trophique élevé** du site.

Cocconeis pediculus qui témoignait d'un marquage en électrolytes sur le ruisseau des Broustats plus à l'amont ne représente plus que 7% des effectifs sur le Crembreux.

7.2.3. Ichtyofaune

Descriptif de la station

La station de pêche se situe un peu plus en l'aval des stations MPCE et IBD. Le Crembreux présente dans l'ensemble les mêmes caractéristiques. Elle commence juste au-dessus du coude formé par le cours d'eau avant d'entrer dans le boisement (Photo 21 et Photo 22) et s'étend sur un linéaire de 60 m (Photo 20).

Il continue de longer le **talus boisé** du parc en rive gauche mais **s'éloigne des zones d'habitations** et de la voie ferrée en rive droite pour traverser un **petit boisement**. Il se retrouve ainsi en **contexte 100% forestier et totalement ombragé** sur ce secteur. Il est bordé de part et d'autre par une **ripisylve arborée continue**. **Aucune végétation**, pas même de bryophytes ne s'y développe.

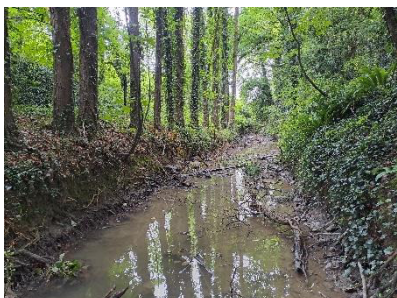


Photo 20 : Vue depuis la limite aval vers l'amont



Photo 21 : Vue de la fosse formée dans le coude du cours d'eau



Photo 22 : Filet barrage à l'amont

Le cours d'eau est toujours **fortement encaissé** avec des berges verticales de plus de 2 m. Les berges sont **très érodées**, en particulier rive droite.

Le lit du Crembreux est principalement composé de **pierres** et de **blocs**. On observe un **léger dépôt de matières fines** mais les écoulements sont suffisants pour éviter un colmatage trop important (contrairement à l'amont au niveau de la station MPCE). La lame d'eau est **très réduite** et se concentre au centre du chenal qui serpente dans le lit mineur. Une **fosse** s'est formée au pied du grand arbre localisé dans le coude du cours d'eau. Ses **racines immergées** offrent un **abri particulièrement attractif** pour la faune piscicole.

Notes indicielles et principales composantes

Les principaux résultats issus de la pêche électrique réalisée sur le Crembreux le 19/07/2023 sont synthétisés dans la Figure 8.

RESULTATS DES INVENTAIRES PISCICOLES							
MAITRE D'OUVRAGE :		ANTEA GROUP		COORDONNEES RGF 93		X: 613 698	
CONTEXTE DE L'ETUDE :		Etat initial				Y: 7 080 841	
NUMERO DE DOSSIER :		21-121		DATE DES ANALYSES :		19/07/2023	
STATION DE PECHE				PHOTOS			
Cours d'eau	Le Crembreux						
Commune	Ferques						
Lieu-dit / Nom du site / N° station	Le Crembreux						
Bassin versant (km ²)	21 km ²						
Longueur (m)	60 m						
Largeur (m)	3 m						
Moyen de prospection	A pied						
Méthode d'échantillonnage	Complète						
Nb. de points de pêche en EPA	-						
Surface pêchée (m ²)	204 m ²						
Distance à la source (km)	21,0 km						
CONDITIONS							
Heure de début	9:20						
Heure de fin	10:00						
Temps de pêche (h)	0:40						
Turbidité	Moyenne						
Hydrologie	Basses eaux						
LISTE FAUNISTIQUE							
NOM	NOM VERNACULAIRE	CODE	Effectif	Densité (/ 100m ²)	%	Biomasse (g)	%
Chabot	<i>Cottus gobio</i>	CHA	36	17,6	32,1%	212	85,1%
Épinoche	<i>Gasterosteus gymnaurus</i>	EPI	76	37,3	67,9%	37	14,9%
TOTAL			112	55	100%	249 g	100%
DIVERSITE TOTALE	2			REMARQUES :			
DIVERSITE "IPR"	2			Cours d'eau à sec moins d'1 km en amont avant la confluence avec le ruisseau des Broustats qui le réalimente. Colmatage important			
NOTE IPR	22,93						
QUALITE PISCICOLE	MOYENNE						
	Espèce non prise en compte dans l'IPR			<i>Espèce patrimoniale</i>			
	Peuplement typique (probabilité de présence généralement > 50 %)			<i>Espèce susceptible de provoquer des déséquilibres biologiques</i>			
	Peuplement atypique (probabilité de présence < 10%)						

Figure 8 : Synthèse des résultats de la pêche sur le Crembreux

Avec une note IPR de **22,93**, le Crembreux à Ferques se classe en qualité biologique « **Moyenne** » du point de vue de son peuplement piscicole.

Composition et structure du peuplement

112 individus répartis en **deux espèces** ont été capturés pour une biomasse totale de 249 g.

L'**Épinoche** (Photo 23) domine largement le peuplement avec presque **70% des effectifs**. Elle est accompagnée par le **Chabot** (Photo 25) qui malgré des effectifs deux fois plus faibles représente **85% de la biomasse totale**.



Photo 23 : Epinoche mâle en robe nuptiale capturée sur le Crembreux



Photo 24 : Grosse Epinoche femelle capturée sur le Crembreux



Photo 25 : Chabot capturé sur le Crembreux

Toutes les classes de tailles ont été capturées chez les deux espèces. Les populations sont donc bien installées, pérennes et se reproduisent effectivement sur le secteur.



Le Chabot est considéré comme une **espèce patrimoniale**. Il n'est pas directement protégé en tant qu'espèce mais ses zones de reproduction et de croissance peuvent déclencher la mise en place de périmètres de protection (Arrêtés frayères). Les statuts de l'espèce sont détaillés en annexe. Ce poisson lithophile affectionne généralement les **rivières fraîches et courantes**. Il est bien **plus sensible à la pollution** que l'Épinoche et est un **bon indicateur** de la qualité physico-chimique de l'eau.

Analyse des statistiques de l'IPR

Le Tableau 11 détaille les résultats des métriques constitutives de l'IPR.

Tableau 11 : Résultats des métriques de l'IPR sur le Crembreux

Le Crembreux					
Métriques	Code	Valeur théo.	Valeur obs.	Score associé	Poids
Nb. d'esp. Total	NTE	6,80	2,00	5,56	24%
Nb d'esp. lithophiles	NEL	2,05	1,00	3,59	16%
Nb d'esp. Rhéophiles	NER	1,29	1,00	2,03	9%
Dens. d'ind. Tolérants (/ m ²)	DIT	0,05	0,37	4,27	19%
Dens. d'ind. omnivores (/ m ²)	DIO	0,04	0,37	5,34	23%
Dens. d'ind. invertivores (/ m ²)	DII	0,28	0,18	2,13	9%
Dens. totale d'ind. (/ m ²)	DTI	0,56	0,55	0,01	0%
				IPR	22,93
				Qualité	Moyenne

-  Métrique fortement pénalisante (poids dans la note $\geq 30\%$)
-  Métrique moyennement pénalisante (poids dans la note $\geq 10\%$)

Quatre métriques sur sept pèsent significativement sur la note IPR : deux d'occurrence et deux de densité.

Le **nombre d'espèces** présentes est la seconde métrique la plus déclassante sur la station. Il est en effet **bien inférieur à celui attendu** : seulement 2 espèces capturées contre presque 7 attendues. Compte tenu des caractéristiques du Crembreux, l'IPR attendait notamment **plus d'espèces lithophiles**.

Pour ce qui est de l'autre groupe de métriques, elles ont des scores assez proches mais la plus pénalisante est la densité d'individus **omnivores**. Au même titre que les individus **tolérants**, les densités observées **sont trop faibles** par rapport à celles attendues.

Selon les modélisations de l'IPR basées sur les caractéristiques hydromorphologiques de la station, **cinq espèces étaient attendues** dans l'échantillonnage. Elles sont classées par probabilité de présence dans la Figure 9.

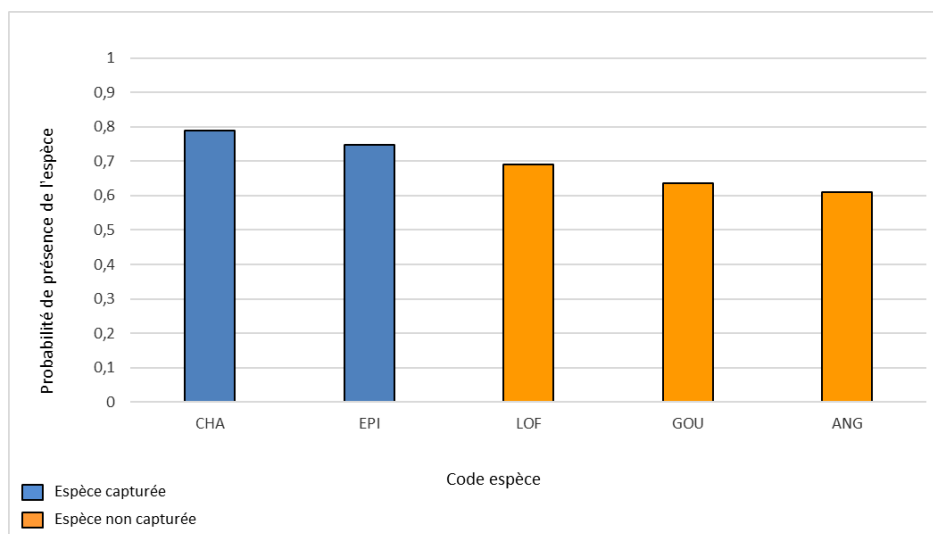


Figure 9 : Peuplement piscicole attendu sur le Crembreux selon l'IPR (probabilité de présence > 50%)

Seules les deux espèces affichant les plus fortes probabilités de présence ont été effectivement capturées. Les espèces manquantes pour l'IPR sont : la **Loche France**, le **Goujon**, l'**Anguille européenne** et le **Vairon**.

Au moment de la pêche, mi-juillet 2023, la lame d'eau était bien trop réduite pour observer des espèces comme le Goujon (Photo 26), le Vairon (Photo 27) ou même la Loche franche (Photo 28). Cette dernière ne tolère pas non plus les fortes crues qui caractérisent l'hydrologie de ce cours d'eau.



Photo 26 : Goujon - photo ex situ



Photo 27 : Vairon - photo ex situ



Photo 28 : Loche franche - photo ex situ

En conditions d'étiage sévère comme ici, les Anguilles se réfugient dans les fosses exactement comme celle présente à l'amont de la station. Il était donc possible de contacter cette espèce sur le secteur. Elle avait d'ailleurs été observée en nombre lors des échantillonnages réalisés en 2019 à l'amont et à l'aval du secteur (Photo 29).

Une belle population de Truite fario avait également été échantillonnée sur le Crembreux plus à l'aval en 2019 (Photo 30). Elle est très souvent accompagnée par le Vairon dont la présence n'est que probable puisqu'il n'a été contacté ni en 2019, ni en 2023.



Photo 29 : Anguilles capturées sur le Crembreux amont en 2019



Photo 30 : Truite fario capturée sur le Crembreux aval en 2019

A titre indicatif, la capture de quelques individus d'anguilles et de truites ferait progresser la note IPR du Crembreux à Ferques en « **Bonne** » qualité biologique.

8. Analyse des impacts potentiels du rejet

Les essais pilotes menés par ANTEA sur le site ont permis de définir en première approche des valeurs maximales d'émission sur les principaux éléments. Dans le Tableau 12, figurent d'une part les valeurs limite d'émission (VLE) basées sur une première approche de la qualité à respecter dans le milieu naturel et d'autre part le rejet estimé sans traitement préalable.

Tableau 12 : Premières estimations de rejet (ANTEA)

Paramètre	Unité	VLE max. première approche	Rejet eaux d'essorage
Arsenic	µg/l	<LQ	8,7
Cadmium	µg/l	0,37	0,32
Zinc	µg/l	35	3,0
Chrome	µg/l	16	7,8
Cuivre	µg/l	2,5	3,0
Mercure	µg/l	0,3	0,09
Nickel	µg/l	14,4	3,0
Plomb	µg/l	4,9	2,3
PCB 18	µg/l	<LQ	0,7
PCB 35	µg/l		
Tributylétain cation	µg/l	<LQ	0,01
HAP somme(4)	µg/l	<LQ	230
Carbone Organique	mgC/l	20	22,65
Chlorures	mg/l	860	18 980
Sulfates	mg/l	1050	2 650
Sodium	mg/l	924	10 560
Magnésium	mg/l	-	1 270
Matières en suspension	mg/l	145	inconnu

Pour rappel, plusieurs valeurs seuils ont été mises en évidence dans la littérature scientifique (cf Titre 4. Veille bibliographique). Les paramètres présentant des conclusions trop disparates n'ont pas été retenus.

8.1. Les chlorures

En 2022, Tavares-Dias ont mesuré que les concentrations toxiques de **chlorure de sodium** (NaCl) chez plusieurs espèces de poissons variaient **entre 3 500 mg/l à 150 000 mg/l**. Si la valeur sans traitement est 5 fois supérieure à la limite des espèces étudiées les plus sensibles, la VLE se situe largement en-dessous.

