

TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

Avenue Ariane 7
1200 - 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.: **SV-CLP/4NT/0550693/000/00**

TS:

Imputation: P.009814/0500

INTERNAL

Client:

Project: SOLVAY CARRIERE LES PETONS EXPERTISE GEOLOGIQUE

Subject: Expertise géologique du gisement de la carrière "Les Petons"

Comments:

00	2017 05 19	FIN	*N. Coussaert *E. Frets	*D. Drimmer	*B. Hoffer	*A. Gauffriau
----	------------	-----	----------------------------	-------------	------------	---------------

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

* This document is fully electronically signed on 2017 05 22.

TRACTEBEL ENGINEERING S.A. - Registered Office: Avenue Ariane 7 - 1200 Brussels - BELGIUM

VAT:BE 0412 639 681 - RPM/RPR Brussels: 0412 639 681 - Bank account - IBAN: BE74375100843707 - BIC/SWIFT: BBRUBEBB

Expertise géologique du gisement de la carrière « Les Petons »

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	5
2. MÉTHODOLOGIE	5
2.1. Introduction.....	5
2.2. Méthodologie	6
3. RESULTATS.....	6
3.1. Revue des archives et création du SIG.....	6
3.1.1. Carte homogénéisée des affleurements.....	7
3.1.2. Carte homogénéisée des résultats de sondages	8
3.1.3. Problématique du raccord avec la carrière d'Hemptinne.....	9
3.2. Levé structural de la carrière	12
3.2.1. Méthodologie.....	12
3.2.2. Formations rencontrées	13
3.2.3. Contacts	18
3.2.4. Données Structurales et interprétation tectonique	20
3.2.5. Résurgences et karsts	28
3.3. Forages et analyses régionales	30
3.3.1. Introduction.....	30
3.3.2. Série des sondages « 400 »	31
3.3.3. Série des sondages « 300 »	33
4. RECOMMANDATIONS	38
5. CONCLUSION	40

ANNEXE A : TABLEAU DE SYNTHÈSES DES DOCUMENTS D'ARCHIVES,

ANNEXE B : TABLE DES MESURES STRUCTURALES

ANNEXE C : CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE

ANNEXE D : BASE DE DONNÉES SIG (SUPPORT NUMÉRIQUE)

1. INTRODUCTION

La carrière Les petons de la société Solvay exploite un gisement à cheval sur deux unités géologiques dont les caractéristiques physicochimiques permettent d'exploiter à la fois du granulats et du calcaire extrêmement pur pour la production de carbonate de sodium.

La structuration spécifique du gisement et la présence d'une nappe aquifère peu profonde engendrent des risques pour l'exploitation lorsque l'approfondissement devient nécessaire. Deux des trois fosses existantes ont été abandonnées en raison des difficultés rencontrées pour rabattre le niveau d'eau. La « fosse Est » en cours d'exploitation ne s'est pas encore approfondie en dessous du niveau jugé critique par l'exploitant pour le pompage d'exhaure.

En outre, l'exploitant a remarqué lors de l'avancement du front vers l'Est une modification du comportement mécanique de la roche qui impacte la qualité des calcaires extrêmement purs, ressource principale de la carrière.

Tractebel a proposé à Solvay de faire un état des lieux des données et études existantes, et à l'aide d'un support de cartographie géologique préliminaire, de donner un avis sur la géométrie du gisement, sur le risque d'approfondissement vis-à-vis des venues d'eau ainsi que sur les stratégies d'explorations géologiques à des fins d'extension du gisement vers l'Est.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Introduction

Les services proposés portent sur la compilation de données existantes en une base de données SIG de la carrière Les Petons (données d'archives ciblées, i.e. MNT, cartes géologiques régionales, cartographie de la carrière, positions des forages, relevés structuraux, piézométrie, etc.). En parallèle, des levés de terrain permettront l'établissement d'une cartographie géologique et structurale préliminaire afin de mieux identifier les données clés dans les archives existantes.

L'intégration de ces données permettra de fournir un avis d'expert sur la structuration géologique du gisement et ainsi de pouvoir l'extrapoler sur base des données de sondages dans les zones hors emprises actuelles de la carrière, et plus particulièrement concernant une extension possible de la carrière vers l'Est.

2.2. Méthodologie

La mission s'est axée sur les tâches suivantes:

- Poste 1 : Une revue des documents d'archive existants, avec la création d'une base de données SIG et bibliographie succincte;
- Poste 2 : Un levé géologique de la carrière, exhaustif, dans la fosse Est, et plus ponctuel en périphérie avec une interprétation cartographique des données;
- Poste 3 : Une sélection et une revue des sondages disponibles afin de les intégrer dans un modèle régional d'extension de la carrière;

De ces postes d'études ont découlé une cartographie géologique et structurale de la fosse Est avec un rapport interprétatif reprenant l'ensemble de tâches citées. Ces interprétations et conclusions ont permis de remettre un avis d'expert sur la structuration géologique du gisement actuel et son possible développement hors de l'emprise actuelle de la carrière. Sur base de cet avis, il a été permis d'estimer les données manquantes et nécessaire pour mieux qualifier et quantifier le gisement au-delà de l'avancée actuelle du front.

L'ensemble des données ayant permis d'aboutir à ces conclusions sont fournies en annexe de ce rapport ainsi que le SIG complet qui a permis l'établissement des figures présentées dans ce rapport.

3. RESULTATS

NB : Certains résultats ayant des impacts directs sur l'exploitation sont surlignés en gras.

3.1. Revue des archives et création du SIG

Pour la revue des archives, la carrière Les Petons a transmis à Tractebel le 02/08/2016 trois caisses d'archives non triées. Afin de sélectionner les documents les plus pertinents pour l'étude, Tractebel a trié l'ensemble de ces données et les a indexées en établissant un tableau récapitulatif (annexe A) reprenant :

- le numéro d'archive ;
- la date supposée du document ;
- sa provenance ;
- son titre et son contenu ;
- des remarques sur la qualité des données ;
- des remarques sur son archivage dans le SIG ;

Les données les plus pertinentes ont été scannées et géoréférencées dans un SIG fourni en annexe B de ce rapport. Ces données ont été par la suite digitalisées sous format vectoriel.

De ce travail de compilation, il ressort que :

- 54 dossiers ont été analysés et répertoriés ;
- 28 cartes historiques ont été scannées et géoréférencées ;
- 66 mesures structurales ont été digitalisées ;
- 629 points d'affleurements et de sondages ont été digitalisés reprenant les différents types de sondages suivant les différentes campagnes (forages carottés, forages destructifs, fouilles, prospection géophysique et piézomètres) ;
- 220 lignes et polygones ont été digitalisés correspondant à diverses limites géologiques, structurales (axe de plis, failles,...), et géographiques ;

3.1.1. Carte homogénéisée des affleurements

A partir de ces données, une carte d'affleurements et de mesures structurales a été produite reprenant les données suivantes (Figure 1):

- 1985 – Etude Pirlet ;
- 2004 – Etude de Carmeuse et de la carrière des Petons ;
- 2016 – Données de la Carrière Les Petons ;
- 1999 – Carte géologique de Belgique (1/25.000) ;

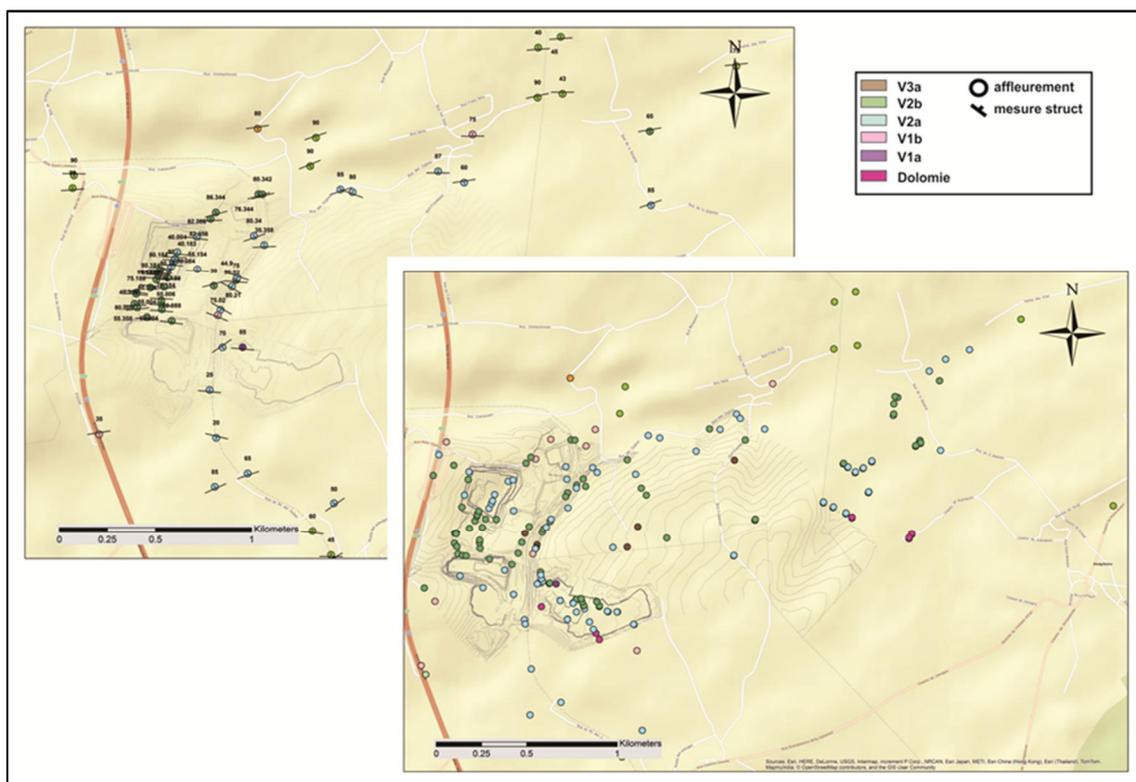


Figure 1: Exemples d'intégration et de tri des données historiques fournies par la carrière Les Petons dans le SIG intégré.

Sur l'ensemble de ces affleurements, 187 stations ont pu être identifiées avec leur lithologie. Les données structurales ont également pu être extraites et utilisées dans l'étude de la géométrie du gisement, bien qu'il existe une certaine imprécision dans la classification des formations entre les différentes bases de données.

Toutefois, une continuité des affleurements de la formation du V2a vers l'Est peut être observée à partir de la fosse Est de la carrière Les Petons démontrant ainsi son extension possible vers l'Est.

Il est intéressant de noter qu'il existe également des affleurements de la formation du V2a au sud des fosses actuelles de la carrière Les Petons, indiquant l'existence d'une zone potentiellement exploitable. Cependant, cette information nécessiterait d'être validée par de la cartographie structurale sur le terrain.

3.1.2. Carte homogénéisée des résultats de sondages

De manière similaire à la carte des affleurements, une carte des sondages a également été produite, reprenant les campagnes des années suivantes : 1984 – 1989 – 1990 -1995 -2002 -2012 (Figure 2).

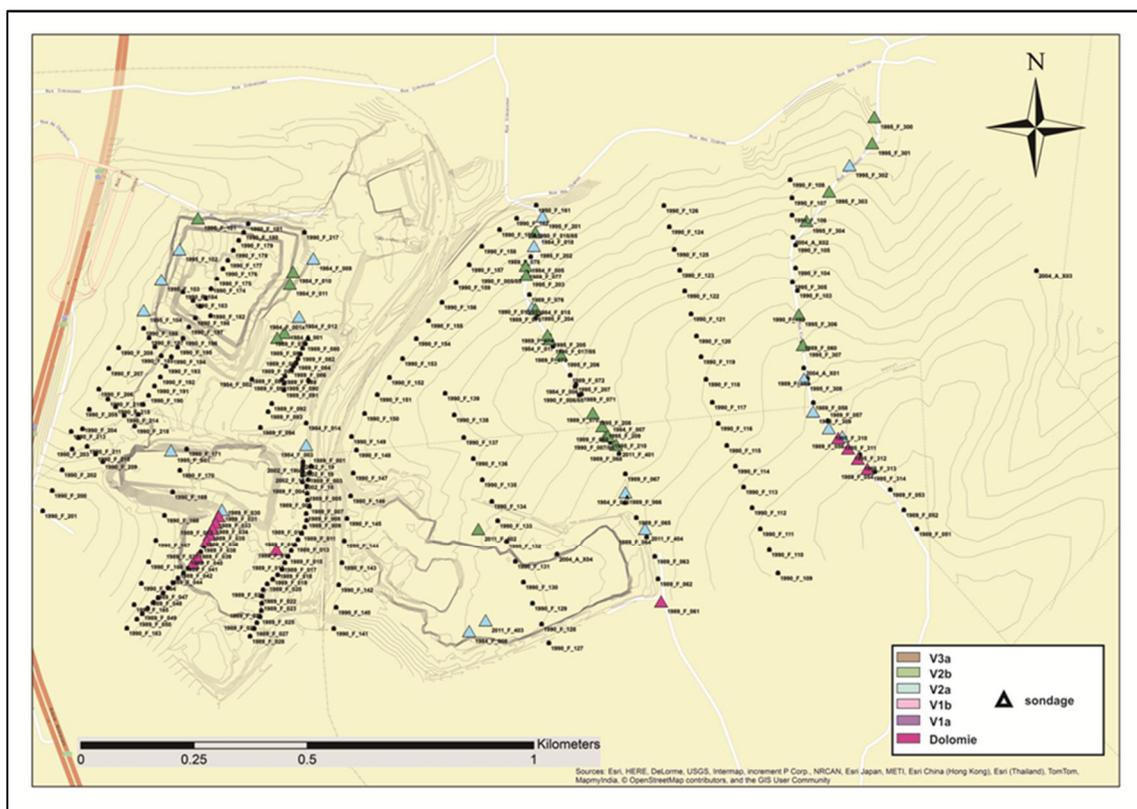


Figure 2: Intégration des données de forages et triées selon la nature la formation telle que décrits dans la littérature.