Quelques années avant, en 2011, plusieurs études avaient analysé l'influence de la dureté de l'eau (calcium et magnésium) sur la toxicité du chlorure. Elles avaient ainsi montré un effet positif de l'augmentation du titre hydrométrique (Soucek et al., 2011). Elphick et al. ont pu calculer les seuils de toxicité suivants : **64 mgCl⁻/l à 10 mg/l de dureté** et **388 mgCl⁻/l à 160 mg/l de dureté**.

En extrapolant cette relation aux cas des eaux fortement calcaires (dites très dures) en prenant par exemple 800 mg/l de dureté, on obtient un seuil de toxicité de chlorure pour les invertébrés de l'ordre de **1 800 mg/l**. La concentration rejetée estimée sans traitement est **10 fois supérieure** à ce seuil.

Compte tenu de ces conclusions, même si la VLE après traitement est inférieure aux seuils critiques observés dans la littérature, il semble impératif de connaître la dureté des eaux d'exhaure et surtout des milieux récepteurs pour fixer un seuil de chlorure cohérent et non toxique pour la faune.

Ces différents constats établis, il demeure impératif de respecter au minimum le seuil de qualité définis par le SEQ-EAU v2. Pour le chlorure, il est fixé à 200 mg/l.

8.2. Les sulfates

Karjalainen et al. (2023) ont déterminé des **concentrations chroniques toxiques de sulfates** de l'ordre de **1 000 mg/l** pour les taxons étudiés (invertébrés, poissons et plantes). Par extrapolation, ils ont calculé que ce seuil était compris **entre 117 et 194 mg SO₄/l** pour **5 % des organismes** aquatiques dans les eaux douces.

Dans le cas de Stinkal, les premières modélisations (ANTEA, 2023) indiquent un rejet dans le milieu naturel de **2 650 mg/l sans traitement**. La valeur limite estimée après traitement fixée en première approche à 1 050 mg/l reste au-dessus du seuil médian observé expérimentalement par Karjalainen et al. et 9 fois supérieure à la concentration critique estimée des organismes les plus sensibles.

Comme pour le chlorure, il conviendrait de se référer d'abord à la réglementation en vigueur en France qui fixe le seuil de bonne qualité à **250 mg de sulfates/l**.

8.3. Le carbone organique

Les valeurs limites des classes d'état fixée dans le cadre de la DCE pour le carbone dissous dans les cours d'eau sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Classe de qualité associée	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvais
Carbone organique dissous (mgC/l)	≤5	]5-7]	]7-10]	]10-15]	<15

Les premières modélisations du futur rejet de Stinkal (ANTEA, 2023) estiment une concentration de carbone organique dissous limite à 20 mg/l. Cette valeur correspond à une « **Mauvaise** » qualité physico-chimique des eaux. Il conviendra donc là encore d'abaisser ce seuil.

8.4. Les métaux lourds

Il a été rapporté que la concentration critique du Cu allait de **2,73 µg/l** (Cladocères) à **107 880 µg/l** (Cyprinidé), et que les valeurs d'exposition chroniques allaient de **2,83 µg/l** (Cladocères) à **249 µg/l** (Cyprinidé) (Liao et al., 2023).

La valeur limite estimée de 2,5 µg/l retenue par Antea est **cohérente avec la littérature existante mais largement supérieure aux normes de qualité environnementale** (NQE) définies en France. Elles fixent la concentration moyenne annuelle maximale de cuivre à **1 µg/l**.

8.5. L'arsenic

Les premières estimations dans le cas du site de Stinkal font état d'un rejet sans traitement de **8,7 µg/l**. Cette valeur dépasse largement les NQE qui fixent la **concentration moyenne annuelle maximale à 0,83 µg/l** pour l'arsenic.

9. Conclusion du diagnostic

Le Tableau 13 reprend les résultats des analyses de tous les compartiments biologiques étudiés. Conformément à la règle du paramètre le plus déclassant, la qualité biologique retenue pour chacun des cours d'eau correspond à la plus mauvaise observée tout indice confondu.

Tableau 13 : Synthèse de la qualité biologique des milieux récepteurs à l'aval de Stinkal

	Les Broustats	Le Crembreux
Macro-invertébrés benthiques	0,0085	0,3049
	Mauvaise	Moyenne
Diatomées	0,67	0,83
	Moyenne	Bonne
Ichtyofaune	43,21	22,93
	Mauvaise	Moyenne
Qualité biologique DCE	MAUVAISE	MOYENNE

Le ruisseau des Broustats fait état d'une qualité **fortement dégradée** aussi bien du point de vue de l'**hydromorphologie** que de la **biodiversité** et de la **physico-chimie**. La plupart des indicateurs sont **mauvais**, au mieux moyen (diatomées).

Sa moitié amont est **totale**ment **artificialisée** (busé ou canalisé) et correspond aujourd'hui au fossé SNCF Ouest. Le ruisseau reprend son cours « naturel » seulement après la confluence entre les fossés. Tout le linéaire est **fortement colmaté** et ponctué de **ruptures dans la continuité écologique** : embâcles infranchissables, ouvrages, seuils de concrétions calcaire, etc.

La qualité biologique est considérée comme « **Mauvaise** » à l'**aval** du site de Stinkal. Une seule espèce de poisson a été contactée : l'Épinoche, qui est **peu sensible à la pollution**. Le peuplement de macroinvertébrés est **pauvre** et dominé par des taxons **détritivores**, capables de tolérer des conditions **physico-chimiques dégradées** et des **pollutions importantes** ainsi que des **conditions hydrologiques extrêmes**. Le peuplement de diatomées confirme la tendance avec des taxons marqueurs d'eaux **eutrophes**, riches en **électrolytes** et sujettes à des **pollutions régulières**.

Les enjeux sur le ruisseau des Broustats sont globalement **très faibles**.

Le Crembreux se caractérise lui-aussi par une forte **instabilité hydrologique**. Il connaît aussi bien des périodes d'assec que de violentes crues. Il abrite tout de même une **belle diversité d'habitats** : bryophytes, racines, blocs, sous-berge, fosses, etc. relativement **attractifs pour la faune aquatique**. Le développement de la végétation est limité par l'ombrage important porté par la ripisylve. Il affiche une qualité biologique dans l'ensemble « **Moyenne** ». Les notes indicielles se situent en milieu de classe ce qui leur confère une certaine **robustesse**. Le peuplement piscicole est peu diversifié (2 espèces échantillonnées) mais **conforme aux attentes de l'IPR**. Une partie des autres espèces cibles sont présentes de manière quasi certaine comme l'Anguille européenne et le Vairon. Toutes ces espèces, sont relativement sensibles à leurs conditions de milieu. Elles sont donc généralement marqueurs d'une assez bonne qualité. Le peuplement de macroinvertébrés quant à lui est relativement riche. Il reste dominé par des taxons capables de résister à des **conditions hydrologiques instables** et qui affectionnent les eaux riches en **matière organique**. Les taxons les plus sensibles ne sont présents qu'en effectifs limités. Les diatomées confirment le **niveau trophique élevé** de la station.

Les enjeux écologiques sur le Crembreux sont donc globalement **moyens**. Les analyses réalisées sur le Crembreux laissent entrevoir un bon potentiel d'amélioration sur le court terme. A noter que les conditions d'étiage sévère observées cet été ont pu impacter la faune aquatique.

C'est sur ce dernier que le futur pourrait avoir le plus d'impacts négatifs. En effet, comme évoqué précédemment, la qualité du ruisseau des Broustats est déjà malheureusement très fortement dégradée. Il sera essentiel de fixer des seuils de rejet **suffisamment bas pour que le panache soit dilué avant d'atteindre le Crembreux**.

Bibliographie

- Bäthe, J., & Coring, E. (2011). Biological effects of anthropogenic salt-load on the aquatic Fauna : A synthesis of 17 years of biological survey on the rivers Werra and Weser. *Limnologica*, 41(2), 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2010.07.005>
- Byeon, E., Kang, H.-M., Yoon, C., & Lee, J.-S. (2021). Toxicity mechanisms of arsenic compounds in aquatic organisms. *Aquatic Toxicology*, 237, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105901>
- Cañedo-Argüelles, M. (2020). A review of recent advances and future challenges in freshwater salinization. *Limnetica*, 39. <https://doi.org/10.23818/limn.39.13>
- Cañedo-Argüelles, M., Grantham, T. E., Perrée, I., Rieradevall, M., Céspedes-Sánchez, R., & Prat, N. (2012). Response of stream invertebrates to short-term salinization : A mesocosm approach. *Environmental Pollution*, 166, 144-151. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.027>
- Cañedo-Argüelles, M., Kefford, B. J., Piscart, C., Prat, N., Schäfer, R. B., & Schulz, C.-J. (2013). Salinisation of rivers : An urgent ecological issue. *Environmental Pollution*, 173, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.011>
- Castillo, A. M., Sharpe, D. M. T., Ghalambor, C. K., & De León, L. F. (2018). Exploring the effects of salinization on trophic diversity in freshwater ecosystems : A quantitative review. *Hydrobiologia*, 807(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3403-0>
- Côté, I. M., Darling, E. S., & Brown, C. J. (2016). Interactions among ecosystem stressors and their importance in conservation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1824), 20152592. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.2592>
- Effects of turbidity on feeding and distribution of fish.* (s. d.). Consulté 9 février 2024, à l'adresse <https://helda.helsinki.fi/items/758147ab-d7ba-44f3-938f-aa0d97d37985>
- Elphick, J. R. F., Bergh, K. D., & Bailey, H. C. (2011). Chronic toxicity of chloride to freshwater species : Effects of hardness and implications for water quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(1), 239-246. <https://doi.org/10.1002/etc.365>
- Evans, T. G., & Kültz, D. (2020). The cellular stress response in fish exposed to salinity fluctuations. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 333(6), 421-435. <https://doi.org/10.1002/jez.2350>
- Ferreira-Martins, D., Wilson, J. M., Kelly, S. P., Kolosov, D., & McCormick, S. D. (2021). A review of osmoregulation in lamprey. *Journal of Great Lakes Research*, 47, S59-S71. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.05.003>
- Fiksen, Ø., Aksnes, D., Flyum, M., & Giske, J. (2002). The influence of turbidity on growth and survival of fish larvae : A numerical analysis. *Hydrobiologia*, 484, 49-59. <https://doi.org/10.1023/A:1021396719733>

- Griffith, M. B. (2017). Toxicological perspective on the osmoregulation and ionoregulation physiology of major ions by freshwater animals : Teleost fish, crustacea, aquatic insects, and Mollusca. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(3), 576-600. <https://doi.org/10.1002/etc.3676>
- Gruntz, C. (2021, mars). *The Effects of Increased NaCl Salinization on Riparian Plant Productivity and Decomposition Processes*. <https://www.proquest.com/openview/87ed56e1e445bdb3cc59121b995b94a7/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Hall, L. W., & Anderson, R. D. (1995). The influence of salinity on the toxicity of various classes of chemicals to aquatic biota. *Critical Reviews in Toxicology*, 25(4), 281-346. <https://doi.org/10.3109/10408449509021613>
- Halsband, E. (1976). Untersuchungen über den Krankheitszustand der in der Weser lebenden Fische. *Informationen für die Fischwirtschaft*, 23(6), 173-175.
- Hintz, W. D., & Relyea, R. A. (2017). A salty landscape of fear : Responses of fish and zooplankton to freshwater salinization and predatory stress. *Oecologia*, 185(1), 147-156. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-3925-1>
- Karjalainen, J., Hu, X., Mäkinen, M., Karjalainen, A., Järvistö, J., Järvenpää, K., Sepponen, M., & Leppänen, M. T. (2023). Sulfate sensitivity of aquatic organism in soft freshwaters explored by toxicity tests and species sensitivity distribution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 258, 114984. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114984>
- Kaushal, S. S., Duan, S., Doody, T. R., Haq, S., Smith, R. M., Newcomer Johnson, T. A., Newcomb, K. D., Gorman, J., Bowman, N., Mayer, P. M., Wood, K. L., Belt, K. T., & Stack, W. P. (2017). Human-accelerated weathering increases salinization, major ions, and alkalization in fresh water across land use. *Applied Geochemistry*, 83, 121-135. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.02.006>
- Lazur, A., VanDerwerker, T., & Koepenick, K. (2020). Review of Implications of Road Salt Use on Groundwater Quality—Corrosivity and Mobilization of Heavy Metals and Radionuclides. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(9), 474. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04843-0>
- Liao, W., Zhu, Z., Feng, C., Yan, Z., Hong, Y., Liu, D., & Jin, X. (2023). Toxicity mechanisms and bioavailability of copper to fish based on an adverse outcome pathway analysis. *Journal of Environmental Sciences*, 127, 495-507. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.06.002>
- Lovett, S., Price, P., & Edgar, B. (s. d.). Salt, Nutrient, Sediment and Interactions : Findings from the National River Contaminants Program. *Land & Water Australia*.
- Moyano Salcedo, A. J., Prat, N., Bertrams-Tubau, L., Piñero-Fernandez, M., Cunillera-Montcusí, D., López-Doval, J. C., Abril, M., Proia, L., & Cañedo-Argüelles, M. (2024). What happens when salinization meets eutrophication? A test using stream microcosms. *Science of The Total Environment*, 912, 168824. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168824>