Cette carte exclut les sondages électriques, piézométriques et une partie des sondages de fouilles superficielles, lorsqu'ils n'ont pas pu être identifiés avec certitude dans les bases de données.

La description lithologique des sondages a été reprise sur la carte. Néanmoins, cette information n'est pas répertoriée sur l'ensemble de la base de données. De plus, il existe une certaine confusion sur les définitions des formations utilisées, principalement entre les formations du V2a, du V1b, du V1a et de la limite de dolomitisation dans les données fournies.

3.1.3. Problématique du raccord avec la carrière d'Hemptinne

La confusion terminologique provient en partie de l'étude réalisée en 2004 sur le raccord géologique entre la carrière Les Petons et celle d'Hemptinne, projet développé par Carmeuse plus à l'Est. Dans ce rapport, Carmeuse redéfinit la séquence lithologique exploitable en introduisant le terme de formation V2a « sensu lato » (Figure 3). Ce nouveau terme permet d'augmenter la puissance de roches exploitables en englobant l'unité du V2a avec les unités du V1b et V1a. Cela leur permet d'exploiter une épaisseur de 150m à 170m de roches à haute teneur pour les fours à chaux contre les 70 à 80m exploitées du V2a « sensu stricto » dans la carrière Les Petons.

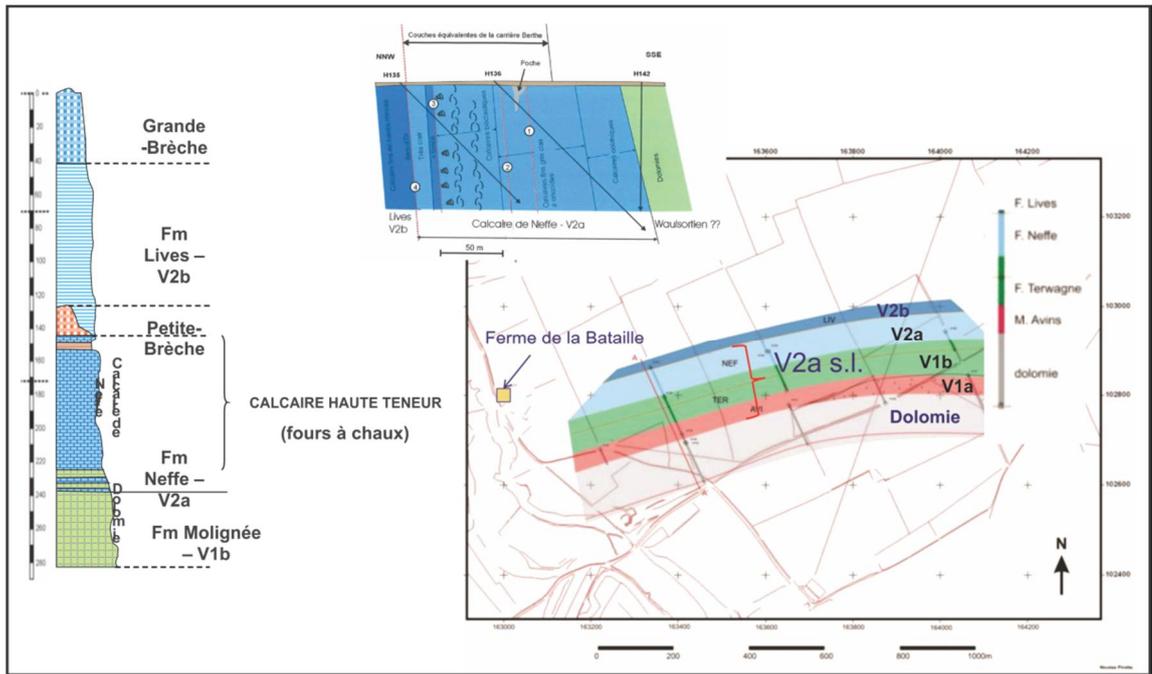


Figure 3: Carte et interprétation du "V2a sensu lato" de Carmeuse dans la carrière de Hemptinne.

Cette confusion entre le V2a « sensu lato » et le V2a « sensu stricto » est entretenue également par la limite inférieure exploitable de ces deux formations. En effet, pour la carrière Les Petons, la limite inférieure du V2a se caractérise par un phénomène de dolomitisation qui diminue fortement la qualité de la roche pour son exploitation économique, qui correspond à la limite du V1b. Pour Carmeuse, la formation du V2a « sensu lato » est également limitée par une zone de dolomitisation mais qui se situe plus bas dans la séquence lithologique car elle est située dans la formation du V1a « sensu stricto ».

Cette confusion est levée ici en modifiant les bases de données pour unifier les codes selon que l'on prenait le V2a « sensu lato » ou « sensu stricto » ainsi que sur la limite de la dolomitisation.

Différents modèles régionaux (Figure 4 & Figure 5) ont été proposés pour décrire la géométrie du gisement entre les deux projets.

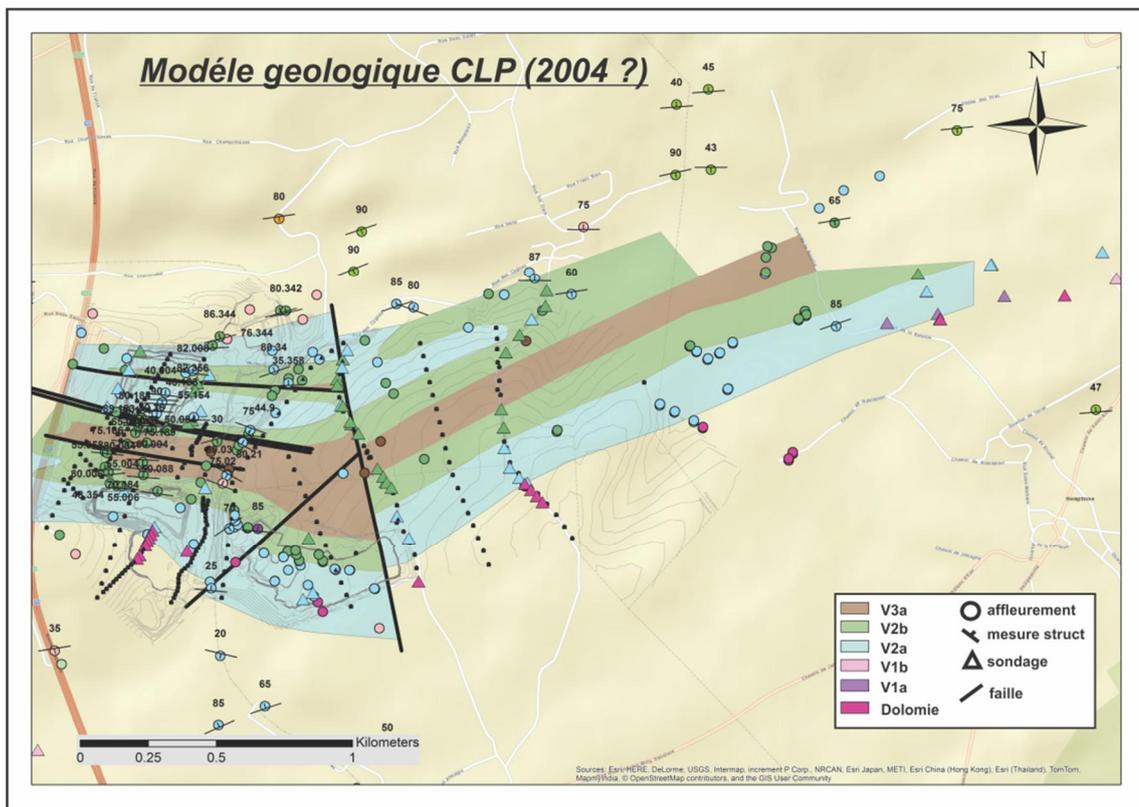


Figure 4: Modèle géologique de la Carrière Les Petons, supposé de 2004 , intégrant le V2a « sensu stricto ».

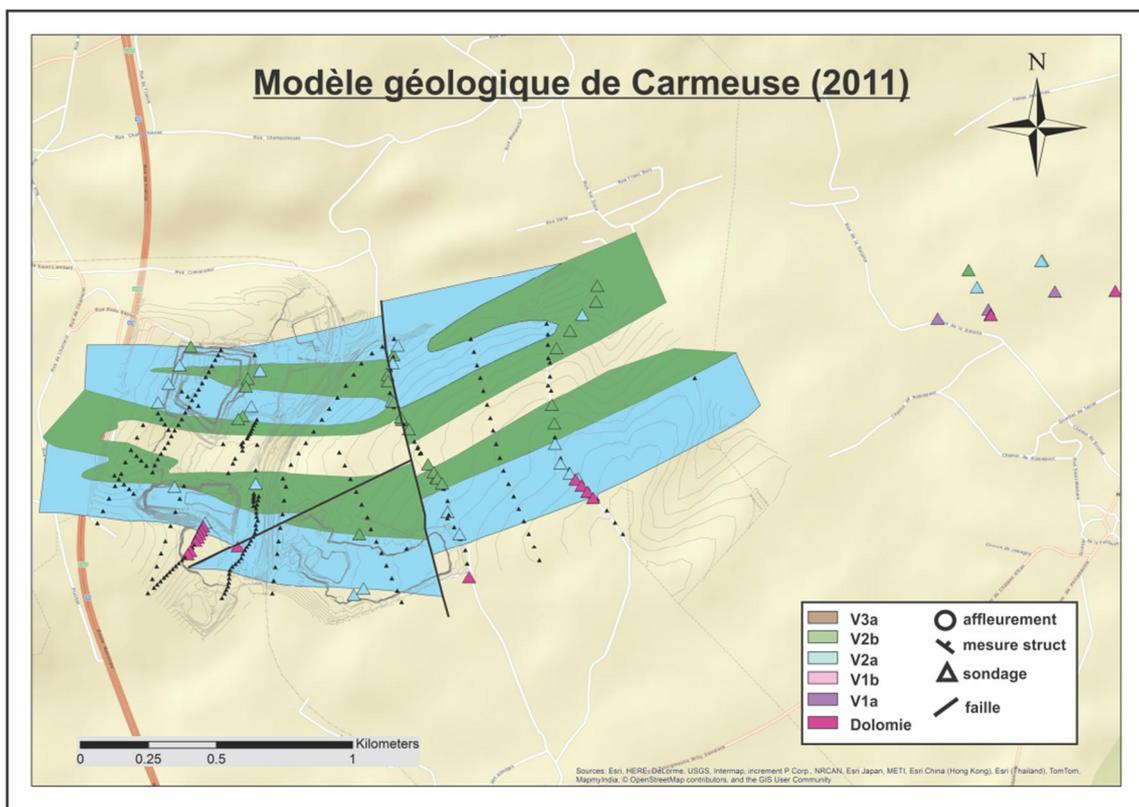


Figure 5: Modèle géologique de Carmeuse (2011) avec le V2a comme « sensu lato » .

Les différences de ces modèles se marquent principalement au niveau de l'épaisseur du V2a exploitable suivant la limite de dolomitisation prise en compte et de la localisation des failles.

Dans les deux modèles, une faille principale sépare une partie ouest caractérisée par une structure plissée faillée avec des chevauchements et à l'est par une structure plissée plus linéaire et conservant l'épaisseur des formations lithologiques. En 2012, quatre sondages ont été réalisés à l'est des carrières des Petons, pour tester les limites de la formation du V2a et de mieux caractériser la faille séparant les deux projets.

Ces résultats seront discutés dans la partie sondage de cette étude. Mais il est à noter que, avec le développement de l'exploitation actuelle de la carrière Les Pétons, cette structure devrait être observée dans la fosse Est.

Dans le cadre de cette étude, pour éviter toute confusion, nous utiliserons les limites de la formation du V2a « sensu stricto » correspondant aux limites stratigraphiques traditionnellement admises en Belgique et reconnaissables sur le terrain.

Les données géologiques et structurales des archives concernant la fosse Est restent limitées et ne permettent donc pas de prévoir l'évolution de la géométrie –et donc de la qualité– du gisement lors de son avancement vers l'Est par rapport à la limite actuelle de la fosse.

3.2. Levé structural de la carrière

Des levés géologiques et structuraux ont été réalisés dans la carrière Les Petons, plus particulièrement dans la fosse Est qui est la moins bien documentée et ceci afin de mieux comprendre l'évolution de la géométrie du gisement vers l'Est.

3.2.1. Méthodologie

Chaque station de levé de terrain a été localisée et répertoriée à l'aide d'un GPS Garmin Oregon 600, permettant une précision métrique. Chacune de ces stations a fait l'objet d'une description géologique détaillée et une formation y a été associée. Lorsqu'il était possible d'acquérir des données structurales, celles-ci ont été acquises avec une boussole professionnelle calibrée. Ensuite, les données structurales ont été classées suivant leur nature (stratification, fracture, axe de plis,...). L'ensemble de ces données a été retranscrit en format digital dans un fichier Excel présenté en Annexe C pour être par la suite utilisé dans le SIG.

La Figure 6 présente les 77 stations qui ont été levées. La majorité de celles-ci se situe de la fosse Est, avec de nouvelles données structurales acquises dans le nouveau carreau d'approfondissement de la fosse. Les autres stations sont localisées en bordure de la fosse ou dans l'ancienne fosse à l'ouest, afin de définir les limites lithologiques du V2a. Au total, 195 plans ont été mesurés et répertoriés selon leur nature, ainsi que 27 lignes représentant essentiellement des stries de glissement. Ces linéations permettent de calculer le paléo- champ de contraintes associé à la déformation pouvant expliquer ainsi la géométrie du gisement.

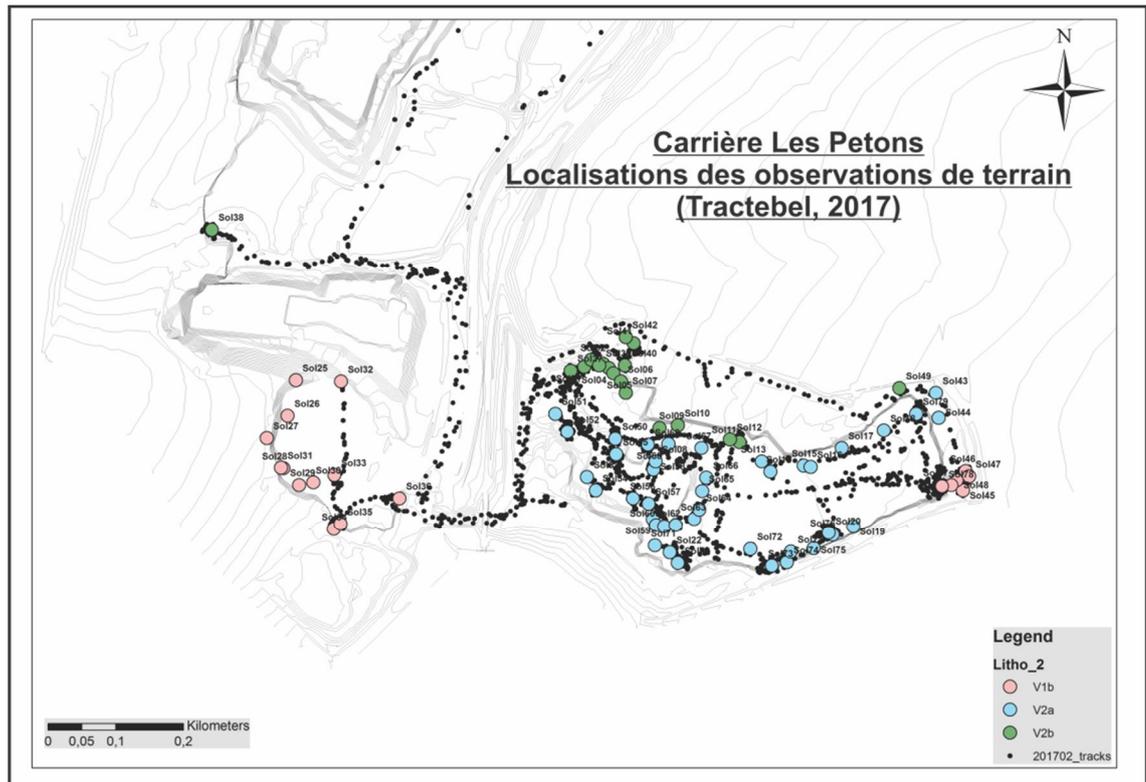


Figure 6: Localisations des observations de terrain avec l'indentification des différentes formations rencontrées. En noir les « tracks gps ».

3.2.2. Formations rencontrées

Lors du levé de terrain, nous avons rencontré, du nord vers le sud et du haut vers le bas, trois formations géologiques suivantes :

- **La formation du V2b** ou dite de Lives: Elle est constituée par une séquence de bancs décimétriques à métriques de calcaires gris foncés clastiques à contenu fossilifère et de calcaires fins, noirs, argileux avec des niveaux à cherts. La série est caractérisée par la présence de nombreux niveaux brèchiques et de zones fracturées riches en hématite (Figure 7). Les calcaires présentent fréquemment des zones rougeâtres dues à la présence d'hématite. Peu de géodes de dissolution ont été observées à l'affleurement;

- **La formation du V2a** ou dite de Neffe : Elle est constituée de bancs métriques à plurimétriques de calcaires massifs finement grenus, homogènes, gris clair à beige, riches en oolithes, avec des niveaux plus riches en bioclastes et en crinoïdes. Certains niveaux dans la séquence sont plus sombres et riches en brachiopodes pluricentimétriques (Figure 8);

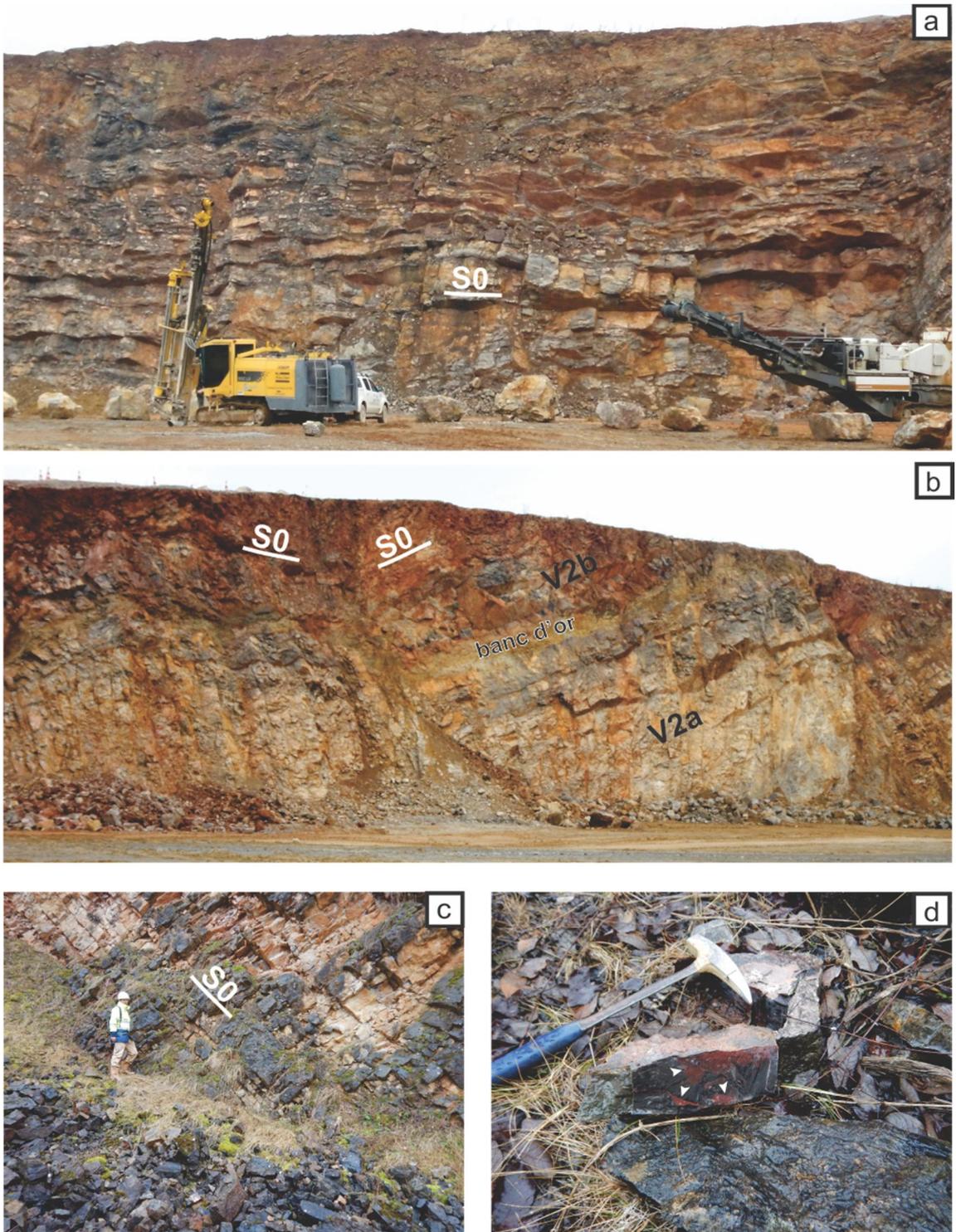


Figure 7: Caractérisation de la Formation du V2b à l'affleurement, dans la Carrière Les Petons. (a), (c) Alternance en bancs décimétriques à métriques définissant le plan de stratification. (b) La base du V2b est marquée par le « banc d'or », un banc de couleur ocre plus argileux et tectonisé. (d) Présence d'hématite en patchs discontinus centimétriques

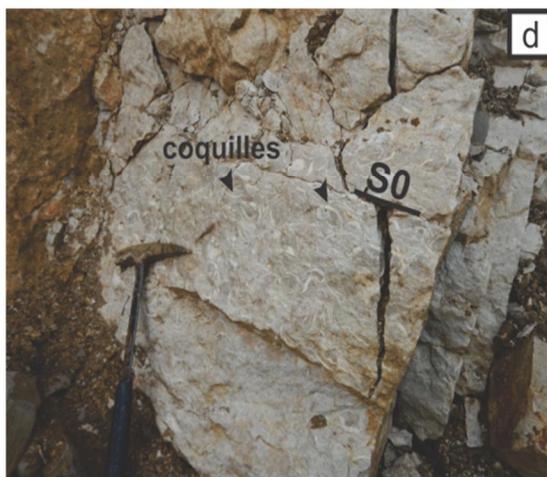


Figure 8: Caractérisation de la Formation du V2a à l'affleurement, dans la Carrière Les Petons. (a), (b), (d) Stratification définie par des variations de teinte du calcaire massif (c). Les bancs peuvent être décamétriques. Vers le toit de la formation, présence de lits de brachiopodes centimétriques d'une puissance de 30-50 cm.

- La formation du V1b : elle est constituée d'une alternance de bancs décimétriques à métriques de calcaires bleus sombres avec nombreuses veines de tensions et cavités avec géodes de calcite, et contenant des fossiles macroscopiques (coquilles, gastéropodes, coraux etc.) avec des calcaires plus clairs, homogènes, oolithiques, dolomitisés et des niveaux calco-argileux riches en cherts (Figure 9). Les calcaires sont colorés partiellement par des zones hydrothermales rose pâle à jaunâtre liés à l'oxydation secondaire de calcite riche en Fe, lié au phénomène de dolomitisation.



Figure 9: (a) alternance de bancs pluridécimétriques de calcaire bleu sombre à noir, (b) présence de zones de dissolution (géodes) jaunâtres liées à la dolomitisation. (c) Présence de macrofossiles pluricentimétriques (gastéropodes, bivalves, etc.)

3.2.3. Contacts

3.2.3.1. V2B-V2A

Le contact entre la formation du V2b et du V2a a été observé dans la fosse Est de la carrière. Il est caractérisé par un banc argileux décimétrique ocre, appelé « banc d'or ». Ce niveau correspond selon la littérature à un horizon sédimentaire particulier dans la série du V2b lié à une concentration de cendres volcaniques. Dans la carrière, il correspond également à un horizon fortement tectonisé avec un aspect très bréchique correspondant à une semelle de charriage dans la séquence du V2b sur la formation du V2a plus massive (Figure 7b). Plusieurs niveaux bréchiques plus discrets mais présentant un aspect similaire ont été observés au sein de la série du V2b, ne correspondant pas à la position stratigraphique du banc d'or.

Un autre critère pour cartographier la limite V2a/V2b est la présence dans la partie sommitale de la formation du V2a de plusieurs bancs très riches en brachiopodes qui ont pu être observés à différents endroits dans la carrière. Ces bancs permettent d'estimer indirectement où se situe le contact entre le V2a et le V2b, plus particulièrement dans la partie sommitale de la fosse Est (Figure 10).