- Narangarvuu, D., Enkhdul, T., Erdenetsetseg, E., Enkhrii-Ujin, E., Irmuunzaya, K., Batbayar, G., Oyundelger, K., Yam, R. S.-W., & Pfeiffer, M. (2023). Mining and urbanization affect river chemical water quality and macroinvertebrate communities in the upper Selenga River Basin, Mongolia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12), 1500. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12022-x>
- Potapova, M., & Charles, D. (2003). Distribution of Benthic Diatoms in U.S. Rivers in Relation to Conductivity and Ionic Composition. *Freshwater Biology*, 48, 1311-1328. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01080.x>
- R. Garnier, J. Poupon, & A. Villa. (2008, août 31). *Arsenic et ses dérivés inorganiques—Valeurs Guides Environnementale*.
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiJornv86WEAxV-UKQEHQtcBUwQFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Fsubstances.ineris.fr%2Ffr%2Fsubstance%2FgetDocument%2F2715&usg=AOvVaw2OwAqC9oeggCvucz1dvqX&opi=89978449>
- Scheibener, S., Conley, J. M., & Buchwalter, D. (2017). Sulfate transport kinetics and toxicity are modulated by sodium in aquatic insects. *Aquatic Toxicology*, 190, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.06.027>
- Schulz, C.-J., & Cañedo-Argüelles, M. (2018). Lost in translation : The German literature on freshwater salinization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1764), 20180007. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0007>
- Soucek, D. J., Linton, T. K., Tarr, C. D., Dickinson, A., Wickramanayake, N., Delos, C. G., & Cruz, L. A. (2011). Influence of water hardness and sulfate on the acute toxicity of chloride to sensitive freshwater invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(4), 930-938. <https://doi.org/10.1002/etc.454>
- Sujay S. Kaushal, Arthur J. Gold, Susana Bernal, Jennifer L. Tank. (2018, décembre). *Biogeochemistry | Volume 141, issue 3*. SpringerLink. <https://link.springer.com/journal/10533/volumes-and-issues/141-3>
- Tavares-Dias, M. (2022). Toxicity, physiological, histopathological, handling, growth and antiparasitic effects of the sodium chloride (salt) in the freshwater fish aquaculture. *Aquaculture Research*, 53(3), 715-734. <https://doi.org/10.1111/are.15616>
- Wang, N., Dorman, R. A., Ivey, C. D., Soucek, D. J., Dickinson, A., Kunz, B. K., Steevens, J. A., Hammer, E. J., & Bauer, C. R. (2020). Acute and Chronic Toxicity of Sodium Nitrate and Sodium Sulfate to Several Freshwater Organisms in Water-Only Exposures. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(5), 1071-1085. <https://doi.org/10.1002/etc.4701>
- Zak, D., Hupfer, M., Cabezas, A., Jurasinski, G., Audet, J., Kleeberg, A., McInnes, R., Kristiansen, S. M., Petersen, R. J., Liu, H., & Goldhammer, T. (2021). Sulphate in freshwater ecosystems : A review of sources, biogeochemical cycles, ecotoxicological effects and bioremediation. *Earth-Science Reviews*, 212, 103446. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103446>

Table des Illustrations

Listes des cartes

Carte 1 : Détail du réseau de rejets et fossés autour du site de Stinkal	6
Carte 2 : Réseau hydrographique du secteur d'étude	7
Carte 3 : Localisation des stations de suivi Hydrosphère sur le Crembreux en 2019	8
Carte 4 : Synthèse des enjeux sur le fossé SNCF Ouest	23
Carte 5 : Synthèse des enjeux sur le ruisseau des Broustats	24
Carte 6 : Synthèse des enjeux sur le Crembreux.....	25
Carte 7 : Localisation des stations.....	26

Liste des figures

Figure 1 : Localisation et vue aérienne du site de Stinkal	4
Figure 2 : Répartition du peuplement de macroinvertébrés sur le ruisseau des Broustats	30
Figure 3 : Diagrammes radars issus de l'outil diagnostique sur le ruisseau des Broustats	31
Figure 4 : Synthèse des résultats de la pêche réalisée sur le ruisseau des Broustats.....	35
Figure 5 : Peuplement piscicole attendu sur les ruisseau des Broustats selon l'IPR (probabilité de présence >50%)	38
Figure 6 : Répartition du peuplement de macroinvertébrés du Crembreux	42
Figure 7 : Diagrammes radars issus de l'outil diagnostique sur le Crembreux	43
Figure 8 : Synthèse des résultats de la pêche sur le Crembreux.....	46
Figure 9 : Peuplement piscicole attendu sur le Crembreux selon l'IPR (probabilité de présence > 50%)	49

Liste des photographies

Photos 1 : Prospection du linéaire et saisie sur tablette.....	16
Photo 2 : Prélèvement MPCE	16
Photo 3 : Prélèvement IBD.....	17
Photo 4 : Pêche électrique et biométrie	17
Photo 5 : Vue générale de la station depuis la limite aval	27
Photo 6 : Poste de nettoyage et pré-tri des prélèvements.....	27
Photo 7 : Taxon indicateur GI2 - genre Gammarus, famille des Gammaridae.....	28
Photo 8 : Vue de la station depuis l'aval vers l'amont	32
Photo 9 : Vue de la station depuis l'amont vers l'aval	32
Photo 10 : Prélèvement des diatomées par MKA	32
Photo 11 : Limite amont - buse de résurgence du cours d'eau après son passage dans la carrière.....	34
Photo 12 : Début de l'opération de pêche électrique – limite aval au niveau de la confluence	34

Photo 13 : Epinoche capturée sur le Crembreux	36
Photo 14 : Chabot - photo ex situ	38
Photo 15 : Truite fario - photo ex situ	38
Photo 16 : Lamproie de Planer - photo ex situ.....	38
Photo 17 : Moitié aval de la station MPCE.....	39
Photo 18 : Moitié amont de la station MPCE.....	39
Photo 19 : Taxon indicateur GI5 - genre Hydroptila, famille des Hydroptilidae	40
Photo 20 : Vue depuis la limite aval vers l'amont	45
Photo 21 : Vue de la fosse formée dans le coude du cours d'eau	45
Photo 22 : Filet barrage à l'amont.....	45
Photo 23 : Epinoche mâle en robe nuptiale capturée sur le Crembreux	47
Photo 24 : Grosse Epinoche femelle capturée sur le Crembreux	47
Photo 25 : Chabot capturé sur le Crembreux.....	47
Photo 26 : Goujon - photo ex situ	49
Photo 27 : Vairon - photo ex situ	49
Photo 28 : Loche franche - photo ex situ	49
Photo 29 : Anguilles capturées sur le Crembreux amont en 2019.....	50
Photo 30 : Truite fario capturée sur le Crembreux aval en 2019.....	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des résultats biologiques 2019 sur le Crembreux (Hydrosphère).....	9
Tableau 2 : Morphologie du ruisseau des Broustats.....	18
Tableau 3 : Morphologie du Crembreux	21
Tableau 4 : Plan d'échantillonnage MPCE sur le ruisseau des Broustats	27
Tableau 5 : Synthèse des résultats de l'analyse des macroinvertébrés sur le ruisseau des Broustats	28
Tableau 6 : Synthèse des résultats de l'analyse des diatomées sur le ruisseau des Broustats	33
Tableau 7 : Métriques constitutives de l'IPR sur les Broustats	37
Tableau 8 : Plan d'échantillonnage MPCE sur le Crembreux	40
Tableau 9 : Synthèse des résultats de l'analyse des macroinvertébrés sur le Crembreux.....	40
Tableau 10 : Synthèse des résultats de l'analyse des diatomées sur le Crembreux	44
Tableau 11 : Résultats des métriques de l'IPR sur le Crembreux.....	48
Tableau 12 : Premières estimations de rejet (ANTEA)	51
Tableau 13 : Synthèse de la qualité biologique des milieux récepteurs à l'aval de Stinkal	54
Tableau 12 : Correspondances entre les notes équivalent IBGN et les classes de qualité associés.	65
Tableau 13 : Limites de classe de l'I2M2 pour l'HER 09 – Tables calcaires, cas général.....	66
Tableau 14 : Pressions prises en compte dans l'I2M2 selon leurs catégories et leurs abréviations.....	66

Tableau 15 : Correspondance entre les notes indicielles IBD et IPS et les classes de qualité.....	68
Tableau 16: Correspondance entre les notes IBD exprimées en EQR et les classes de qualité (Arrêté du 27/07/18).....	68
Tableau 17 : 7 métriques de l'Indice Poisson de Rivière (IPR)	69
Tableau 18 : Correspondances entre les notes IPR, les classes de qualité et leur code couleur associé.....	70

Listes des annexes

Annexe 1 : Méthodes du diagnostic.....	63
Annexe 2 : Résultats obtenus sur le ruisseau des Broustats	72
Annexe 3 : Résultats obtenus sur le Crembreux.....	77

Annexe 1 : Méthodes du diagnostic

1. Compartiment macroinvertébrés

Les stations étant prospectables à pied, les prélèvements sont réalisés conformément à la norme NF T90-333 de septembre 2016 « Prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes ». Le protocole est alors appelé MPCE (Macroinvertébré en Petit Cours d'Eau). Ces protocoles sont compatibles avec la Directive Cadre Européenne sur l'Eau et répondent ainsi aux exigences des services instructeurs qui demandent généralement des méthodes d'analyses dites « DCE compatibles ». Ils associent :

- La méthode IBGN « classique » (NF T 90-350) – permettant ainsi de calculer un « équivalent IBGN » – qui privilégie les habitats les plus biogènes mais souvent marginaux ;
- Une logique de proportionnalité en intégrant la surface relative des habitats.

1.1. Prélèvements

Le protocole MPCE consiste en l'échantillonnage des habitats dominants (superficie > 5 %) sur 8 prélèvements unitaires et des habitats marginaux (1 % < superficie < 5 %) sur 4 prélèvements unitaires, soit un total de 12 prélèvements unitaires par station.

Ces prélèvements sont regroupés en trois groupes de quatre prélèvements appelés « phases » :

- Phase A : supports marginaux ;
- Phase B : supports dominants prélevés par ordre d'habitabilité décroissante ;
- Bocal C : supports dominants prélevé par représentativité décroissante.

Les prélèvements sont réalisés sur 1/20 m² à l'aide d'un filet Surber ou haveneau (filet Surber monté sur manche) de maille 0,5 mm. Les douze prélèvements unitaires sont effectués en prospectant de l'aval vers l'amont du site.

Après un pré-triage à l'aide de tamis, les échantillons sont fixés sur place à l'alcool à 96° pour éviter la dégradation du matériel biologique.

Les 2 premiers regroupements permettent de calculer un IBGN « équivalent » pour chaque station.



Photographie 1 : Prélèvement au filet Surber



Photographie 2 : Tri par tamisage in situ

1.2. Analyse au laboratoire

Le traitement des échantillons au laboratoire s'effectue conformément à la Norme XP T90-388 de juin 2010 « Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macroinvertébrés de cours d'eau ». Les étapes décrites ci-dessous ne sont pas obligatoires, mais elles permettent d'augmenter l'efficacité du tri. Hydrosphère s'attache donc à effectuer les manipulations suivantes :

- 1) Lavage de l'échantillon pour éliminer le fixateur (alcool à 96°) et tous les sédiments fins qui pourraient gêner le tri ultérieur ;
- 2) Séparation des classes granulométriques de substrats par tamisage sur une colonne de tamis de mailles différentes (0,5 à 2,5 mm) ;
- 3) Elutriation. Cette phase permet de séparer la fraction surnageante peu dense, contenant la majorité des macroinvertébrés et le refus d'éluatriation, plus dense et déposé, qui contient les éléments minéraux et certains macroinvertébrés comme les mollusques et les trichoptères à fourreaux.

Conformément à la norme, l'unité taxonomique d'identification retenue est le **genre**, à l'exception de quelques groupes faunistiques. Il est effectué un dénombrement exhaustif de chaque taxon afin de pouvoir fournir la liste faunistique complète de chaque station. Lorsqu'un taxon présente des effectifs supérieurs à 50, des sous-comptages ont pu être effectués, conformément à la norme.



Photographie 3 : Nettoyage et tamisage des échantillons



Photographie 4 : Détermination des macroinvertébrés sous loupe binoculaire

1.3. Interprétation des indices

L'ensemble des données est saisi et 2 listes faunistiques sont établies par station :

- Une liste faunistique (phase A+B) qui sert à calculer la note « équivalente IBGN » ;
- Une liste faunistique « faune globale » (phase A+B+C).

A l'indice « équivalent IBGN » est attribuée une classe de qualité. Cette note pourra ainsi être confrontée aux expertises antérieures. Cinq classes de qualité sont définies à partir des valeurs de l'indice et affectées d'une couleur conventionnelle (Tableau 14).

Tableau 14 : Correspondances entre les notes équivalent IBGN et les classes de qualité associés.

Classe de qualité associée	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
Note	≥ 17/20	]17 – 13]	]13 – 9]	]9 – 5]	<5

L'outil I2M2 (Indice Invertébré Multi-Métriques) permet d'affiner l'analyse des populations de macroinvertébrés. La note est calculée à partir de 5 sous-indices que sont :

- L'indice de diversité de Shannon-Weaver (phases A+B). Cette métrique prend en compte à la fois la richesse taxonomique et la distribution des abondances relatives des différents taxons de l'assemblage faunistique. En cas de pression anthropique croissante, une baisse de la valeur de l'indice est attendue ;
- Le score ASPT (*Average Score Per Taxon*, Score Moyen par Taxon) (phase B+C). Cet indice mesure le niveau de polluo-sensibilité moyen du peuplement. En cas de pression anthropique croissante, une baisse du niveau moyen de polluo-sensibilité et donc de la valeur de l'ASPT est attendue ;
- La fréquence relative d'espèces polyvoltines (phases A+B+C), i.e, capables d'accomplir au moins deux générations successives au cours d'une année. En cas de pression anthropique croissante, une augmentation de la fréquence relative des organismes polyvoltins est attendue ;
- La fréquence relative d'espèces ovovivipares (phases A+B+C), i.e, dont l'incubation des œufs est réalisée dans l'abdomen de la femelle, l'éclosion suivant immédiatement l'expulsion des œufs dans le milieu aquatique. En cas de pression anthropique croissante, une augmentation de la fréquence relative des organismes ovovivipares est attendue ;
- La richesse taxonomique (phases A+B+C). Il s'agit du nombre de taxons identifiés au niveau systématique préconisé par la norme AFNOR NF T90-388 (2020). En cas de pression anthropique croissante, une réduction de la richesse taxonomique est attendue.

La valeur indicielle de l'I2M2 est exprimée en EQR (*Ecological Ratio*) (note comprise entre 0 et 1). Cette valeur permet d'attribuer une classe de qualité en fonction de l'hydroécocorégion et de la taille du cours d'eau. Le ruisseau des Broustats et le Crembreux sont classés en « Très petits » cours d'eau et font partie de l'hydroécocorégion n°9 « Tables calcaires ». Les seuils de cette classe⁷ sont précisés dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Limites de classe de l'I2M2 pour l'HER 09 – Tables calcaires, cas général.

Classe de qualité associée	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvais
Très petits cours d'eau	≥ 0,665	]0,665 – 0,443]	]0,443 – 0,295]	]0,295 – 0,148]	< 0,148

L'une des principales évolutions de l'I2M2 est qu'il propose, en plus de la détermination d'une classe d'état, un « outil diagnostic ». Il repose sur l'analyse des traits biologiques sélectionnés et des stratégies écologiques utilisées par les communautés d'invertébrés benthiques en réponse à diverses catégories de pressions.

Le site du Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux (SEEE) permet d'établir à partir des listes faunistiques les diagrammes radars issus de cet outil diagnostic. On peut alors cibler les pressions anthropiques qui expliquent le mieux la composition du peuplement parmi les catégories listées dans le Tableau 16.

Tableau 16 : Pressions prises en compte dans l'I2M2 selon leurs catégories et leurs abréviations

Paramètres de la qualité de l'eau	Paramètres de la dégradation de l'habitat
Matières organiques	Voie de communication
Matières phosphorées	Ripisylve
Matières azotées (hors nitrates)	Urbanisation
Nitrates	Risque de colmatage
HAP	Instabilité hydrologique
Pesticides	Anthropisation

Précautions d'usage :

En premier lieu, il est utile de préciser que l'indice I2M2 est susceptible d'être amené à évoluer. Il est reconnu comme fortement pénalisant pour l'établissement des cartes d'états des masses d'eau (AEAP, DRIIE). L'outil de diagnostic n'est pas encore définitif. Par exemple, les pressions de qualité physico-chimiques sont analysées au regard des seuils du SEQ-Eau V2 (création de l'indice antérieur aux seuils DCE). Ces seuils de comparaison sont amenés à changer.

⁷ Selon l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, etc.

2. Compartiment diatomique

Parmi les différents indices diatomiques existants, l'IBD (Indice Biologique Diatomique) a été retenu pour cette étude. Il est actuellement adopté par les Agences de l'Eau en routine et est normalisé dans le texte NF T90-354 de 2016. L'IPS (Indice de Polluosensibilité Spécifique) plus complet et intérateur des paramètres physico-chimiques du milieu a été calculé en complément.

2.1. Prélèvements

Les prélèvements ont été réalisés par Hydrosphère par brossage de substrats minéraux à l'aide d'une brosse à dent.

Les récoltes de diatomées ont été fixées *in situ* avec de l'éthanol, puis envoyées à Bi-Eau qui s'est chargé de la détermination des taxons et du calcul des indices.

2.2. Analyse au laboratoire

Au laboratoire de Bi-Eau, les diatomées sont traitées à l'eau oxygénée (H₂O₂) afin de détruire la matière organique de l'échantillon, dont l'intra-cellulaire, et de rendre chaque frustule (squelette externe en silice) identifiable. Ce travail est suivi de plusieurs cycles de rinçage alternant avec des phases de décantation. Une goutte de la préparation est ensuite montée entre lame et lamelle dans du Naphrax® (résine à indice de réfraction élevé permettant l'observation des valves siliceuses), pour rendre facilement visibles les caractéristiques morphologiques des valves (tailles, formes, ornements, etc.).

L'observation microscopique se fait à l'objectif x100 à l'immersion et en contraste interférentiel. Conformément à la norme, un minimum de 400 valves est identifié. Les identifications se basent entre autres sur la *Süßwasserflora* (Krammer & Lange-Berthalot 1986, 1988, 1991) et *Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa* (Hofmann G., M. Werum und H. Lange-Bertalot, 2013).

2.3. Interprétation des indices

Un encodage des taxons en 4 lettres est saisi dans le logiciel Omnidia (version 6.1 (Lecoite & al., 1993)) pour calculer l'indice IPS. La note IBD est calculée par l'algorithme de référence du Système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE).

Les notes indicielles de l'IBD et de l'IPS varient entre 1 et 20 et sont associées à cinq classes de qualité définies dans le « Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées » de Janvier 2019 (Tableau 17).

Tableau 17 : Correspondance entre les notes indicielles IBD et IPS et les classes de qualité

Classe de qualité associée	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
Note	≥ 17/20	]17 – 13]	]13 – 9]	]9 – 5]	<5

La définition de l'état écologique selon l'arrêté du 27/07/18 qui modifie celui du 25/01/10 (ministère de l'Écologie, de l'énergie et du développement durable) s'appuie exclusivement sur les notes IBD exprimées en EQR (*Ecological quality ratio*). Elles se calculent selon la formule suivante :

$$\text{Note en EQR} = (\text{note observée} - \text{note minimale du type}) / (\text{note de référence du type} - \text{note minimale du type})$$

Les valeurs de référence et les valeurs minimales par type de cours d'eau sont données en fonction des hydroécorégions (HER) et de la taille des cours d'eau dans l'arrêté du 27/07/18. Dans la région prospectée pour cette étude, les deux cours d'eau font partie de l'HER 20. La valeur de référence est de 18,1 et la valeur minimale de 1. Les limites inférieures de chaque classe de qualité et les codes couleurs associés sont présentés dans le Tableau 18.

Tableau 18 : Correspondance entre les notes IBD exprimées en EQR et les classes de qualité (Arrêté du 27/07/18)

Classe de qualité associée	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvais
Note	≥ 0,92	]0,92 – 0,76]	]0,76 – 0,52]	]0,52 – 0,26]	< 0,26

3. Compartiment piscicole

Le diagnostic piscicole du ruisseau des Broustats et le Crembreux a été effectué au moyen d'un inventaire à l'électricité, conformément à la norme européenne NF EN 14011 qui décrit le mode opératoire d'échantillonnage destiné à la classification de l'état écologique des masses d'eau. Les pêches ont été réalisées en une seule prospection d'un secteur équivalent à 20 fois la largeur du cours d'eau. Ce protocole permet ensuite le calcul de l'indice piscicole normalisé : Indice Poisson Rivière IPR (XP T90-344).

3.1. Échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué à l'aide d'un appareil de pêche électrique portatif de type EFKO 1500 et a nécessité 3 opérateurs (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Un opérateur immerge l'anode en continu et évolue d'aval en amont sur la portion de cours d'eau prospectée pendant qu'un autre récupère les poissons à l'aide d'une épuisette. Le dernier opérateur recueille et conserve le poisson dans un vivier hors du champ électrique. Après l'échantillonnage, les poissons capturés font l'objet d'une biométrie détaillée (espèce, poids, taille et nombre) avant leur remise à l'eau vivante.

3.2. Interprétation de l'indice

L'IPR (Oberdorff et al. 2002) se base sur la comparaison du peuplement observé dans le milieu avec un peuplement de référence (non perturbé). Normalisé depuis 2004, il est conforme aux prescriptions européennes de la Directive Cadre sur l'Eau concernant l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau.

Le calcul de l'IPR consiste à évaluer le niveau d'altération du peuplement piscicole à partir de différents traits écologiques appelés « métriques ». Sensibles à l'intensité des perturbations anthropiques, elles s'axent principalement sur la diversité, la structure trophique et l'abondance des espèces. La version normalisée de l'IPR prend en compte sept métriques : trois de diversité et quatre de densités (Tableau 19).

Tableau 19 : 7 métriques de l'Indice Poisson de Rivière (IPR)

Métriques	Abréviations	Réponse à l'augmentation des pressions humaines
Nombre total d'espèces	NTE	↗ ou ↘
Nombre d'espèces rhéophiles	NER	↘
Nombre d'espèce lithophiles	NEL	↘
Densité d'individus tolérants	DIT	↗
Densité d'individus invertivores	DII	↘
Densité d'individus Omnivores	DIO	↗
Densité totale d'individus	DTI	↗ ou ↘

Ces métriques répondent aux guildes d'espèces spécialisées et sensibles, parmi lesquelles on retrouve les « **Rhéophiles** » qui affectionnent les milieux courants, les « **Lithophiles** » qui se reproduisent exclusivement sur un substrat minéral plus ou moins grossier et les « **Invertivores** » qui se nourrissent

exclusivement d'insectes aquatiques. Les métriques de densité réagissent également aux espèces susceptibles de supporter des perturbations par leur caractère d'individus « **Tolérants** », c.-à-d. plus résistants aux pollutions ou d'individus « **Omnivores** » c.-à-d. capables de se nourrir d'aliments variés.

Un score est associé à chaque métrique en fonction de l'importance de l'écart entre le résultat de l'échantillonnage et la valeur attendue de la métrique en situation de référence. Les peuplements de référence ont été modélisés à partir de 650 sites témoins répartis sur l'ensemble du réseau hydrographique métropolitain. Ils sont définis en fonction des caractéristiques du milieu et des facteurs environnementaux de la station étudiée : bassin versant, position par rapport à la source, altitude, vitesse de courant et températures.

La valeur de l'IPR correspond à la somme des scores de chaque métrique. La note est d'autant plus élevée que les caractéristiques du peuplement observé s'éloignent de celles du peuplement de référence. Cinq classes de qualité ont ainsi été définies (Tableau 20).

Tableau 20 : Correspondances entre les notes IPR, les classes de qualité et leur code couleur associé

Classe de qualité associée	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
Note	< 7/20	]7 – 16*]	]16* – 25]	]25 – 36]	>36

* Pour les altitudes supérieures à 500 m, le seuil de 16 est abaissé à 14,5 (ce n'est pas le cas ici)

4. Cartographie du linéaire

Les 3 km de linéaire ont été prospectés au plus près du cours d'eau, soit depuis la berge, soit directement dans lit mineur lorsque la progression n'était pas possible en berge (pente trop importante, encombrement par la végétation, etc.). Les tronçons localisés dans les périmètres d'autres sites d'exploitation n'ont pas pu être directement prospectés. Ils ont été décrit au maximum de ce qui était observable.