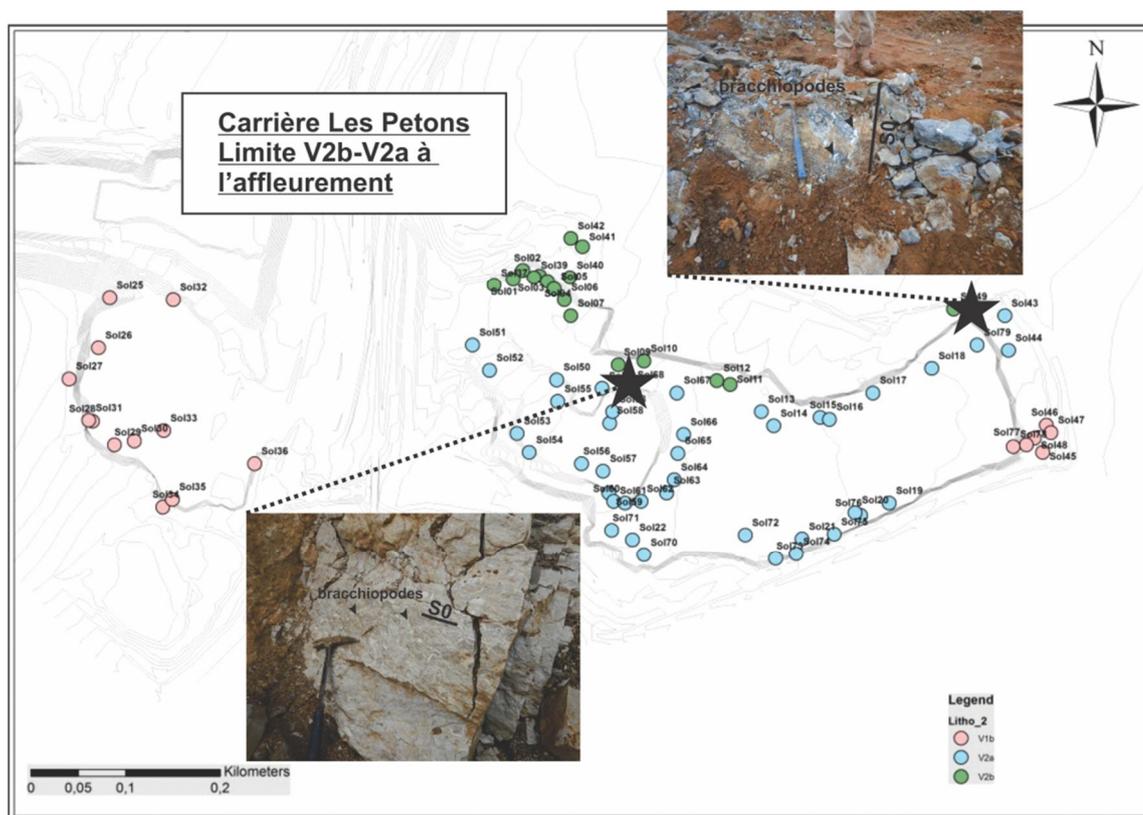


Figure 10: Partie sommitale de la formation du V2a caractérisée par la présence de bancs pluridécimétriques à brachiopodes

3.2.3.2. V2A-V1B

Le contact entre le V2a et V1b a pu être observé dans le carreau supérieur de la fosse Est, sur la zone Sud Est de la zone de découverte du gisement (Figure 11). La zone de contact se caractérise par le passage net entre des blocs métriques de calcaire massif gris clair correspondant à la formation du V2a et des blocs métriques de calcaires bleus sombres avec nombreuses veines de tensions et cavités avec géodes de calcite typique de la formation du V1b.

Au niveau de la fosse, le contact a été observé dans la partie sud-est de la fosse Est, dans la prolongation du contact observé dans la zone de découverte. Dans le reste de la fosse, aucun contact n'a pu être observé.

Un autre contact entre ces deux formations a été estimé au niveau de la limite de l'ancienne fosse Sud-Ouest de la carrière Les Petons. Au sud de celle-ci, seule la formation du V1b affleure, définissant la limite entre les deux formations, la formation du V2a ayant été complètement exploitée au Nord.

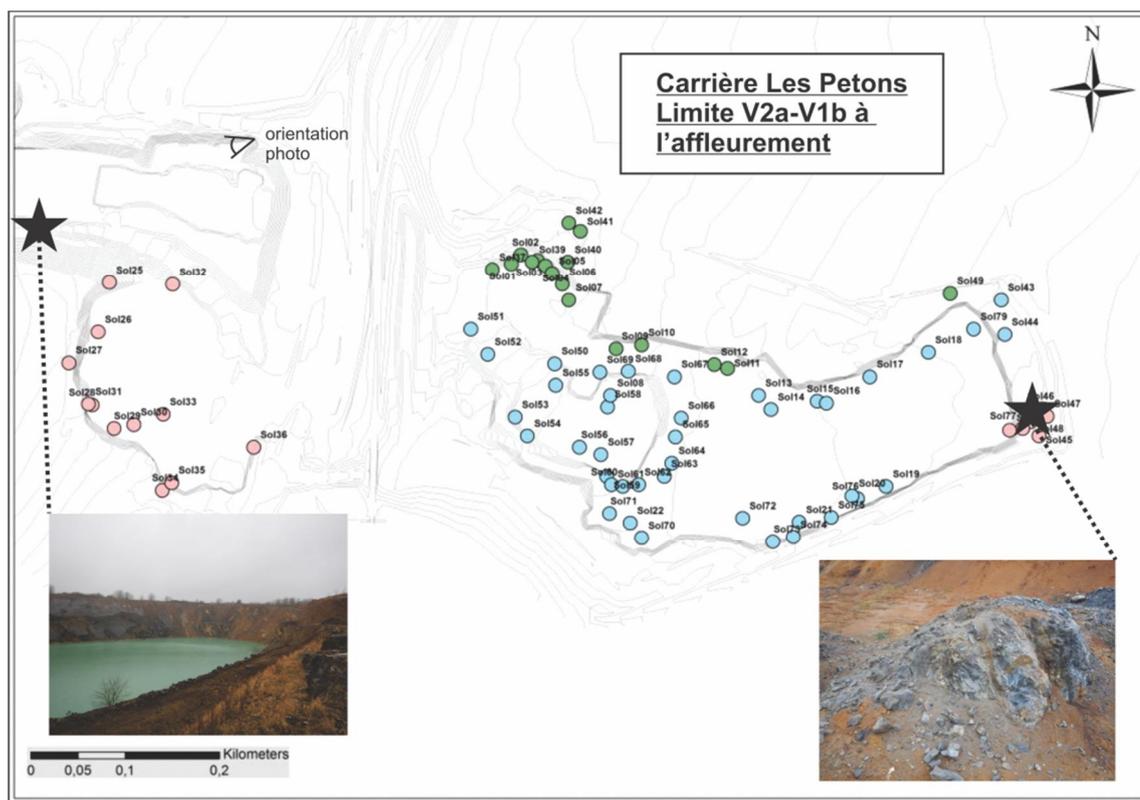


Figure 11: Limite inférieure du V2a avec le V1b. A l'Ouest, la limite supposée est la partie Sud de l'ancienne fosse maintenant sous eau. A l'Est, le contact se marque par la transition sur quelques mètres de « boules » de calcaires gris clair du V2a, avec les calcaires sombres dolomités du V1b

3.2.4. Données Structurales et interprétation tectonique

3.2.4.1. VARIATIONS DE LA STRATIFICATION

Les mesures de stratification dans la fosse Est montrent une variation progressive dans leur orientation et pendage d'Ouest en Est (Figure 12):

- Au Nord-Ouest, la stratification est orientée en moyenne en Est-Ouest, avec des pendages modérés (30° - 40°) vers le Nord
- Au Sud-Ouest, la stratification pend faiblement (20° - 30°) vers le Nord-Est (azimuth \sim N120°)
- A l'extrême Est, les pendages se verticalisent ($> 70^{\circ}$) et l'orientation change en N30°– N40°
- Enfin, au centre, des pendages marquent cette transition de manière relativement brutale (sur environ 200 m), en formant un pli dont l'axe est orienté N38°, s'ennoyant de 23° vers le NE (Figure 13).

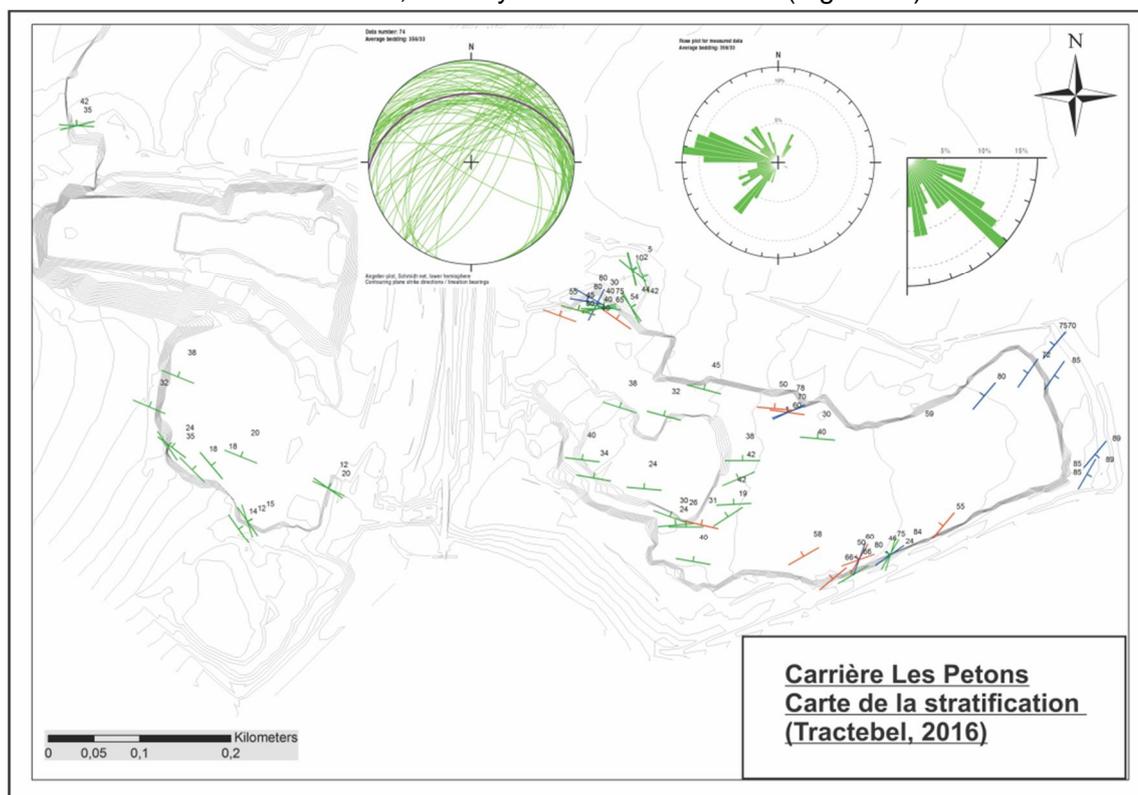


Figure 12 : Carte de la stratification (vert : dip < 45° - rouge : 45° < dip < 60° - bleu : dip > 60°). Notez la rotation progressive d'Ouest en Est de la stratification, d'un pendage nord faible à modéré, vers un pendage subvertical orienté en N040

La compilation des mesures structurales réalisée à partir des données d'archives a permis d'observer une tendance tout à fait différente de celle observée sur base des données acquises par Tractebel durant cette étude (Figure 13).

Cette différence s'explique par la localisation des données. Les données historiques ont été acquises dans les fosses Ouest des carrières Les Petons, la fosse Est n'ayant pas encore été ouverte à l'époque. Les plans de stratification sont beaucoup plus redressés dans les anciennes fosses et leur orientation est constante, avec un axe de pli en moyenne orienté Est-Ouest, horizontal.

Les données structurales acquises dans la zone Nord-Ouest de l'ancienne fosse Sud-Ouest par Tractebel sont concordantes avec les données historiques. Cette orientation d'axe de plis Est-Ouest correspond à la déformation régionale de la zone. Néanmoins, les nouvelles données acquises dans la fosse Est démontrent un structure plissée plus complexe avec une modification dans l'axe des plis en Nord-Est.

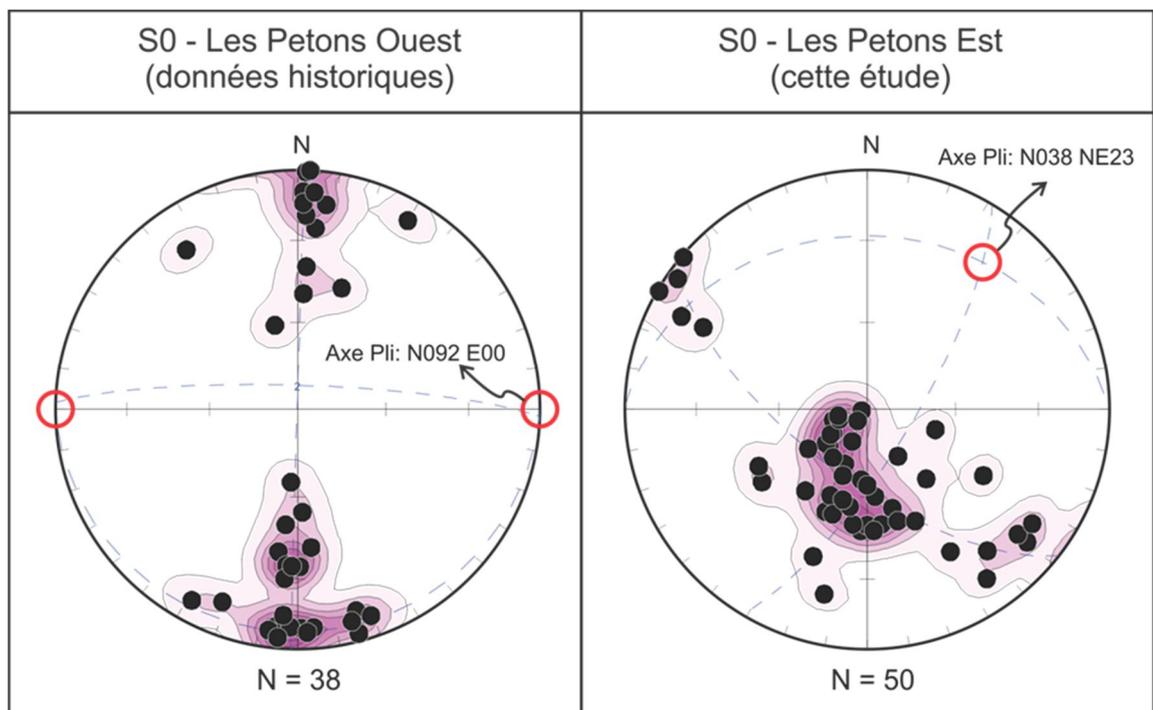


Figure 13: Différence entre la stratification des données historiques (à l'Ouest de la fosse Est), et celle mesurée par Tractebel dans la fosse Est. L'axe de pli moyen orienté Est-Ouest tourne vers un axe orienté NE-SW, légèrement ennoyé vers le NE

Sur de nombreux plans de stratification des stries de glissement ont pu être observées dans les différentes formations rencontrées impliquant des mouvements entre les bancs de stratification pour absorber la déformation. Plusieurs zones de chevauchement sont d'ailleurs observables dans la formation de V2b, dont le banc d'or qui correspond à un chevauchement majeur de la formation du V2b sur les calcaires plus massifs du V2a. En effet, de par sa structure en mille-feuilles de succession de bancs calcaires décimétriques, la formation du V2b accomode la déformation par des systèmes de chevauchement « flat and ramp », bien visibles dans la partie nord de la carrière, en début de zone de découverte (Figure 14).