2. Liste faunistique macroinvertébrés

LISTE FAUNISTIQUE

Numéro unique d'identification du rapport d'essai :

HYDRO_INV22_121_Les_Broustats

Cours d'eau : Les Broustats

Date de prélèvement : 19/07/23

TAXONS			Code Sandre	GI	Substrats marginaux	Substrats dominants	Total	Substrats dominants complémentaires	Total
Groupes	Famille / niveau A**	Genre / niveau B**								/9	A	B	(A+B)	C	(A+B+C)
INSECTES									
TRICHOPTERA									
	Psychomyiidae		238	4			2		2
		Tinodes	245			1			
		Psychomyiidae	238		1				
EPHEMEROPTERA									
	Baetidae		363	2*			1		1
		Baetidae	363		1				
	Caenidae		456	2*			2		2
		Caenis	457		2				
HETEROPTERA									
	Corixidae		709				0		1
		Micronecta	719					1	
COLEOPTERA									
	Elmidae		614	2*			1		1
		Elmis	618		1				
	Halplidae		517			1	5		6
		Halipus	518		4			1	
	Hygrobiidae		522			12	16		28
		Hygrobia	523		4			12	
DIPTERA									
	Ceratopogonidae		819			1	1		1
	Chironomidae		807	1*	62	22	84	44	128
	Tabanidae		837				0	2	2
CRUSTACES									
Sous classe des MALACOSTRACES									
AMPHIPODA									
	Crangonyctidae		5115				0		4
		Crangonyx	5116					4	
	Gammaridae		887	2*			1252		1631
		Gammarus	892		740	512		379	
ISOPODA									
	Asellidae		880				43		44
		Asellus	881		23	20		1	
AUTRES CRUSTACES									
	Ostracoda (présence)		3170		P	P	p	P	p

MOLLUSQUES							
BIVALVIA							
Sphaeriidae	1042	2			74		193
Pisidium	1043		36	19		119	
Sphaerium	1044		13	6			
GASTEROPODA							
Hydrobiidae	973	2			4		5
Potamopyrgus	978			4		1	
Planorbidae	1009	2			1		1
Planorbidae	1009			1			
ANNELIDES							
HIRUDINEA (= Achètes)							
Erpobdellidae	928	1		2	2		2
Glossiphoniidae	908	1	5	3	8	1	9
OLIGOCHAETA							
		†*					
OLIGOCHAETA	933		342	271	613	368	981
DIVERS							
HYDRACARINA							
HYDRACARINA (présence)	906		P	P	p		P
TURBELLARIA							
Dendrocoelidae	1071		5		5		5

* Taxons représentés par au moins 10 individus (les autres par au moins 3 individus)

** Selon la norme XP T90-388

Taxon Taxons non pris en compte dans le calcul de la note IBG

Taxon Taxons pris en compte dans le calcul de la note IBG (SEE) mais pas pris en compte dans l'outil diagnostic

3. Données piscicoles

BIOMÉTRIE - LES BROUSTATS

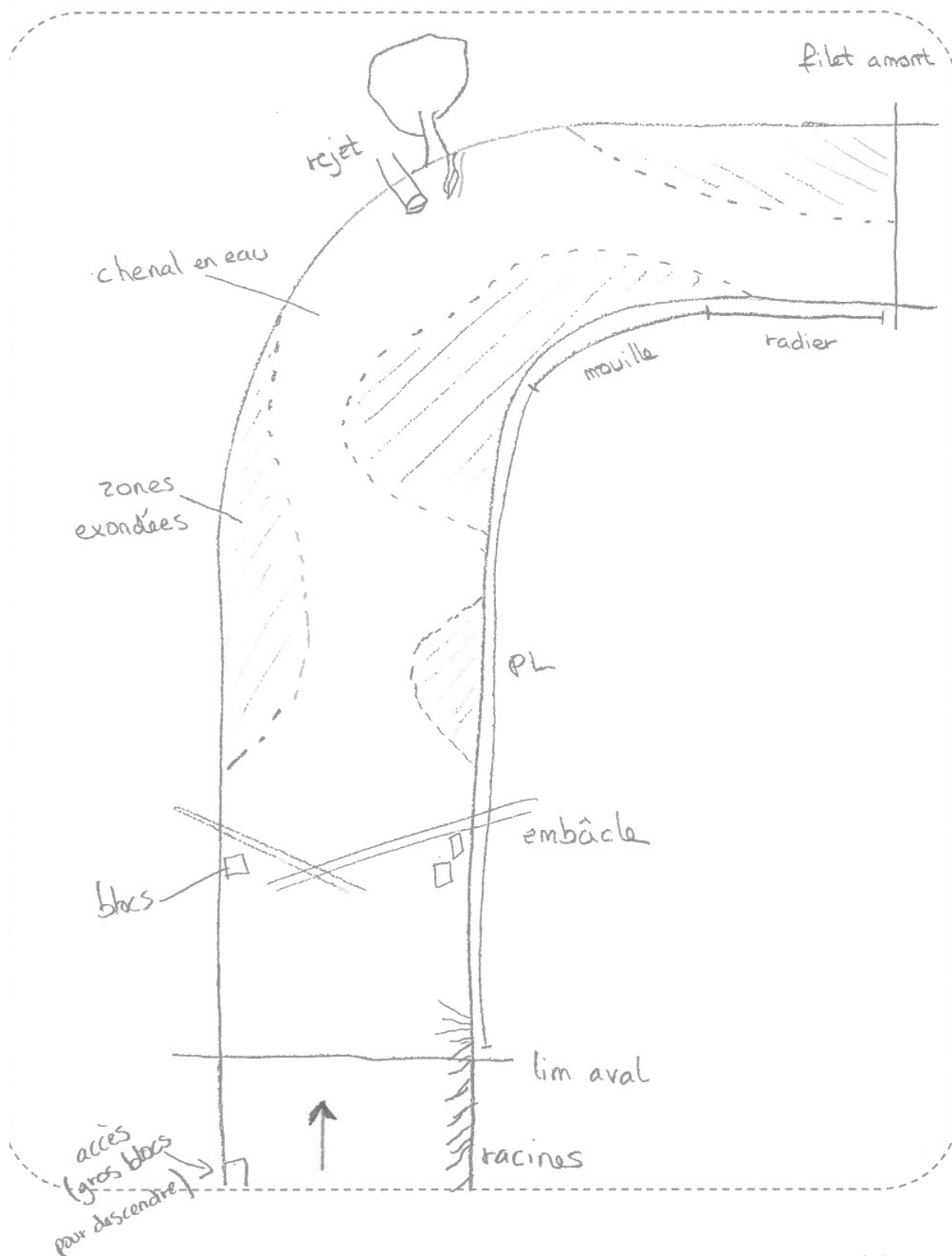
TAILLE (cm)	EPI	SOMME
2	1	1
3	10	10
4	5	5
TOTAL	16	16
Biomasse (g)	16	16 g

4. Liste floristique diatomées

Taxons	Code	Nombre	o/oo
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	RABB*	148	347
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg	CEUG*	94	220
<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i> (Kützing) Kützing	GPAR*	82	192
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	CPED*	46	108
<i>Navicula veneta</i> Kützing	NVEN*	15	35
<i>Craticula subminuscula</i> (Manguin) C.E. Wetzel et Ector	CSNU*	9	21
<i>Achnantheidium microcephalum</i> Kützing	ADMC*	5	12
<i>Encyonopsis minuta</i> Krammer & Reichardt	ECPM*	4	9
<i>Gomphonema</i> sp.	GOMS	4	9
<i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt in A. Schmidt et al. var. <i>capitellata</i>	NCPL*	3	7
<i>Sellaphora nigri</i> (De Not.) C.E. Wetzel et Ector comb. nov. emend.	SNIG*	3	7
<i>Achnantheidium eutrophilum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	ADEU*	2	5
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow var. <i>pediculus</i>	APED*	2	5
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	CPLA*	2	5
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory var. <i>tripunctata</i>	NTPT*	2	5
<i>Nitzschia amphibia</i> f. <i>amphibia</i> Grunow var. <i>amphibia</i>	NAMP*	2	5
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith var. <i>palea</i>	NPAL*	2	5
<i>Nitzschia supralitorea</i> Lange-Bertalot	NZSU*	1	2
<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desm.) C.E. Wetzel & D.G. Mann in Wetzel et al.	SSGE*	1	2

Annexe 3 : Résultats obtenus sur le Crembreux

1. Schéma de la station



2. Liste faunistiques macroinvertébrés

LISTE FAUNISTIQUE

Numéro unique d'identification du rapport d'essai :

HYDRO_INV22_121_Le_Crembreux

Cours d'eau : Le Crembreux

Date de prélèvement : 19/07/23

TAXONS			Code Sandre	GI	Substrats marginaux	Substrats dominants	Total	Substrats dominants complémentaires	Total
Groupes	Famille / niveau A**	Genre / niveau B**		/9	A	B	(A+B)	C	(A+B+C)
INSECTES									
TRICHOPTERA									
	Glossosomatidae		189	7			0		1
		Glossosomatidae	189					1	
	Hydropsychidae		211	3			3		3
		Hydropsyche	212		1	2			
	Hydroptilidae		193	5			6		18
		Hydroptila	200		1	5		12	
	Limnephilidae		276	3*			2		2
		Limnephilinae	3163			2			
	Psychomyiidae		238	4			34		84
		Metalyte	246			1		5	
		Tinodes	245		1	28		40	
		Psychomyiidae	238			4		5	
	Rhyacophilidae		182	4			1		6
		Rhyacophila lato-sensu	183			1		5	
	Sericostomatidae		321	6			1		1
		Sericostoma	322			1			
EPHEMEROPTERA									
	Baetidae		363	2*			1		1
		Baetidae	363		1				
COLEOPTERA									
	Dytiscidae		527				39		41
		Hydroporinae	2393		35	4		2	
	Elmidae		614	2*			58		66
		Elmis	618		24	7		3	
		Limnius	623			2		2	
		Macronychus	626			1			
		Normandia	624		2				
		Oulimnius	622		4	6		3	
		Elmidae	614		12				
	Gyrinidae		512				3		3
		Gyrinus	514		3				
	Halplidae		517				59		62
		Halplus	518		55	4		3	
	Helophoridae		603				2		2
		Helophorus	604		2				
	Hydraenidae		607				0		1
		Hydraena	608					1	
	Hygrobiidae		522				12		13
		Hygrobia	523		10	2		1	
	Noteridae		525				1		1
		Noterus	526			1			

DIPTERA							
Ceratopogonidae	819		1	3	4		4
Chironomidae	807	1*	1638	263	1901	335	2236
Empididae	831		27	5	32	1	33
Pediciidae	50011			1	1	7	8
Psychodidae	783		7	2	9		9
Sciomyzidae	845		1		1		1
Tipulidae	753		7	2	9		9
ODONATA							
Coenagrionidae	658		3		3		3
Platycnemididae	656				0		1
Platycnemis	657					1	
MEGALOPTERA							
Sialidae	703				2		2
Sialis	704		1	1			
CRUSTACES							
Sous classe des MALACOSTRACES							
AMPHIPODA							
Gammaridae	887	2*			135		220
Gammarus	892		59	76		85	
ISOPODA							
Asellidae	880				276		294
Asellus	881		227	49		18	
MOLLUSQUES							
BIVALVIA							
Sphaeriidae	1042	2			19		20
Sphaerium	1044		17	2		1	
GASTEROPODA							
Hydrobiidae	973	2			458		720
Potamopyrgus	978		276	182		262	
Lymnaeidae	998	2			8		10
Myxas	1007		2	1			
Radix	1004		5			2	
Physidae	995	2			1		1
Physella	19280		1				
Planorbidae	1009	2			3		7
Planorbidae	1009		2	1		4	
ANNELIDES							
HIRUDINEA (= Achètes)							
Erpobdellidae	928	1	48	27	75	2	77
Glossiphoniidae	908	1	50	8	58	12	70
Piscicolidae	918	1			0	1	1
OLIGOCHAETA							
OLIGOCHAETA	933	1*	59	10	69	8	77
DIVERS							
HYDRACARINA							
HYDRACARINA (présence)	906		P	P	p	P	p
NEMATHELMINTHA							
NEMATHELMINTHA (présence)	3111				0	P	p
TURBELLARIA							
Dugesidae	1055		44	27	71	21	92

* Taxons représentés par au moins 10 individus (les autres par au moins 3 individus)

** Selon la norme XP T90-388

Taxon Taxons non pris en compte dans le calcul de la note IBG

Taxon Taxons pris en compte dans le calcul de la note IBG (SEE) mais pas pris en compte dans l'outil diagnostic

3. Données piscicoles

BIOMÉTRIE – LE CREMBREUX

TAILLE (cm)	CHA	EPI	SOMME
2		33	33
3	4	36	40
4	13	2	15
5	1		1
6		3	3
7	1	1	2
8	3		3
9	9	1	10
10	4		4
11	1		1
TOTAL	36	76	112

Biomasse (g)	212	37	249 g
---------------------	-----	----	-------

4. Liste floristique diatomées

Taxons	Code	Nombre	o/oo
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow var. <i>pediculus</i>	APED*	145	338
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg	CEUG*	68	159
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	RABB*	42	98
<i>Achnanthis microcephalum</i> Kützing	ADMC*	34	79
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	CPED*	32	75
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory var. <i>tripunctata</i>	NTPT*	17	40
<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i> (Kützing) Kützing	GPAR*	12	28
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer	RSIN*	11	26
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot var. <i>cryptotenella</i>	NCTE*	9	21
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	CPLA*	8	19
<i>Gomphonema</i> sp.	GOMS	6	14
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot	NANT*	6	14
<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg	CLNT*	4	9
<i>Nitzschia amphibia</i> f. <i>amphibia</i> Grunow var. <i>amphibia</i>	NAMP*	4	9
<i>Reimeria uniseriata</i> Sala Guerrero & Ferrario	RUNI*	4	9
<i>Nitzschia dissipata</i> subsp. <i>dissipata</i> (Kützing) Grunow var. <i>dissipata</i>	NDIS*	3	7
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot var. <i>lanceolatum</i>	PTLA*	3	7
<i>Caloneis lancettula</i> (Schulz) Lange-Bertalot et Witkowski	CLCT*	2	5
<i>Fragilaria</i> sp.	FRAS	2	5
<i>Navicula gregaria</i> Donkin var. <i>gregaria</i>	NGRE*	2	5
<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg var. <i>lanceolata</i>	NLAN*	2	5
<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot var. <i>reichardtiana</i> in LBK	NRCH*	2	5
<i>Craticula subminuscula</i> (Manguin) C.E. Wetzel et Ector	CSNU*	1	2
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson var. <i>olivaceum</i>	GOLI*	1	2
<i>Melosira varians</i> Agardh	MVAR*	1	2
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	NINC*	1	2
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith var. <i>palea</i>	NPAL*	1	2
<i>Nitzschia palea</i> var. <i>debilis</i> (Kützing) Grunow in Cleve et Grunow	NPAD*	1	2
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot var. <i>frequentissimum</i>	PLFR*	1	2
<i>Sellaphora atomoides</i> (Grunow) Wetzel et Van de Vijver	SEAT*	1	2
<i>Sellaphora nigri</i> (De Not.) C.E. Wetzel et Ector comb. nov. emend.	SNIG*	1	2
<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desm.) C.E. Wetzel & D.G. Mann in Wetzel et al.	SSGE*	1	2
<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer et Lange-Bertalot	SBKU*	1	2

**Annexe III : Note de caractérisation des cours d'eau du bassin
versant de la Slack – Antea Group – Mars 2026**

(16 pages)

Note de caractérisation des eaux de surface du bassin versant de la Slack

Date : 09/03/26

Intitulé : Note de caractérisation des eaux de surface du bassin versant de la Slack

Numéro de projet : NPCP240030

Rédacteur(s) : Victoria MORICEAU ; Cécile PRINCE

Direction : Pôle Aménagements Hydrauliques & Traitement des Eaux Industrielles

Destinataires : Judith BOUCHAIN ; Noémie DELMOTTE (Eiffage)

Version n° : 1

Nombre de pages : 16

1. Contexte

Dans le cadre du projet développé par EIFFAGE et BAUDELET Environnement sur le site des carrières de Stinkal de Ferques, portant sur le traitement de sédiments fluviaux et marins dans plusieurs lagunes de traitement destinées à accueillir des sédiments non inertes non dangereux, la DREAL a demandé à disposer de nouveaux éléments relatifs à l'impact sur les eaux superficielles.

EIFFAGE a donc demandé à Antea Group la réalisation de deux campagnes complémentaires de prélèvements sur les cours d'eau du bassin versant du site de Stinkal, de manière à caractériser leur état écologique et chimique, en lien avec les paramètres susceptibles d'être rejetés par le projet envisagé.

L'objet de cette note est donc de présenter les résultats issus de ces deux campagnes de prélèvements.

2. Site d'étude

Le site des carrières de Stinkal est localisé à l'Est de Marquise (62), entre les communes de Ferques et de Caffiers. Il dispose actuellement de 3 points de rejet vers le fossé SNCF Ouest :

- Rejet B « Ruissellement » : les eaux de ruissellement des plateformes des installations et des voiries sont collectées puis transitent par un bassin de décantation avant d'être rejetées vers le fossé SNCF Ouest.
- Rejet B « Tertiaire » : les eaux de ruissellement des plateformes des installations et des voiries internes sont collectées par un réseau puis transitent par un bassin de décantation avant d'être rejetées vers le fossé SNCF Ouest.
- Rejet C « Exhaure Carrière Banc Noir » : les eaux d'exhaure et les eaux de ruissellement du plancher de la carrière du Banc Noir sont pompées en fond de carrière puis transitent par deux bassins de décantation avant d'être rejetées vers le fossé SNCF Ouest.

Le fossé SNCF Ouest se rejette en aval dans le fossé SNCF Est (appelé également ruisseau des Broustats) puis dans le cours d'eau « Le Crembreux ».



Figure 1 : Vue aérienne du site des carrières de Stinkal

3. Bassin versant de la Slack

Le milieu récepteur du site est considéré comme étant le Crembreux, lui-même un des affluents principaux de la Slack. **La masse d'eau de surface de référence sur le secteur est la masse d'eau de surface naturelle (cours d'eau) : FRAR53 « SLACK ».**

Les objectifs retenus par le SDAGE du bassin Artois-Picardie 2022-2027 concernant cette masse d'eau sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

N°	Nom de la masse d'eau	État écologique		Objectifs d'état écologique		
FRAR53	Slack	État écologique moyen		Bon état écologique 2027		
N°	Nom de la masse d'eau	État chimique de la masse d'eau de surface		Objectifs d'état chimique de la masse d'eau de surface		
		Avec subst. Ubiq.	Sans subst. Ubiq.	Avec subst. Ubiq.	Sans subst. Ubiq.	Motif de dérogation
FRAR53	Slack	Mauvais état chimique	Bon état chimique	Bon état chimique 2033	Bon état chimique 2015	Report pour faisabilité technique Pollutions par des substances ubiquistes

Tableau 7 : Etat et objectifs d'état de la masse d'eau « Slack » (SDAGE Artois-Picardie 2022-2027)

L'état écologique moyen actuel de la Slack est lié d'une part à un état biologique moyen, mais aussi à un état physico-chimique moyen en lien avec les nutriments (orthophosphates et phosphore) et l'arsenic.

Il est à noter que le bassin versant de la Slack accueille de nombreuses carrières dont les rejets se font vers divers cours d'eau du bassin versant de la Slack : Carrières du Boulonnais (CB), Magnésie et Dolomie de France (MDF), Carrières de Stinkal et Carrières de la Vallée Heureuse (CVH).



Figure 2 : Localisation des carrières sur le bassin versant de la Slack

4. Description des campagnes de prélèvements

4.1. Période d'intervention

Deux campagnes de prélèvement ont eu lieu :

- Campagne en période de basses eaux : 27/05/2025,
- Campagne en période de hautes eaux : 09/12/2025.










4.2. Localisation des mesures

Les points de mesures sont identiques à ceux des précédentes campagnes de mesure (débit et qualité), réalisées par Antea Group, sur les principaux cours d'eau de la masse d'eau Slack (Slack, Les Broustats, Crembreux et Ruisseau de Bazinghen) en février 2023 et août 2023.

Comme détaillé dans le tableau ci-après, la campagne de mesures comprend :

- 8 points de prélèvements sur quatre cours d'eau ou fossés (Slack, Crembreux, fossé SNCF, ruisseau de Bazinghen).
- 1 point de prélèvement sur le rejet des eaux d'exhaure de Stinkal.

Tableau 1 : Description des points de prélèvement

Entité	Point de mesure	Détail	Coordonnées (Lambert 93)	Photo
Fossé SNCF/Les Broustats	STEP Landrethun	Regard qui passe ensuite à ciel ouvert Fossé en aval du rejet de la STEP	614441 ; 7083233	
	Point X	Fossé en amont des rejets de Stinkal	614789 ; 7082368	
	Point I	Fossé en aval des rejets de Stinkal, à env. 400 m avant la confluence avec le Crembreux	614063 ; 7081331	
Rejet C - Exhaure	Exhaure	Rejet des eaux d'exhaure de Stinkal au niveau du canal de rejet	614810 ; 7082503	
Le Crembreux	Point J	A Fiennes, en tête de bassin versant. Env. 3 km en amont de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats	616290 ; 7081580	
	Point E	A Marquise, env. 6 km en aval de la confluence avec le fossé/Broustats et env. 400 m en amont de la confluence avec la Slack	608655 ; 7080151	
Ruisseau de Bazinghen	Point B	A Rouge Berne, sur le ruisseau de Bazinghen, à env. 5 km de la confluence avec la Slack	607424 ; 7081950	
La Slack	Point F	A Rinxent, env. 2 km en amont de la confluence avec le Crembreux	610242 ; 7078877	
	Point A	A Ambleteuse, à l'aval du bassin versant complet	603061 ; 7079185	

Les figures ci-dessous localisent les points de prélèvement.

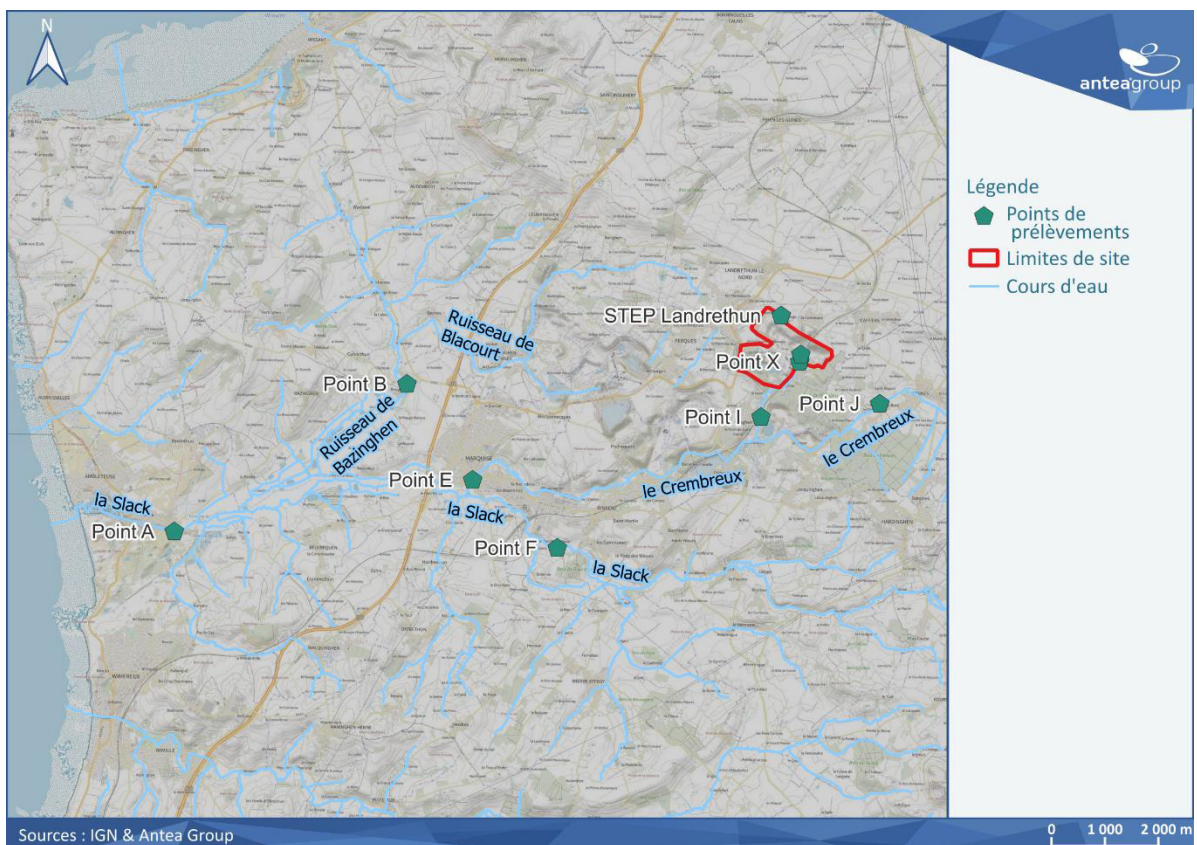


Figure 3 : Localisation des points de prélèvements (Antea Group)

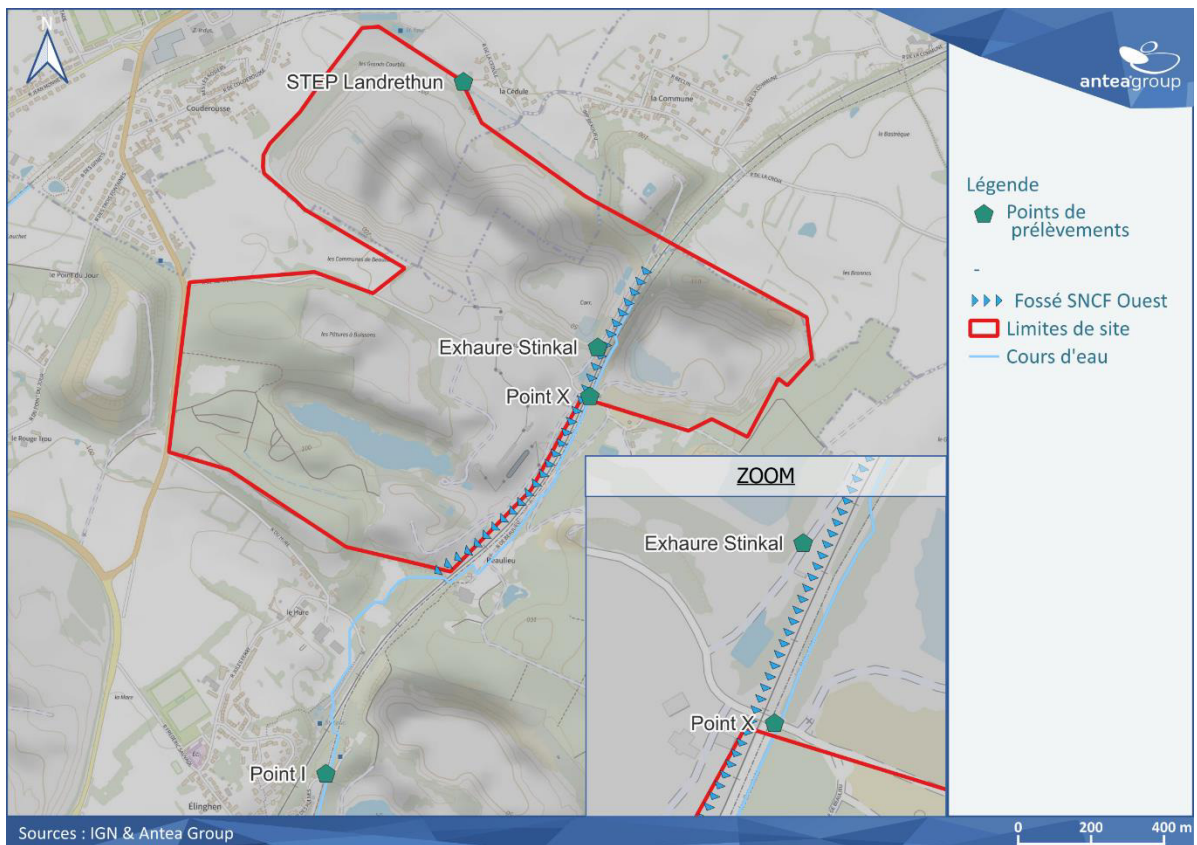


Figure 4 : Zoom sur les points de prélèvement à proximité des carrières de Stinkal

4.3. Paramètres analysés

Le mode d'échantillonnage et les prélèvements sont effectués selon le protocole décrit dans la norme française **NF EN 25667 (ISO 5667)**. Avant le prélèvement, les flacons sont rincés dans le cours d'eau. Les échantillons d'eau sont ensuite constitués à partir de prélèvements ponctuels. Conformément aux indications portées dans la norme ISO 5667-2, les échantillons prélevés sont issus de zones turbulentes bien mélangées au sein de l'écoulement naturel.