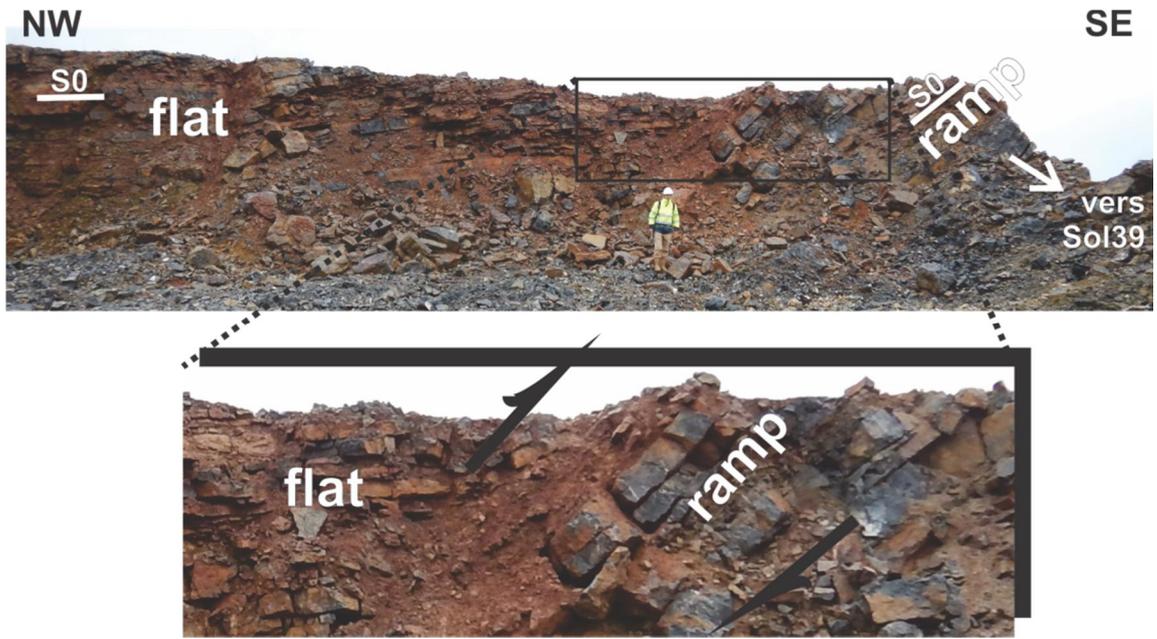


Figure 14: Style de déformation en "flat and ramp" dans le V2b, à l'approche du chevauchement au contact avec le V2a

L'orientation des stries de glissement est relativement variable avec plusieurs orientations visibles sur un même plan, impliquant une histoire complexe avec des épisodes de « blocage » influençant localement l'orientation de la déformation ». A l'aplomb de ces chevauchements, la déformation se caractérise par des systèmes de lentilles et de structures plissées correspondant à un contexte de tectonique transpressif (compression avec composante cisailante) (Figure 15). Ce comportement face à la déformation explique également la présence des nombreuses brèches observées dans la formation du V2b.

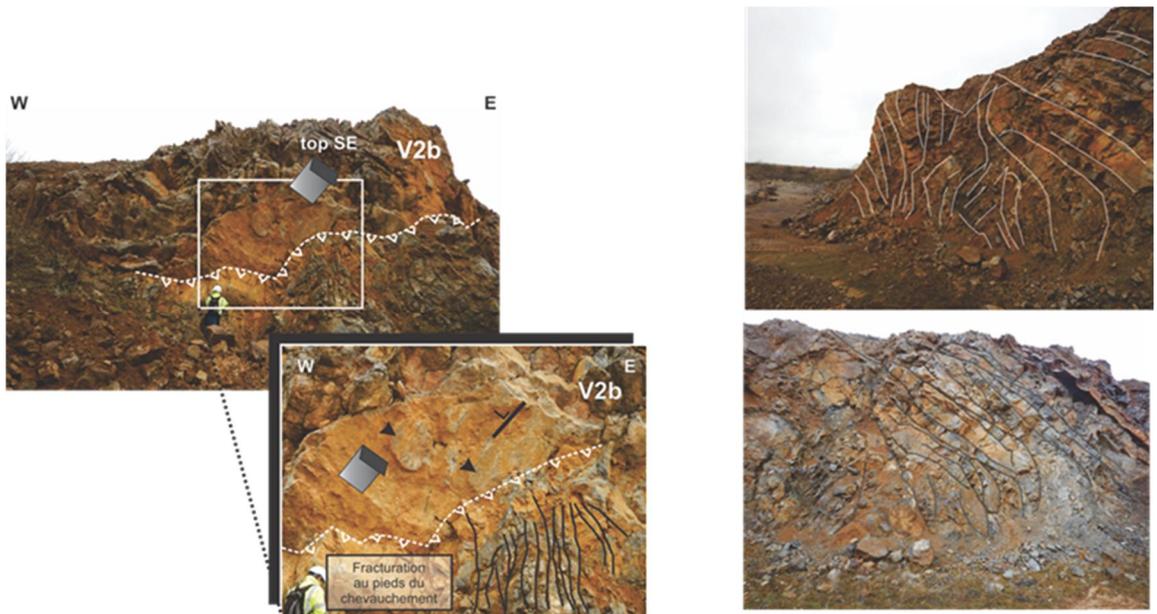


Figure 15: Chevauchement oblique (top vers le SE) et structures sigmoïdales de type « flower structure » inversées, caractéristiques de régimes tectoniques transpressifs.

Face à cette déformation, la formation du V2a a un comportement rhéologique plus cassant dû à son aspect homogène et massif. Néanmoins, des zones de chevauchement de même type ont été observées de manière plus localisée permettant l'accommodation du changement de l'orientation de la stratification dans la partie Est de la fosse en activité.

Au niveau de l'exploitation, le redressement vertical de la stratification en N40° dans la partie Est de la fosse va réduire la puissance exploitable en surface de la formation du V2a. Ceci aura pour conséquence d'exploiter la formation plus en profondeur, et donc d'ouvrir la fosse dans les formations du V2b et du V1b, augmentant ainsi le volume de production de la chaîne du granulats pour une même quantité de V2a.

3.2.4.2. LA FRACTURATION ET LES FAILLES

La mesure des plans de fracturation et de failles s'est focalisée sur les structures les plus tardives, et donc affectant potentiellement la géométrie du gisement de manière la plus accentuée. Les structures de déformation telles que les fentes de tension et les brèches cimentées n'ont pas fait l'objet de la présente étude.

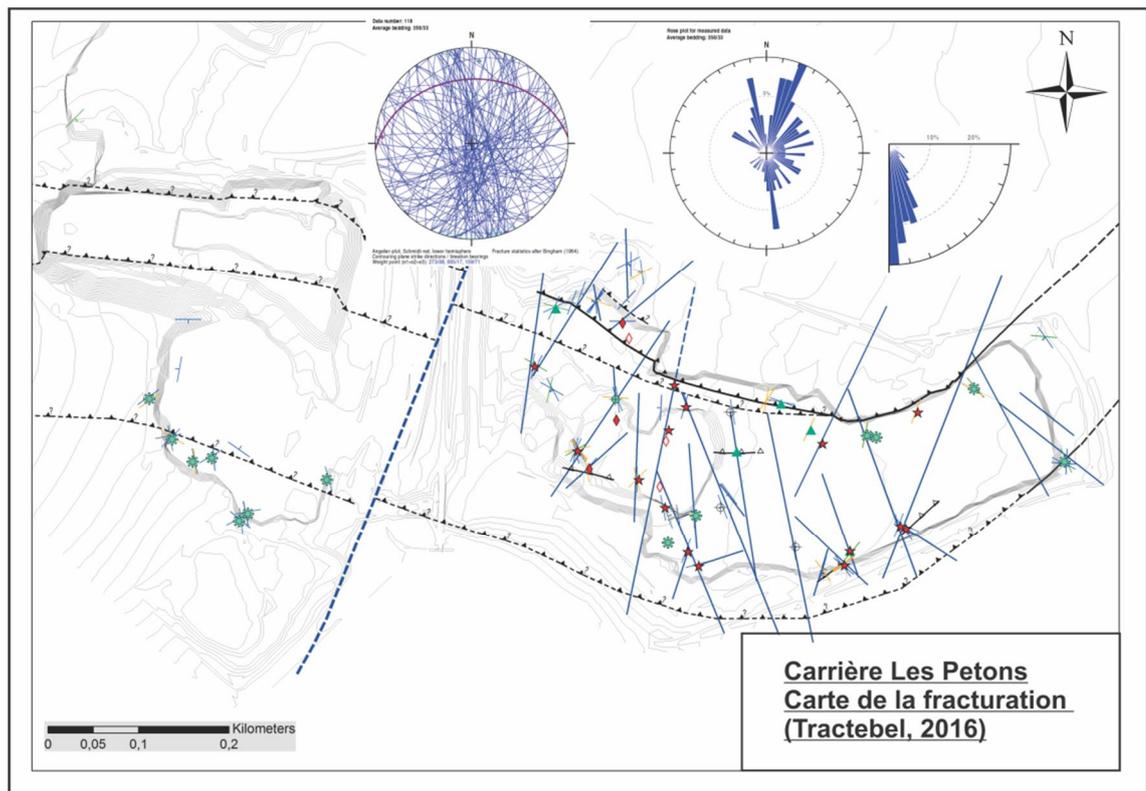


Figure 16: Carte de la fracturation. Notez l'intensification de la fracturation afin d'accommoder la rotation de la stratification.

La fracturation au sein de la carrière actuelle s'organise en quatre familles, en ordre d'importance (Figure 16):

- 1) Une première famille de plans sub-verticaux orientés en moyenne en $\sim N020^\circ$, très pénétratifs, continus ;
- 2) Une seconde famille orientée en $N340^\circ$, continus à discontinues, avec des pendages sub-verticaux à 70° pendant vers l'Ouest et l'Est
- 3) Une troisième et une quatrième famille orientées respectivement en $N120^\circ$ et $N060^\circ$, mais de façon plus discrètes et discontinues avec des pendages moins verticaux variant entre $60-80^\circ$ dans les deux directions Est-Ouest

Les observations de terrain ont montré que la fracturation ne pénètre pas toutes les formations de manière égale. La formation du V2a se caractérise en effet par une densité de fractures verticales plus intense que dans la formation du V2b. La plus grande partie de cette fracturation s'arrête sur le chevauchement entre ces deux formations (Figure 17). Cette fracturation forme un système en lentilles sub-verticales et des « flower-structures », typiques des contextes tectoniques transpressifs.

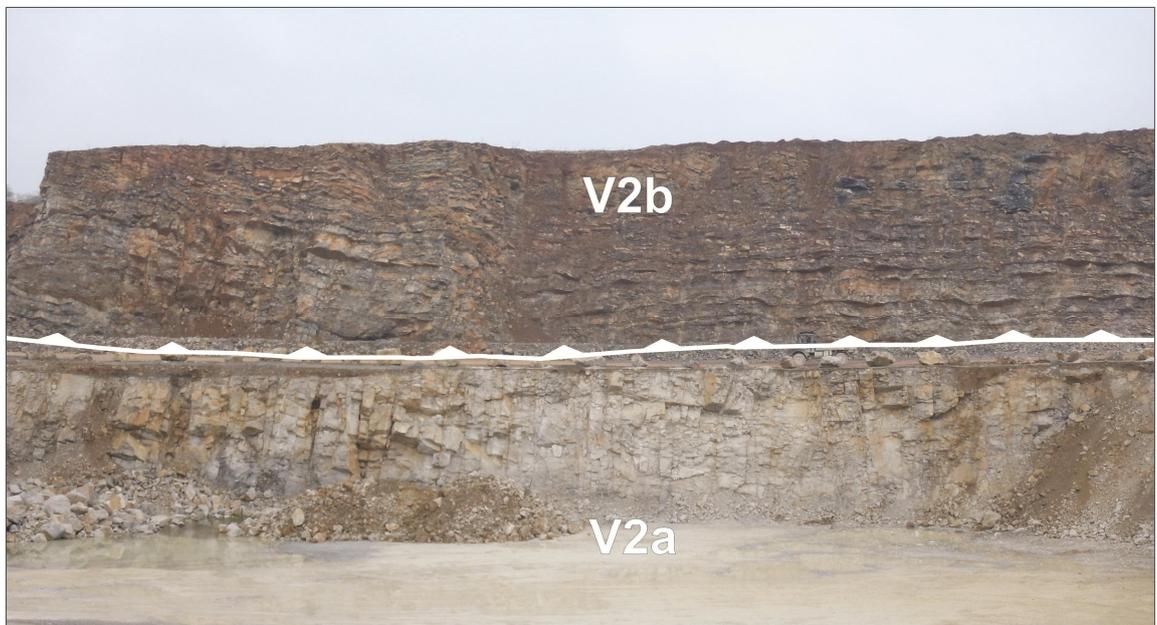


Figure 17: Variation de la géométrie entre les formations du V2a caractérisé par une intense fracturation verticale et le V2b se marquant par sa stratification horizontale. On note l'arrêt de la fracturation du V2a sur la surface de chevauchement entre les deux formations

Des stries de glissement ont également été observées sur les plans de fracturation impliquant des mouvements sur ces structures. Elles sont principalement localisées sur les deux familles de fractures les plus importantes (Figure 18). L'orientation en $N300^\circ$ qui ressort sur la Figure 18 correspond aux zones de chevauchement dans la stratification. Une partie de ces mouvements correspond à des mouvements décrochant. Cependant, contrairement à ce que les modèles régionaux pouvaient laisser supposer (Figure 4 & Figure 5), aucune zone de faille majeure N-S ne traverse la fosse au travers des deux formations du V2a et V2b.

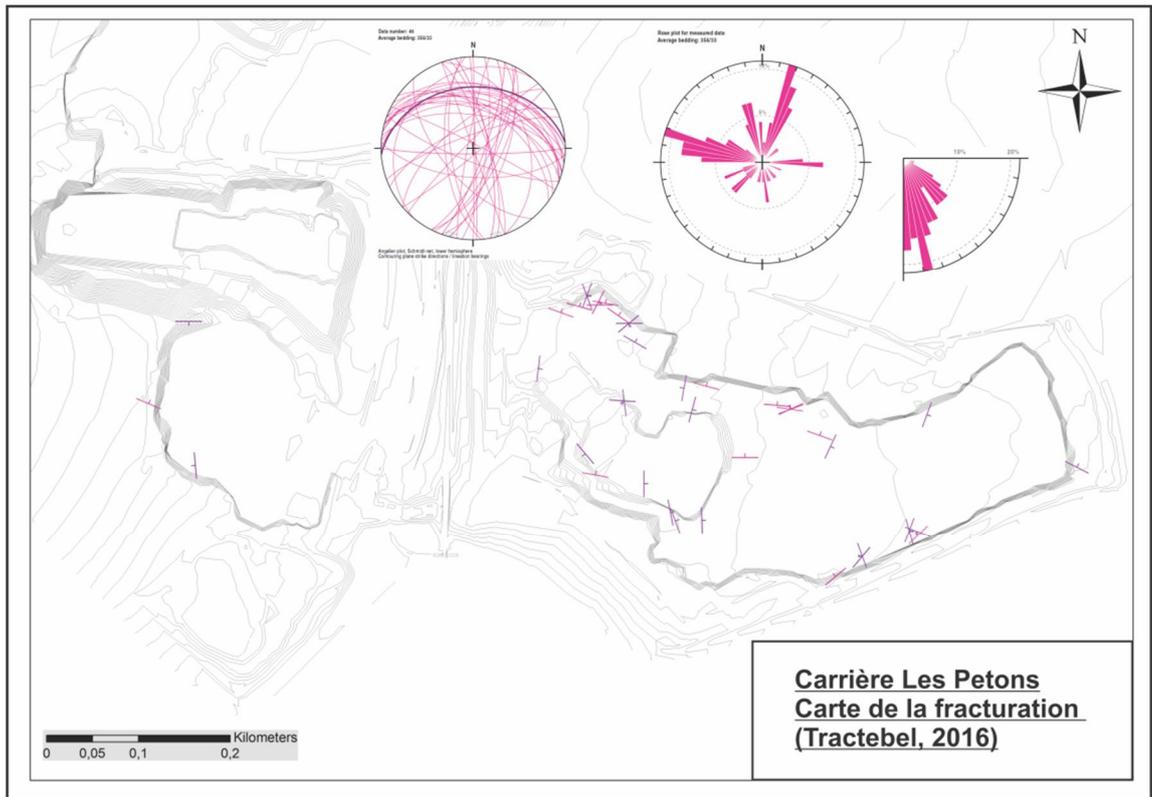


Figure 18: Carte de la fracturation et la stratification avec indication de mouvement (stries de glissement).

Le réseau de fracturation caractérise plus des zones d'accommodation dans la formation du V2a avec des déplacements relatifs de blocs les uns par rapport aux autres, mais sans grand mouvement comme l'indique la continuité dans la fosse du banc d'or et du banc riches en brachiopodes observés dans la partie sommitale du V2a.

Par contre, une zone de fracturation intense avec des mouvements décrochant encadrée par une zone graduelle de fracturation a été identifiée dans la formation du V2a au niveau du nouveau carreau d'approfondissement dans la fosse Est. Cela laisse supposer l'existence d'une structure faillée à ce niveau mais qui ne traverse pas la zone de chevauchement au-dessus dans la formation du V2b impliquant un découplage dans l'histoire de la déformation entre ces formations.

Cette zone fortement fracturée peut avoir un impact sur le comportement mécanique de la roche dans cette zone car il s'agit d'une déformation très pénétrative diminuant la granulométrie des blocs à exploiter et donc impactant la qualité mécanique de la roche lors de son exploitation.

Par ailleurs cette zone très fracturée pourrait contribuer à l'existence de voies de drainage préférentielles expliquant l'importance des débits à extraire (éventuellement et à titre d'hypothèse) par une mise en communication de cette zone de la fosse avec l'axe du Ruisseau des Gattes - affluent de l'Eau d'Yves - situé plus au sud de la fosse Est. Une telle situation serait de nature à diminuer l'efficacité des pompages d'exhaure et par là, donner lieu, à des débits à gérer particulièrement importants.

Aucune mesure structurale de fracturation ou de structures de déformation n'a été rencontrée dans la littérature qui permettrait d'intégrer et de comparer nos données aux alentours de la carrière.

3.2.4.3. ANALYSE DU PALÉO- CHAMPS DE CONTRAINTE

L'analyse microtectonique de terrain (levé des stries de glissement avec leur sens de mouvement) a permis de recalculer un paléo-champs de contrainte associée à ces structures cassantes. La Figure 19 montre que les données de la carrière de Solvay concordent avec une contrainte horizontale maximale σ_1 orientée NW-SE. Le tenseur de contraintes se caractérise par $\sigma_1 \gg \sigma_2 \wedge \sigma_3$, ce qui correspond à un régime en transpression, en accord avec les observations de terrain.

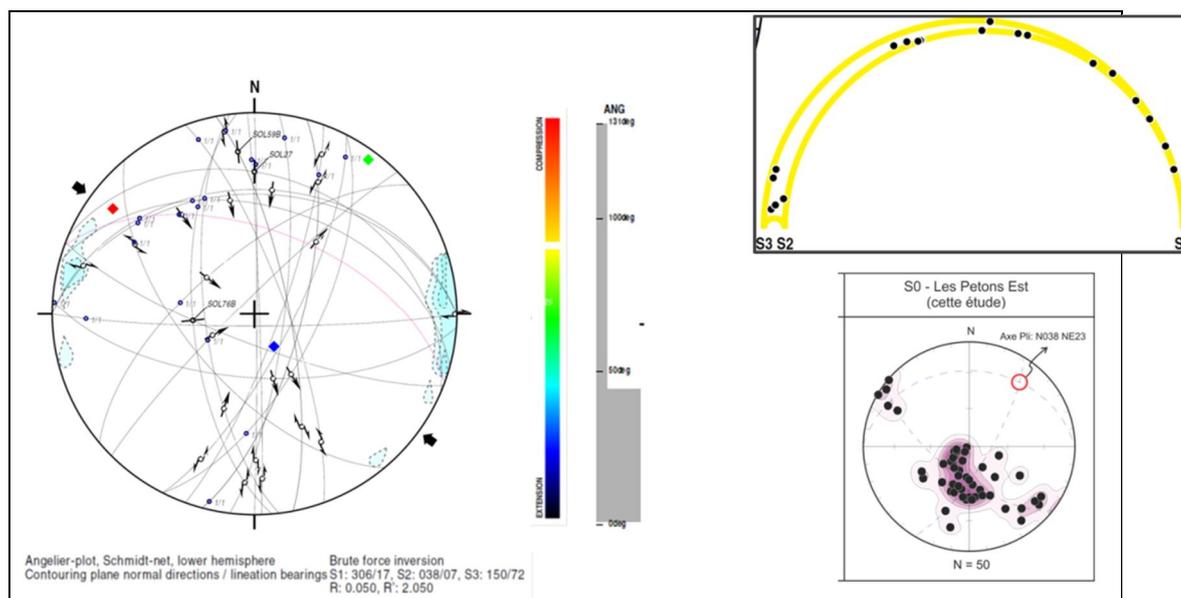


Figure 19: Analyse du paleo-champs de contrainte par inversion « brute » (« brute force inversion »), en utilisant le software sg2ps

L'orientation et les caractéristiques de cette contrainte permettent non seulement d'expliquer les structures cassantes tardives mesurées sur le terrain, mais concordent également avec l'orientation de l'axe de pli déduit du stéréogramme des plans de stratification de la fosse Est.

En effet, ce dernier est orienté perpendiculairement à σ_1 (voir Figure 13). Ceci corrobore les observations de terrains qui suggèrent que la déformation cassante est contemporaine du plissement de la formation du V2a.

A l'échelle régionale, un tel pivot des axes de plis se marque également à l'Est de la vallée de la Meuse (axe Namur – Dinant) (voir carte géologique de la Belgique).

La déformation associée à cette contrainte se marque différemment dans le V2a et le V2b sus-jacent : la formation massive et compétente du V2a accommode la contrainte par une rotation de son orientation de N120° à N040°, alors que la formation du V2b se découple de cette déformation par une série de chevauchements d'échelle inférieure (métrique à décamétrique).

Concernant les impacts sur l'exploitation, cette modification de l'orientation des structures rend aussi peu probable un modèle d'extension du gisement linéaire entre la carrière des Petons et celle d'Hemptinne, tout en conservant l'épaisseur des formations lithologiques comme celles présentées précédemment.

3.2.4.4. CARTE STRUCTURALE & COUPE

Suite à ces différentes observations de terrain, Tractebel propose la carte géologique suivante pour la fosse Est (Figure 20). Les points importants de cette cartographie sont :

- Les limites entre les différentes formations sont tectonisées et correspondent à des zones de chevauchement ;
- On observe une réorientation du champ des contraintes modifiant la direction des structures orientées en Est-Ouest à l'ouest de la carrière en N040° dans la zone Est de la fosse avec une verticalisation de la stratification.
- **Cette verticalisation de la stratification a pour conséquence une réduction de la surface exploitable de la formation V2a dans la partie Est de la fosse**
- **Cette réduction en surface peut également être due à une réduction de l'épaisseur par pincements de la stratification due à sa verticalisation et sa nouvelle orientation par rapport au champ des contraintes;**
- **Une absence de zone de faille majeure N-S recoupant la fosse Est comme proposé dans les modèles précédents ;**
- **Un réseau de fractures accommodant la déformation dans la formation du V2a et ne pénétrant pas nécessairement dans la formation supérieure du V2b ;**
- Une accommodation de la déformation par un système de chevauchement « flat and ramp » dans la formation du V2b ;
- Des chevauchements de même type sont également présents dans la formation du V2a pour accommoder les changements d'orientation de la stratification ;

- Cela a pour conséquence des pendages faibles à modérés et un épaissement de la série au niveau d'axe de rotation de la stratification facilitant l'exploitation de la formation du V2a à cet endroit ; La présence d'une zone de forte fracturation pénétrative dans cette même partie qui peut avoir une conséquence sur le comportement mécanique de la roche à ce niveau ;
- L'existence supposée d'une faille majeure orientée N020° à l'ouest de la fosse Est peut expliquer le raccord entre la variation d'épaisseur exploitable en surface de la formation du V2a avec l'ancienne fosse à l'Ouest.