Après la récolte des données, la phase d'analyse se déroule dans le laboratoire d'analyses EUROFINs. La stabilisation et le stockage des échantillons se feront dans un flaconnage spécifique fourni avant chaque campagne par le laboratoire, conformément aux prescriptions de la norme NF EN ISO 5667 et/ou des recommandations du laboratoire responsable des analyses.

Les paramètres analysés durant ces campagnes de prélèvements sont :

- Sodium,
- Sulfates,
- Chlorures,
- COT,
- HCT,
- HAP,
- MES,
- PCB,
- 12 métaux.

4.4. Valeurs guides retenues pour l'évaluation de l'état des cours d'eau

Conformément aux rapports déjà produits, les valeurs seuils suivantes sont retenues pour l'interprétation de l'état des cours d'eau.

Tableau 2 : Valeurs seuils

Paramètres	Unité	Source valeur guide	Valeur guide*
Matières en suspension (MES)	mg/l	Guide tech.	25-50
Chlorures	mg/l	EDCH	200
Sulfates	mg/l	EDCH	250
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	Etat écologique	5-7
Sodium (Na)	mg/l	EDCH	200
Mercure (Hg)	µg/l	Etat chimique	0.07 (CMA)
Antimoine (Sb)	µg/l	EDCH	10
Arsenic (As)	µg/l	Etat écologique	0.83 (MA)
Baryum (Ba)	µg/l	EDCH	700
Cadmium (Cd)	µg/l	Etat chimique	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)
Chrome (Cr)	µg/l	Etat écologique	3.4 (MA)
Cuivre (Cu)	µg/l	Etat écologique	1 (MA)
Molybdène (Mo)	µg/l	REGARD	6.7 (NQE)
Nickel (Ni)	µg/l	Etat chimique	4 (MA) - 34 (CMA)
Plomb (Pb)	µg/l	Etat chimique	1.2 (MA) - 14 (CMA)
Sélénium (Se)	µg/l	EDCH	20
Zinc (Zn)	µg/l	Etat écologique	7.8 (MA)
Somme des HAP	µg/l	-	-
Somme des PCB	µg/l	NQE provisoire	0.001

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d'un cours d'eau du Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH / > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Réduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

L'arrêté du 25/01/2010 modifié indique que l'évaluation de l'état écologique pour les paramètres physico-chimiques généraux des eaux de surface doit se faire sur le percentile 90 d'au moins 4 valeurs pour une année et sur une moyenne d'au moins 4 valeurs pour une année quand il s'agit d'une NQE en moyenne annuelle (NQE-MA). La NQE en Concentration Maximale Admissible (CMA) est utilisée, quand elle existe, dans les cas où moins de 4 valeurs sont disponibles : la concentration maximale mesurée est alors comparée à la NQE-CMA.

5. Résultats

5.1. Fossé en aval de la STEP de Landrethun

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 3 : Résultats d'analyses fossé en aval de la STEP de Landrethun -2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux	Valeur guide*	Source valeur guide
Matières en suspension (MES)	mg/l	12	<2.0	25-50	Guide tech.
Chlorures	mg/l	232	36.5	200	EDCH
Sulfates	mg/l	66.4	54.7	250	EDCH
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	15	5.5	5-7	Etat écologique
Sodium (Na)	mg/l	141	21.6	200	EDCH
Mercuré	µg/l	<0.10	<0.10	0.07 (CMA)	Etat chimique
Antimoine (Sb)	µg/l	1.34	0.42	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	7.25	0.77	0.83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	13.2	27.5	700	EDCH
Cadmium (Cd)	µg/l	0.74	<0.20	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)	Etat chimique
Chrome (Cr)	µg/l	0.69	<0.50	3.4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	30	4.63	1 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	2.31	1.07	6.7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	11.3	6.2	4 (MA) - 34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	2.55	<0.50	1.2 (MA) - 14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	1.41	<0.50	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	130	95.2	7.8 (MA)	Etat écologique
Somme des HAP	µg/l	0.33	0.22	-	-
Somme des PCB	µg/l	<0.01	<0.01	0.001	NQE provisoire

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d'un cours d'eau du Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH / > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Réduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

Le tableau montre que **le fossé/ruisseau Les Broustats, à l'amont du bassin versant, est en bon état, voire très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour :**

- Les **chlorures** en basses eaux qui dépassent le seuil.
- Le **COT** en hautes eaux qui correspond à un état mauvais.
- L'**arsenic** pour lequel la valeur mesurée en basses eaux est supérieure à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).
- **Le cuivre et le zinc** pour lesquels les uniques valeurs mesurées sont supérieures à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).

Les données, en nombre insuffisant (<4), ne permettent cependant pas de conclure définitivement sur l'état du cours d'eau pour ces paramètres.

5.2. Point X – Fossé en amont des rejets de Stinkal

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 4 : Résultats d'analyses Point X – Fossé en amont des rejets de Stinkal -2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux	Valeur guide*	Source valeur guide
Matières en suspension (MES)	mg/l	8.4	<2.0	25-50	Guide tech.
Chlorures	mg/l	124	133	200	EDCH
Sulfates	mg/l	42.3	82.1	250	EDCH
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	4.7	3.8	5-7	Etat écologique
Sodium (Na)	mg/l	85.5	71.6	200	EDCH
Mercure	µg/l	<0.10	<0.10	0.07 (CMA)	Etat chimique
Antimoine (Sb)	µg/l	0.35	0.23	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	0.65	0.64	0.83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	12.8	27.4	700	EDCH
Cadmium (Cd)	µg/l	<0.20	<0.20	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)	Etat chimique
Chrome (Cr)	µg/l	2.24	0.61	3.4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	1.52	5.41	1 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	3.62	1.05	6.7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	2.3	6.3	4 (MA) - 34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	<0.50	<0.50	1.2 (MA) - 14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	<0.50	0.68	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	5.8	5.3	7.8 (MA)	Etat écologique
Somme des HAP	µg/l	0.24	0.3	-	-
Somme des PCB	µg/l	<0.01	<0.01	0.001	NQE provisoire

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d'un cours d'eau du Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH/ > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Reduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

Le tableau montre que **le fossé SNCF/ruisseau Les Broustats, à l'amont du rejet de Stinkal, est en bon état, voire très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour le cuivre** pour lesquels les deux valeurs mesurées sont supérieure à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).

Les données, en nombre insuffisant (<4), ne permettent cependant pas de conclure définitivement sur l'état du cours d'eau pour ce paramètre.

5.3. Rejet C – Exhaure de Stinkal

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 5 : Résultats d'analyses Rejet C- Exhaure Stinkal - 2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux
Matières en suspension (MES)	mg/l	<2.0	<2.0
Chlorures	mg/l	42.4	27.8
Sulfates	mg/l	992	754
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	1.6	1.7
Sodium (Na)	mg/l	50.6	25.8
Mercure	µg/l	<0.10	<0.10
Antimoine (Sb)	µg/l	0.27	<0.20
Arsenic (As)	µg/l	0.4	<0.20
Baryum (Ba)	µg/l	32.9	23.6
Cadmium (Cd)	µg/l	<0.20	<0.20
Chrome (Cr)	µg/l	<0.50	<0.50
Cuivre (Cu)	µg/l	0.61	0.54
Molybdène (Mo)	µg/l	2.78	1.5
Nickel (Ni)	µg/l	12.2	6
Plomb (Pb)	µg/l	<0.50	<0.50
Sélénium (Se)	µg/l	0.73	1.77
Zinc (Zn)	µg/l	<5.00	<5.00
Somme des HAP	µg/l	0.31	0.23
Somme des PCB	µg/l	<0.01	<0.01

Les valeurs de ce point de prélèvement ne sont pas comparables aux valeurs de bon état des eaux de surfaces puisqu'il s'agit d'un rejet industriel. On note néanmoins une teneur en sulfates élevée.

5.4. Point I – Fossé en aval des rejets de Stinkal

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 6 : Résultats d'analyses Point I– Fossé en aval des rejets de Stinkal -2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux	Valeur guide*	Source valeur guide
Matières en suspension (MES)	mg/l	42	9.6	25-50	Guide tech.
Chlorures	mg/l	98.4	49	200	EDCH
Sulfates	mg/l	227	412	250	EDCH
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	0.81	3.3	5-7	Etat écologique
Sodium (Na)	mg/l	61.7	29.8	200	EDCH
Mercure	µg/l	<0.10	<0.10	0.07 (CMA)	Etat chimique
Antimoine (Sb)	µg/l	0.27	<0.20	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	1.07	0.55	0.83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	18.5	26	700	EDCH
Cadmium (Cd)	µg/l	<0.20	<0.20	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)	Etat chimique
Chrome (Cr)	µg/l	1.46	<0.50	3.4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	2.55	1.69	1 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	2.49	1.12	6.7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	4.5	3.2	4 (MA) - 34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	1.06	<0.50	1.2 (MA) - 14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	0.6	0.85	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	13.6	6.4	7.8 (MA)	Etat écologique
Somme des HAP	µg/l	0.26	0.88	-	-
Somme des PCB	µg/l	<0.01	<0.01	0.001	NQE provisoire

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d'un cours d'eau du Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH / > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Réduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

Le tableau montre que le **fossé/ruisseau Les Broustats, en aval des rejets de Stinkal est en bon état, voire très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour :**

- Les **sulfates** en hautes eaux qui dépassent le seuil, et qui sont en nette augmentation par rapport à l'amont, en lien avec la teneur en sulfates des rejets de Stinkal.
- **L'arsenic et le zinc** pour lesquels la valeur mesurée en basses eaux est supérieure à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).
- Le **cuivre** pour lequel les deux valeurs mesurées sont supérieures à la NQE-MA (pas de NQE-CMA pour ces substances).

Les données, en nombre insuffisant (<4), ne permettent cependant pas de conclure définitivement sur l'état du cours d'eau pour ces paramètres.

5.5. Point J – Le Crembreux à l’amont de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 7 : Résultats d’analyses Point J– Le Crembreux à l’amont de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats - 2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux	Valeur guide*	Source valeur guide
Matières en suspension (MES)	mg/l	68	4.4	25-50	Guide tech.
Chlorures	mg/l	31.7	29.1	200	EDCH
Sulfates	mg/l	33.3	25.1	250	EDCH
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	4.7	4.5	5-7	Etat écologique
Sodium (Na)	mg/l	15.6	15.4	200	EDCH
Mercure	µg/l	<0.10	<0.10	0.07 (CMA)	Etat chimique
Antimoine (Sb)	µg/l	<0.20	<0.20	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	0.85	0.84	0.83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	30.9	23.4	700	EDCH
Cadmium (Cd)	µg/l	<0.20	<0.20	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)	Etat chimique
Chrome (Cr)	µg/l	<0.50	<0.50	3.4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	1.6	1.41	1 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	<0.20	0.3	6.7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	<2.00	<2.00	4 (MA) - 34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	1.13	<0.50	1.2 (MA) - 14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	<0.50	0.5	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	12	<5.00	7.8 (MA)	Etat écologique
Somme des HAP	µg/l	0.26	0.25	-	-
Somme des PCB	µg/l	<0.01	<0.01	0.001	NQE provisoire

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d’évaluation de l’état écologique, de l’état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d’un cours d’eau du Guide technique Relatif à l’évaluation de l’état des eaux de surface continentales (cours d’eau, canaux, plans d’eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l’Environnement de l’Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH/ > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Reduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

Le tableau montre que **Le Crembreux, à l’amont de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats, est en bon état, voire très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour :**

- Les **MES** en basses eaux qui dépassent le seuil.
- **L’arsenic et le cuivre** pour lesquels les deux valeurs mesurées sont supérieures à la NQE-MA (pas de NQE-CMA pour ces substances).
- Le **zinc** pour lequel la valeur mesurée en basses eaux est supérieure à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).