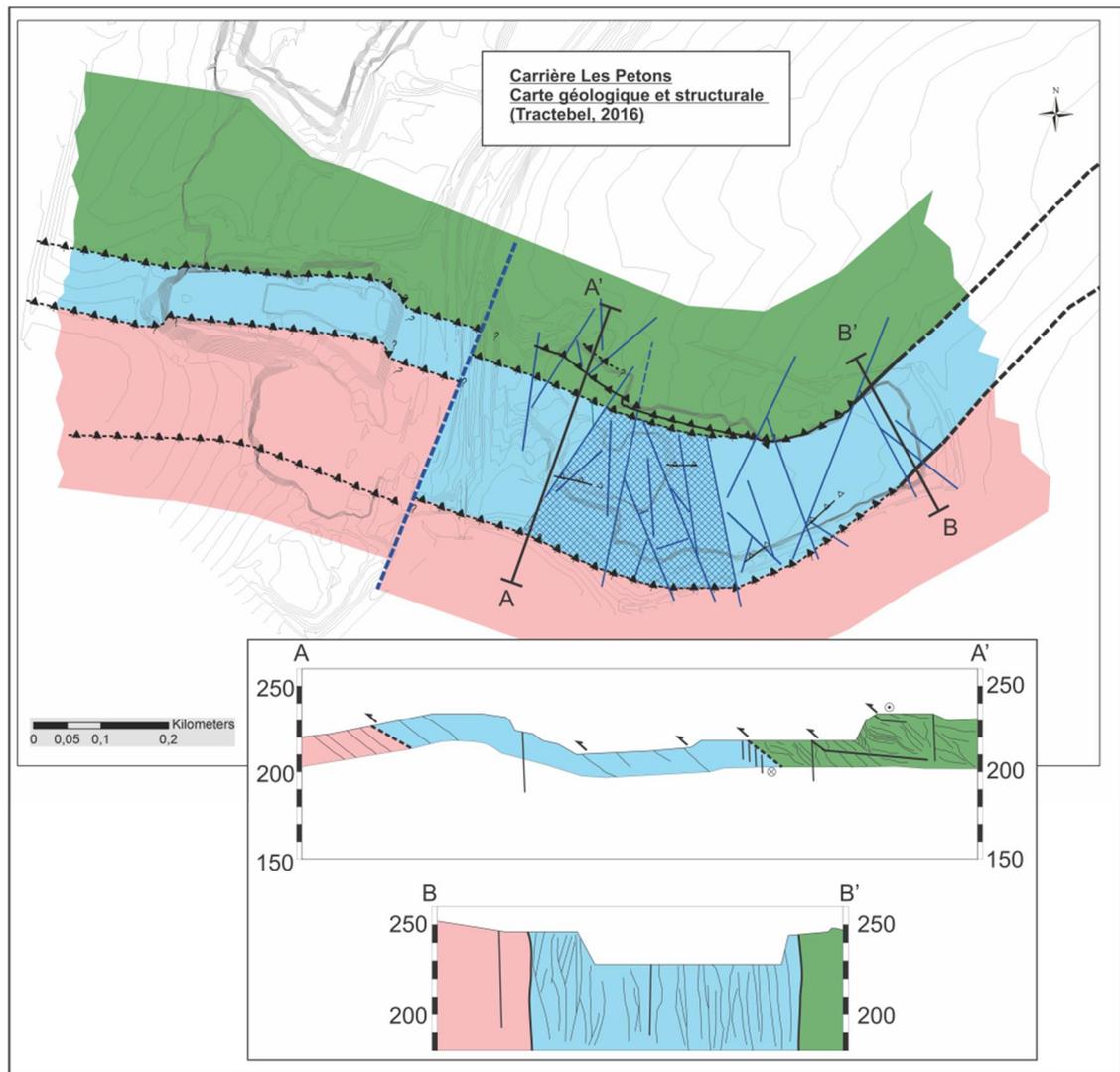


Figure 20 : Carte géologique et coupes interprétatives de la Carrière Les Petons

3.2.5. Résurgences et karsts

Durant les levés sur le terrain, des relevés des résurgences et des karsts ont été réalisés. Elles sont présentées sur la Figure 21.

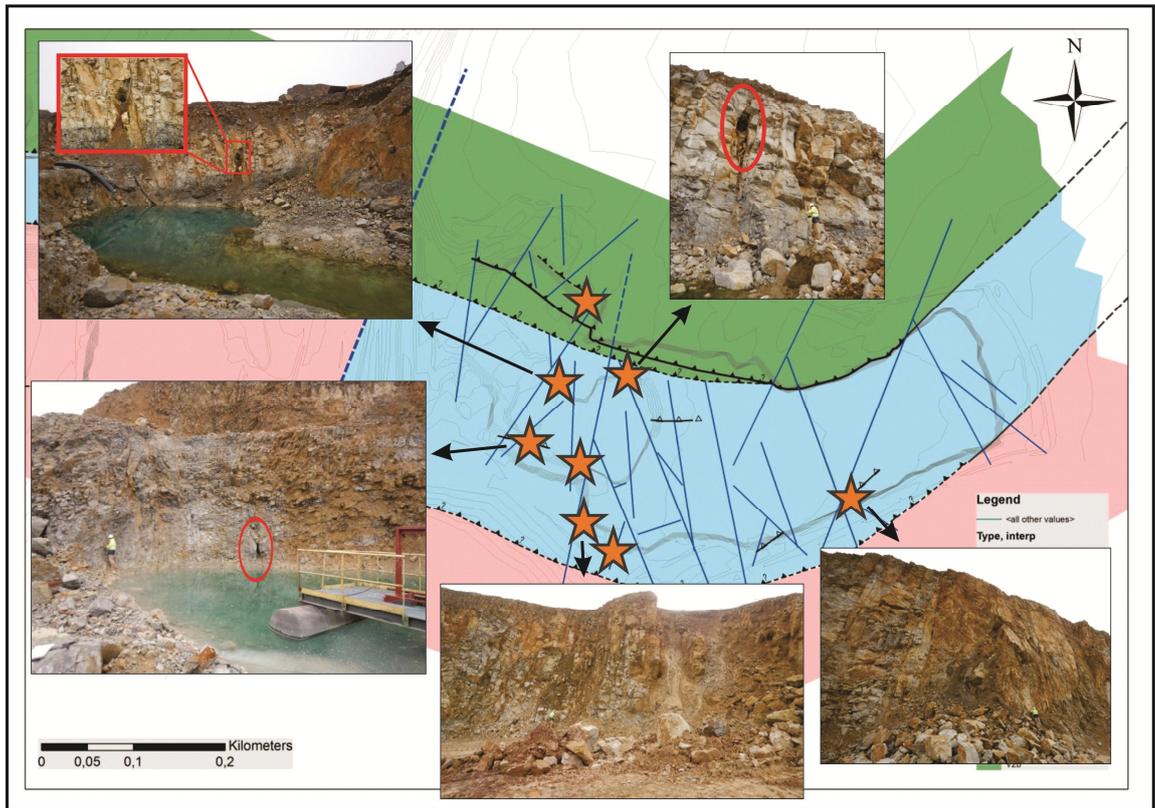


Figure 21 : Carte de localisation des zones karstiques

Elles sont **principalement localisées dans la formation du V2a**, dont la plus grande partie se trouve dans le nouveau carreau d'approfondissement de la fosse Est. **Leur répartition spatiale est contrôlée par la zone de forte fracturation pénétrative suivant une orientation N020°.**

La plupart des karsts observés présente des zones de dissolution de l'ordre de 30 cm à 1 m de diamètre. Une partie de ceux-ci sont remplis totalement d'argile mais pourraient éventuellement devenir actifs par « débouchage » suite à une surpression provoquée par un pompage trop important. Deux zones de résurgence d'eau ont été observées associées à ces zones karstiques.

Une attention particulière doit être menée dans cette zone lors de la phase d'approfondissement de la fosse Est car le rabattement de la nappe et l'exploitation pourraient déboucher des zones karstiques provoquant une venue importante d'eau dans la fosse.

De la même manière que ce qui est présumé pour la zone intensément fracturée, **il n'est pas à exclure que la zone karstique puisse se prolonger vers le sud, en direction du Ruisseau des Gattes et contribuer à l'existence de voies d'écoulement préférentielles avec une connexion facilitée avec le ruisseau. Une telle situation serait de nature à diminuer l'efficacité des pompages d'exhaure et par là donner lieu à des débits à gérer particulièrement importants. Ce point est pour l'heure à l'état hypothétique et mériterait, le cas échéant, d'être approfondi.**

3.3. Forages et analyses régionales

3.3.1. Introduction

Afin de compléter cette approche cartographique, l'utilisation des données de sondages permet d'apporter une information complémentaire importante sur la connaissance du gisement en permettant de mieux définir sa géométrie, hors de l'emprise actuelle de l'exploitation.

Sur l'ensemble de 900 mètres linéaires disponibles à la carrière Les Petons, 607 m de carottes ont été observés par Tractebel. Ces carottes appartiennent à deux séries de sondages réalisés en 2004 pour la série des « 300 » et en 2012 pour la série des « 400 ». (Figure 22)

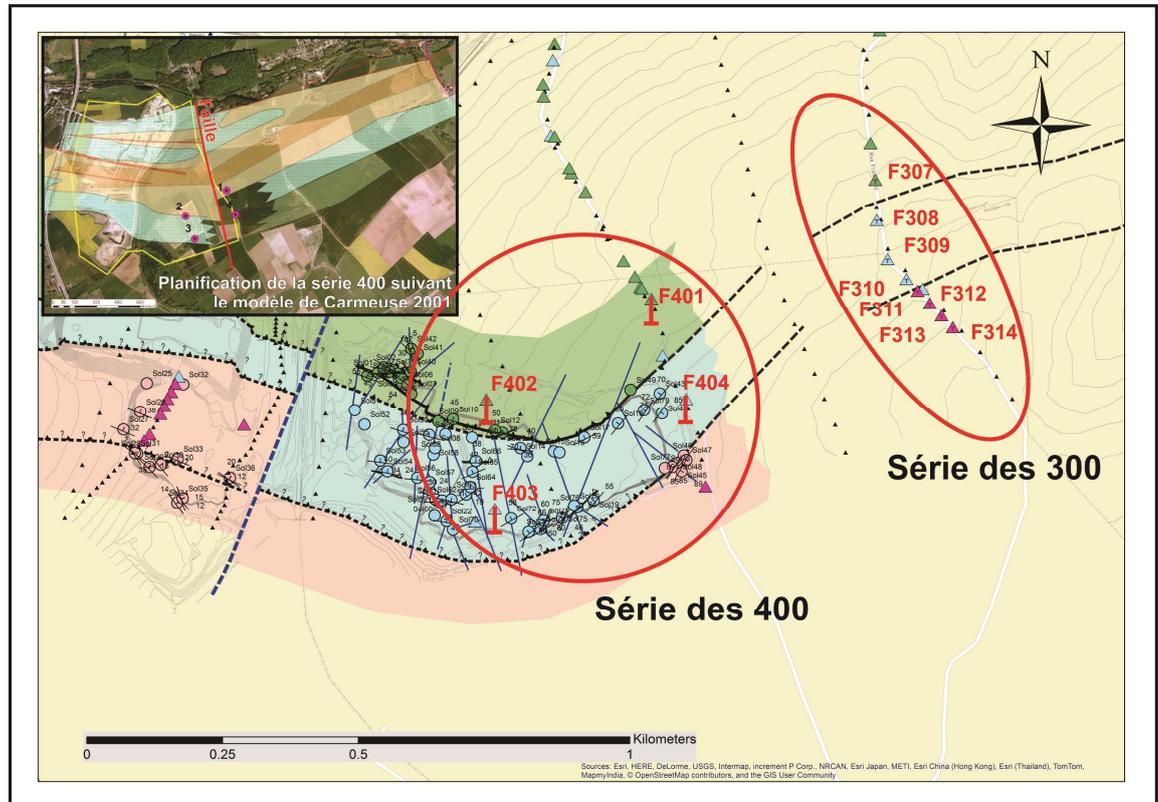


Figure 22 : Carte de localisation des sondages de la série "300" et "400" sur l'interprétation de la carte géologique par TE. Dans l'encadré, localisation des sondages de la série 400 sur le modèle de Carmeuse 2011.

Seule la série des 400 correspond à des sondages carottés inclinés, mais en absence de génératrice pour indiquer l'orientation des carottes, aucune donnée structurale n'a pu être acquise durant cette étude. Aucun repère suffisamment fiable n'a pu être identifié pour pallier ce manque de génératrice. Le même problème se pose pour la série des 300 qui a le désavantage supplémentaire d'être foré en vertical.

Ce manque de données structurales est pénalisant pour l'extrapolation des données et la compréhension du gisement en dehors de son emprise actuelle.

3.3.2. Série des sondages « 400 »

Les sondages constituant la série des 400 ont été planifiés en 2011 suite à l'étude conjointe avec Carmeuse pour contraindre le modèle géologique régional entre la carrière Les Petons et le projet de développement de la carrière d'Hemptinne, avec la présence d'une faille à l'Est qui décalerait les formations (Figure 5).

Sur base de ce modèle régional, les sondages 401 et 402 étaient planifiés sur la zone de contact supérieur de la formation du V2a avec celle du V2b. Les sondages 403 et 404, eux, devaient confirmer la limite inférieure de la formation du V2a avec le V1b et la zone de dolomitisation. Cette planification avait pour but de caractériser les décalages des limites de formations de part et d'autres de la faille, entre les sondages 401/402 et 403/404 (Figure 22).

Ces forages ont été sondés avec une inclinaison de 45° avec une orientation N180°. Avec le développement de la fosse Est, il est noté que les roches traversées par le sondage F403 ont été exploitées. Les sondages F401, 402 et 404 se situent à l'extérieur des limites de la fosse actuelle.