Les données, en nombre insuffisant (<4), ne permettent cependant pas de conclure définitivement sur l’état du cours d’eau pour ces paramètres.

5.6. Point E – Le Crembreux en aval de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 8 : Résultats d'analyses Point E – Le Crembreux en aval de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats - 2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux	Valeur guide*	Source valeur guide
Matières en suspension (MES)	mg/l	8.3	15	25-50	Guide tech.
Chlorures	mg/l	39.4	30.6	200	EDCH
Sulfates	mg/l	97.4	117	250	EDCH
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	2.8	3.1	5-7	Etat écologique
Sodium (Na)	mg/l	22.8	17.4	200	EDCH
Mercure	µg/l	<0.10	<0.10	0.07 (CMA)	Etat chimique
Antimoine (Sb)	µg/l	<0.20	<0.20	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	0.64	0.71	0.83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	32.9	28.6	700	EDCH
Cadmium (Cd)	µg/l	<0.20	<0.20	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)	Etat chimique
Chrome (Cr)	µg/l	<0.50	<0.50	3.4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	2.42	1.1	1 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	0.74	0.68	6.7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	<2.00	<2.00	4 (MA) - 34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	1.01	<0.50	1.2 (MA) - 14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	0.56	0.72	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	17	<5.00	7.8 (MA)	Etat écologique
Somme des HAP	µg/l	0.24	0.19	-	-
Somme des PCB	µg/l	<0.01	<0.01	0.001	NQE provisoire

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d'un cours d'eau du Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH/ > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Réduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

Le tableau montre que **le Crembreux, à l'aval de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats est en bon état, voire très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour le cuivre et le zinc** pour lesquels les valeurs mesurées en basses eaux, et en hautes eaux pour le cuivre, sont supérieures à la NQE-MA (pas de NQE-CMA pour ces substances).

Les données, en nombre insuffisant (<4), ne permettent cependant pas de conclure définitivement sur l'état du cours d'eau pour ces paramètres.

5.7. Point B – Ruisseau de Bazinghen

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 9 : Résultats d'analyses Point B– Ruisseau de Bazinghen - 2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux	Valeur guide*	Source valeur guide
Matières en suspension (MES)	mg/l	27	12	25-50	Guide tech.
Chlorures	mg/l	45.4	41.6	200	EDCH
Sulfates	mg/l	44.5	60.7	250	EDCH
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	4.4	4	5-7	Etat écologique
Sodium (Na)	mg/l	22.2	10 000	200	EDCH
Mercure	µg/l	<0.10	<0.10	0.07 (CMA)	Etat chimique
Antimoine (Sb)	µg/l	<0.20	<2.00	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	0.77	2.28	0.83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	27.9	8.48	700	EDCH
Cadmium (Cd)	µg/l	<0.20	<0.20	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)	Etat chimique
Chrome (Cr)	µg/l	<0.50	<0.50	3.4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	1.49	1.65	1 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	<0.20	10.3	6.7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	<2.00	<2.00	4 (MA) - 34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	0.53	<5.00	1.2 (MA) - 14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	<0.50	<0.50	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	15.6	27.1	7.8 (MA)	Etat écologique
Somme des HAP	µg/l	0.26	0.2	-	-
Somme des PCB		<0.01	<0.01	0.001	NQE provisoire

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d'un cours d'eau du Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH/ > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Réduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

Le tableau montre que **le ruisseau de Bazinghen est en bon état, voire très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour :**

- Le **sodium** en hautes eaux qui dépassent le seuil (valeur extrême confirmée par le laboratoire Eurofins).
- Le **molybdène** pour lequel la valeur mesurée en hautes eaux est supérieure à la NQE.
- L'**arsenic** pour lequel la valeur mesurée en hautes eaux est supérieure à la NQE-MA (pas de NQE-CMA pour ces substances).
- Le **cuivre et le zinc** pour lesquels les deux valeurs mesurées sont supérieures à la NQE-MA (pas de NQE-CMA pour ces substances).

Les données, en nombre insuffisant (<4), ne permettent cependant pas de conclure définitivement sur l'état du cours d'eau pour ces paramètres.

5.8. Point F – La Slack à Rinxent, en amont de la confluence avec le Crembreux et le ruisseau de Bazinghen

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 10 : Résultats d'analyses point F– La Slack à Rinxent, en amont de la confluence avec le Crembreux et le ruisseau de Bazinghen - 2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux	Valeur guide*	Source valeur guide
Matières en suspension (MES)	mg/l	6.8	10	25-50	Guide tech.
Chlorures	mg/l	37.1	29.5	200	EDCH
Sulfates	mg/l	33.6	28.7	250	EDCH
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	3.6	4.1	5-7	Etat écologique
Sodium (Na)	mg/l	21.7	14.6	200	EDCH
Mercure	µg/l	<0.10	<0.10	0.07 (CMA)	Etat chimique
Antimoine (Sb)	µg/l	<0.20	<0.20	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	1.12	0.79	0.83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	44.3	32.4	700	EDCH
Cadmium (Cd)	µg/l	<0.20	<0.20	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)	Etat chimique
Chrome (Cr)	µg/l	<0.50	<0.50	3.4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	0.96	1.04	1 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	0.23	<0.20	6.7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	<2.00	<2.00	4 (MA) - 34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	<0.50	<0.50	1.2 (MA) - 14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	<0.50	<0.50	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	<5.00	<5.00	7.8 (MA)	Etat écologique
Somme des HAP	µg/l	0.37	0.5	-	-
Somme des PCB	µg/l	<0.01	<0.01	0.001	NQE provisoire

*NQE : Norme de Qualité Environnementale | MA : Moyenne Annuelle | CMA : Concentration Max. Admissible

Etat écologique (très bon/bon/moyen/médiocre/mauvais) /Etat chimique (bon/moins que bon) : Arrêté du 25/01/2010 modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique [...] des eaux de surface

Guide tech. : Limites du bon état d'un cours d'eau du Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) 2012 (MàJ 2016) – ministère de l'Environnement de l'Energie et de la Mer

EDCH : Arrêté du 11/01/2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine (< EDCH / > EDCH)

NQE provisoire : NQE provisoire indiquée dans la circulaire du 07/05/2007 (bon/moins que bon)

REGARD : Projet REGARD « Réduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise (Livrables 211,212,213, Octobre 2019)

LQ/2 >valeur seuil ; impossible de se prononcer

Le tableau montre que La **Slack, à l'amont de la confluence avec le Crembreux et le ruisseau de Bazinghen, est en bon état, voire très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour :**

- **L'arsenic** pour lequel la valeur mesurée en basses eaux est supérieure à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).
- **Le cuivre** pour lequel la valeur mesurée en hautes eaux est supérieure à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).

Les données, en nombre insuffisant (<4), ne permettent cependant pas de conclure définitivement sur l'état du cours d'eau pour ces paramètres.

5.9. Point A – La Slack à Ambleteuse, à l’aval du bassin versant

Les résultats des campagnes de prélèvements sont les suivants :

Tableau 11 : Résultats d'analyses point A – La Slack à Ambleteuse, à l’aval du bassin versant - 2025

Paramètres	Unité	Basses eaux	Hautes eaux	Valeur guide*	Source valeur guide
Matières en suspension (MES)	mg/l	24	29	25-50	Guide tech.
Chlorures	mg/l	46.4	38.5	200	EDCH
Sulfates	mg/l	63.6	58.3	250	EDCH
Carbone Organique Total (COT)	mg/l	3.2	5.1	5-7	Etat écologique
Sodium (Na)	mg/l	25.9	17.9	200	EDCH
Mercuré	µg/l	<0.10	<0.10	0.07 (CMA)	Etat chimique
Antimoine (Sb)	µg/l	<0.20	<0.20	10	EDCH
Arsenic (As)	µg/l	1.13	1.03	0.83 (MA)	Etat écologique
Baryum (Ba)	µg/l	30.4	24.1	700	EDCH
Cadmium (Cd)	µg/l	<0.20	<0.20	0.25 (MA) - 1.5 (CMA)	Etat chimique
Chrome (Cr)	µg/l	<0.50	<0.50	3.4 (MA)	Etat écologique
Cuivre (Cu)	µg/l	1.19	1.51	1 (MA)	Etat écologique
Molybdène (Mo)	µg/l	0.43	0.35	6.7 (NQE)	REGARD
Nickel (Ni)	µg/l	<2.00	<2.00	4 (MA) - 34 (CMA)	Etat chimique
Plomb (Pb)	µg/l	0.83	0.77	1.2 (MA) - 14 (CMA)	Etat chimique
Sélénium (Se)	µg/l	<0.50	<0.50	20	EDCH
Zinc (Zn)	µg/l	14.4	<5.00	7.8 (MA)	Etat écologique
Somme des HAP	µg/l	0.35	0.4	-	-
Somme des PCB	µg/l	<0.01	<0.01	0.001	NQE provisoire

Le tableau montre que **La Slack, à Ambleteuse à l’aval du bassin versant, est en bon état, voire très bon état, pour la plupart des paramètres excepté pour :**

- **L’arsenic et le cuivre** pour lesquels les deux valeurs mesurées sont supérieures à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).
- Le **zinc** pour lequel la valeur mesurée en basses eaux est supérieure à la NQE-MA (pas de NQE-CMA).

Les données, en nombre insuffisant (<4), ne permettent cependant pas de conclure définitivement sur l’état du cours d’eau pour ces paramètres.

6. Conclusions

Les deux campagnes de prélèvement réalisées en 2025, l'une en période basses eaux (mai) et l'autre en période de hautes eaux (décembre) montrent que, sur les différents points de mesures dans les cours d'eau, plusieurs paramètres présentent des dépassements des seuils de bon état et ce, de façon plus ou moins répartie/diffuse sur le bassin versant de la Slack :

- Chlorures (1 point sur 8), sur le fossé à l'aval de la STEP de Landrethun.
- **Arsenic (6 points sur 8)** : pas de dépassement sur le fossé/ruisseau des Broustats à l'amont du rejet Stinkal (point X) et sur le Crembreux en aval de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats (point E).
- **Cuivre (8 points sur 8)**.
- **Zinc (6 points sur 8)** : pas de dépassement sur le fossé/ruisseau des Broustats à l'amont du rejet Stinkal (point X) et sur la Slack à Rinxent, en amont de la confluence avec le Crembreux et le ruisseau de Bazinghen (point F).
- Sulfates (1 point sur 8), sur le fossé à l'aval des rejets de Stinkal, en lien direct avec les rejets de Stinkal.
- Sodium (1 point sur 8), pic à 10 000 mg/l inexplicable en période de hautes eaux sur le ruisseau de Bazinghen.
- MES (1 point sur 8), sur le Crembreux à l'amont de la confluence avec le fossé/ruisseau des Broustats recevant les rejets de Stinkal.
- Molybdène (1 point sur 8), sur le ruisseau de Bazinghen en période de basses eaux.

Même si les données sont en nombre insuffisant pour statuer sur l'état des cours d'eau pour ces paramètres, **l'arsenic, le cuivre et le zinc présentent des dépassements par rapport aux seuils de bon état écologique sur quasiment l'ensemble du bassin versant de la Slack. Ces trois substances sont d'origine diffuse sur l'ensemble du territoire.**

Annexe IV : Exemple de fiche technique matériau adsorbant spécifique métaux

METEX®

METEX® est un produit de filtration granulaire développé et produit avec une capacité d'adsorption élevée pour les métaux lourds. Ce produit s'utilise dans le traitement de l'eau naturelle, des eaux usées, ... Pour des résultats de filtration optimaux, il est préférable de le combiner avec une couche inférieure de sable de filtration et de l'utiliser en courant ascendant.



Applications

METEX® possède une efficacité d'adsorption élevée sur les métaux lourds, tels que le plomb, le cuivre, le zinc, le cobalt, le cadmium, etc. METEX® est utilisé dans un large éventail d'applications. Ces applications comprennent l'élimination des métaux lourds de

- Eaux souterraines
- Eaux usées industrielles
- Lixiviats de décharges
- Eau potable

En fonction des conditions de fonctionnement, on peut atteindre des objectifs de traitement <0,01 mg/l de métaux lourds.

Conditionnement

- Big bags
- Filtres mobiles

Propriétés

Spécifications

TAILLE DES PARTICULES (mm)	1,00 - 3,35
GRANULOMÉTRIE	
< 3,35 mm (MIN.) (%)	82
> 1,00 mm (MIN.) (%)	90

Valeur typique

DENSITÉ APPARENTE (kg/m ³)	450
pH	10

DESOTEC se réserve le droit de modifier les spécifications à tout moment, sans avis préalable.

METEX® peut contenir une petite quantité de métaux ou d'éléments minéraux. Cela n'affecte pas l'utilisation prévue du produit.

En raison des propriétés de METEX®, le pH des premiers volumes de liquide/eau peut être alcalin (jusqu'à un pH de 11). Il peut falloir plusieurs volumes de lit de liquide/eau avant que le pH ne se stabilise.




antea[®]group