Les observations effectuées par Tractebel sur ces sondages peuvent être synthétisées de la manière suivante :

- Les sondages 401 et 402 correspondent à la formation du V2b avec une séquence de calcaires bioclastiques grenus gris foncés et de calcaires fins, noirs, plus argileux avec de nombreux niveaux brèchiques et des zones fracturées riches en hématite. (Figure 23) ;
- Les sondages 403 et 404 correspondent à la formation du V2a avec une séquence homogène de calcaires oolithiques gris clair avec des niveaux fossilifères (Figure 24) ;
- Aucun de ces sondages n'a traversé un contact lithologique passant d'une formation à une autre ;
- Aucun critère, comme le banc d'or pour la formation du V2b ou d'horizon riche en brachiopodes pour la formation du V2a, n'a pu être identifié permettant de les situer dans la colonne stratigraphique;
- Des zones de fracturations ont été observées sur l'ensemble de ces sondages mais pas de zones de faille évidentes ni de zone avec une fracturation très pénétrative comme observé dans la carrière ;

- Des zones de dissolution ont été observées dans chacun des sondages plus particulièrement dans leur partie sommitale mais celles-ci sont généralement inférieures à 30cm;

En absence de données structurales et, du fait qu'ils n'ont traversé aucun contact de formation, l'interprétation de ces sondages reste limitée. Cependant, on peut noter qu'aucun d'eux n'a atteint l'objectif prévu et que de ce fait, ils ne corroborent pas l'interprétation du modèle géologique régional de Carmeuse. Par contre, **ces observations sont cohérentes avec la nouvelle carte géologique développée par Tractebel, par le fait qu'aucune limite de formation ou faille ne s'attend à être traversée par ces sondages. (Figure 22)**

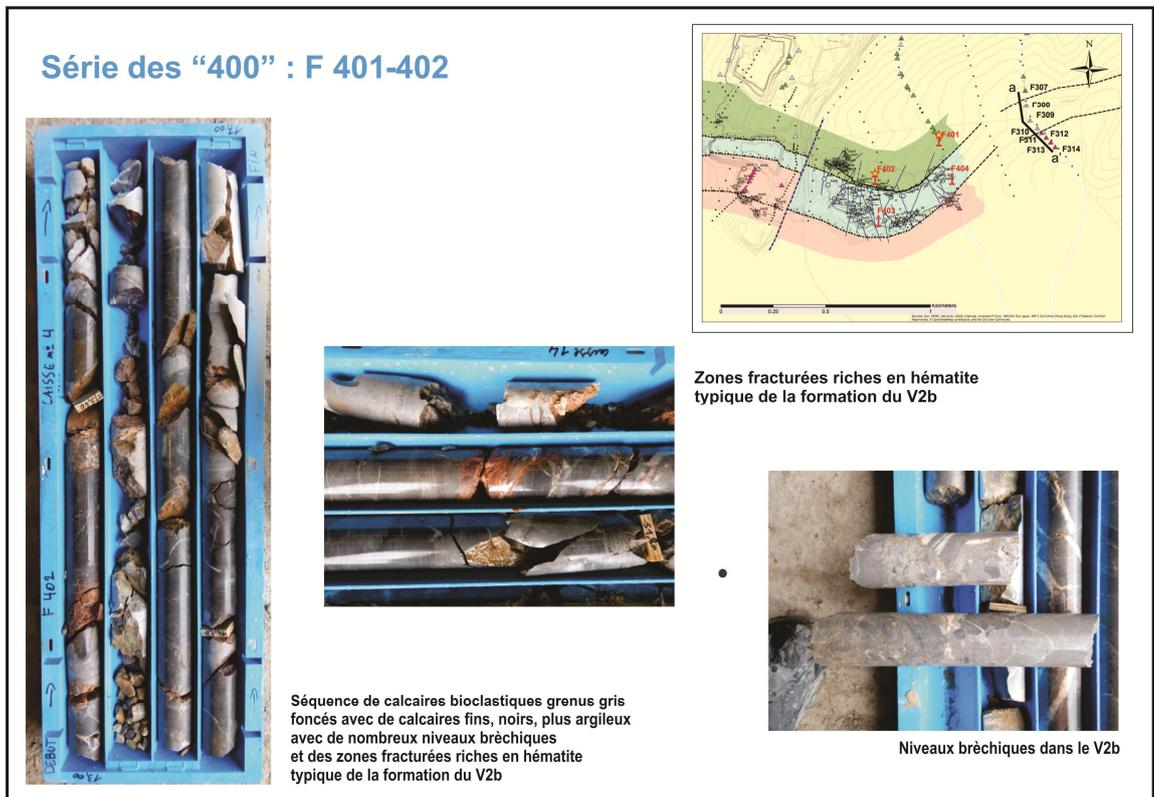


Figure 23: Localisation et description des sondages F401- F402



Figure 24: Localisation et description des sondages F403- F404

3.3.3. Série des sondages « 300 »

Les sondages de la série des 300 sont localisés à 500 m au nord-est de la limite actuelle de la fosse Est, définissant une coupe nord-sud recoupant les différentes formations rencontrées dans la carrière (Figure 22). Leurs informations géologiques sont importantes pour contraindre l'extension actuelle du gisement vers l'est.

Ces sondages ont été forés verticalement sur une longueur ne dépassant pas les 50 m de profondeur.

Une partie de ceux-ci a été analysée chimiquement mais ces analyses n'ont pas été interprétées en détail durant cette étude car elles n'étaient pas disponibles sous un format facilement utilisable.

En partant du nord vers le sud, les observations effectuées par Tractebel peuvent être synthétisées de la manière suivante :

- Le sondage F307 correspond à la formation du V2b avec une séquence de bancs décimétriques à métriques de calcaires bioclastiques grenus gris foncés et de calcaires fins, noirs, plus argileux avec des niveaux bréchiques et des zones fracturées riches en hématite.(Figure 25)

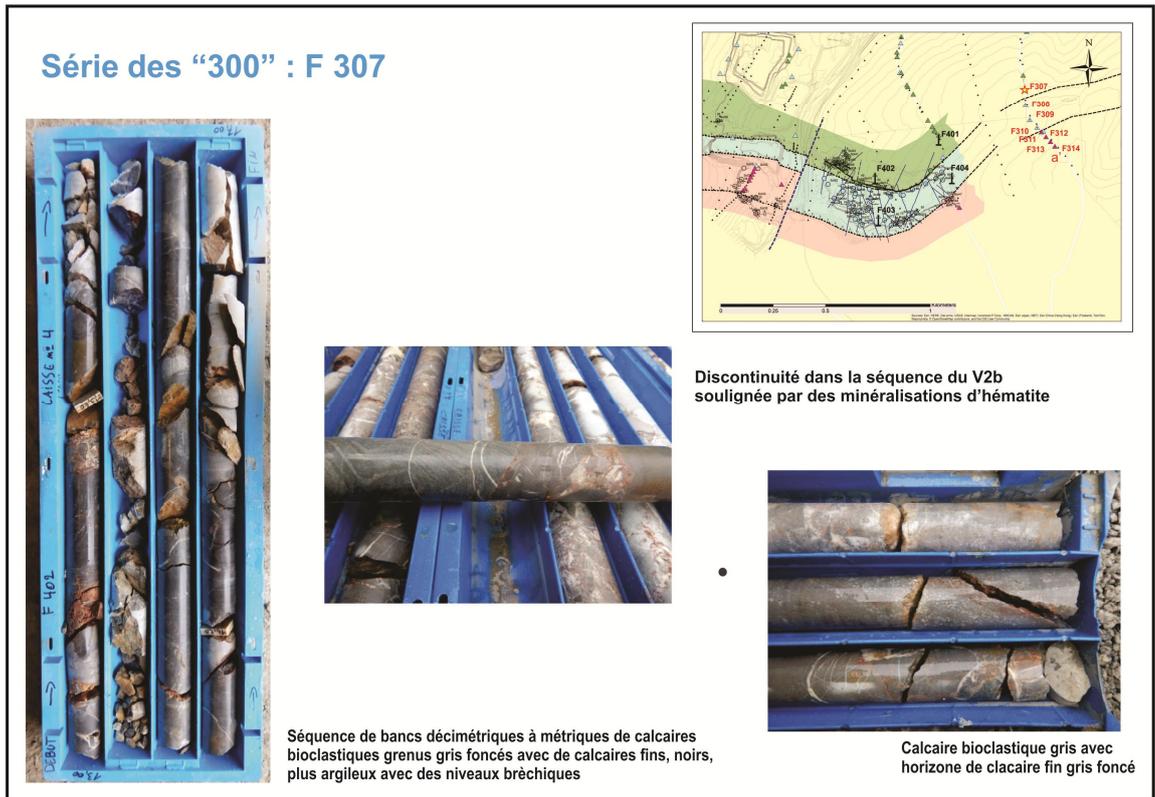


Figure 25: Localisation et description des sondages F307

- Les sondages de F308 à F310 correspondent à la formation du V2a avec séquence de bancs décimétriques à pluri-métriques de calcaires oolithiques gris clairs avec des horizons plus bioclastiques et fossilifères avec des zones à brachiopodes, à coraux et à crinoïdes. (Figure 26)

Dans le sondage F309, il est intéressant de noter la présence d'une zone particulière en début de sondage caractérisée par une séquence de calcaire bleu-gris plus argileux et moins riche en fossiles ressemblant à la formation du V2b. Cette séquence se termine par une zone très perturbée sur 1 m dans le sondage pouvant correspondre à une zone de chevauchement avant de rentrer dans le calcaire gris oolithique caractéristique du V2a. Au niveau de la chimie dans les logs de Carmeuse, celle-ci ne marque pas de différence avec la suite du sondage laissant supposer que l'on est bien dans la formation du V2a.

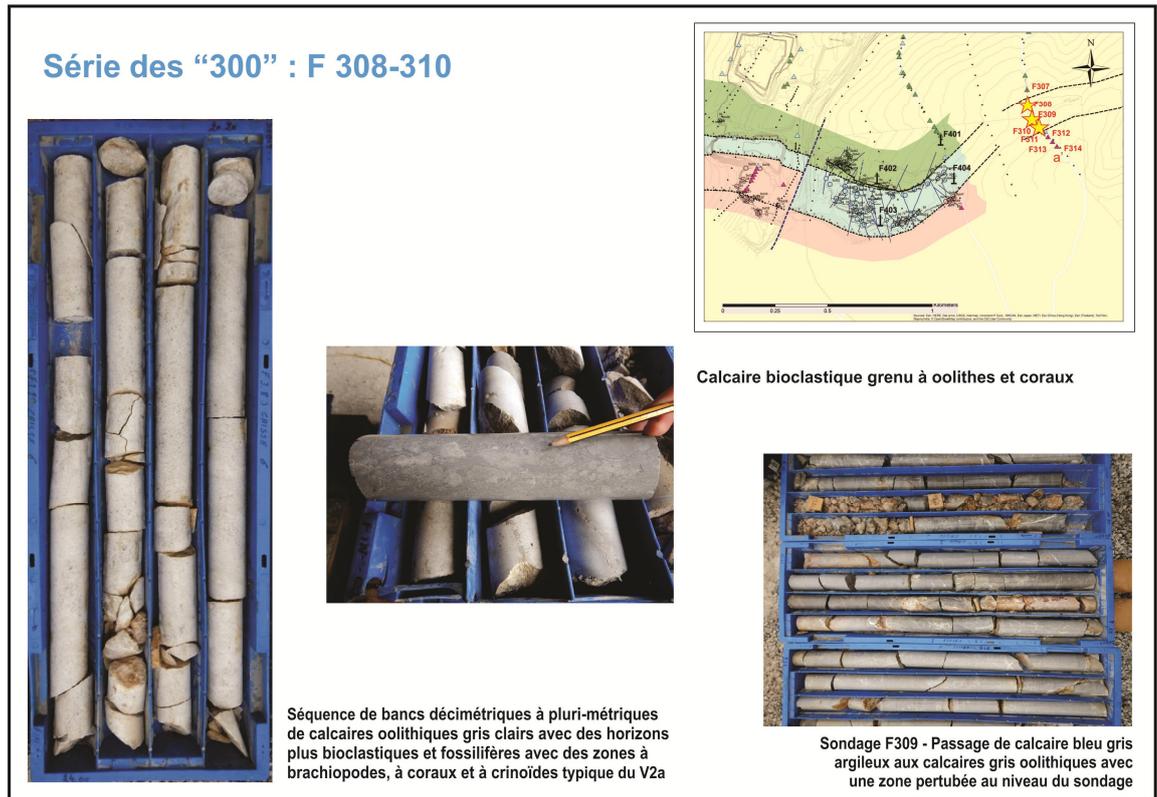


Figure 26: Localisation et description des sondages F308 à F310

- Les sondages de F311 à F314 correspondent à la formation du V1b et/ou du V1a pour les sondages F313 et F314 avec une alternance de bancs décimétriques à métriques de calcaires noirs avec nombreuses veines de tensions et cavités avec géodes de calcite, et contenant des fossiles macroscopiques (coquilles, gastéropodes, coraux etc.) avec des calcaires plus clairs, homogènes, oolithiques, dolomités et des niveaux calco-argileux riches en cherts. (Figure 27)

Au niveau des sondages F313-F314, les bancs de calcaires noirs diminuent au profit de bancs en moins épais (métriques) de calcaires oolithiques gris claires laissant penser qu'il existe un potentiel d'exploitation pour ceux-ci. Cela pourrait correspondre à un changement de formation vers le V1a. Néanmoins, on observe dans ces deux sondages, un processus de dolomitisation secondaire qui altère ces bancs calcaires. Celui-ci se marque soit par la présence de veines de sidérite-ankérite soit par une altération hydrothermale diffuse dans la matrice de la roche. Cette altération réduit localement la qualité chimique de la roche rendant son exploitation difficile pour la carrière Les Pétons.

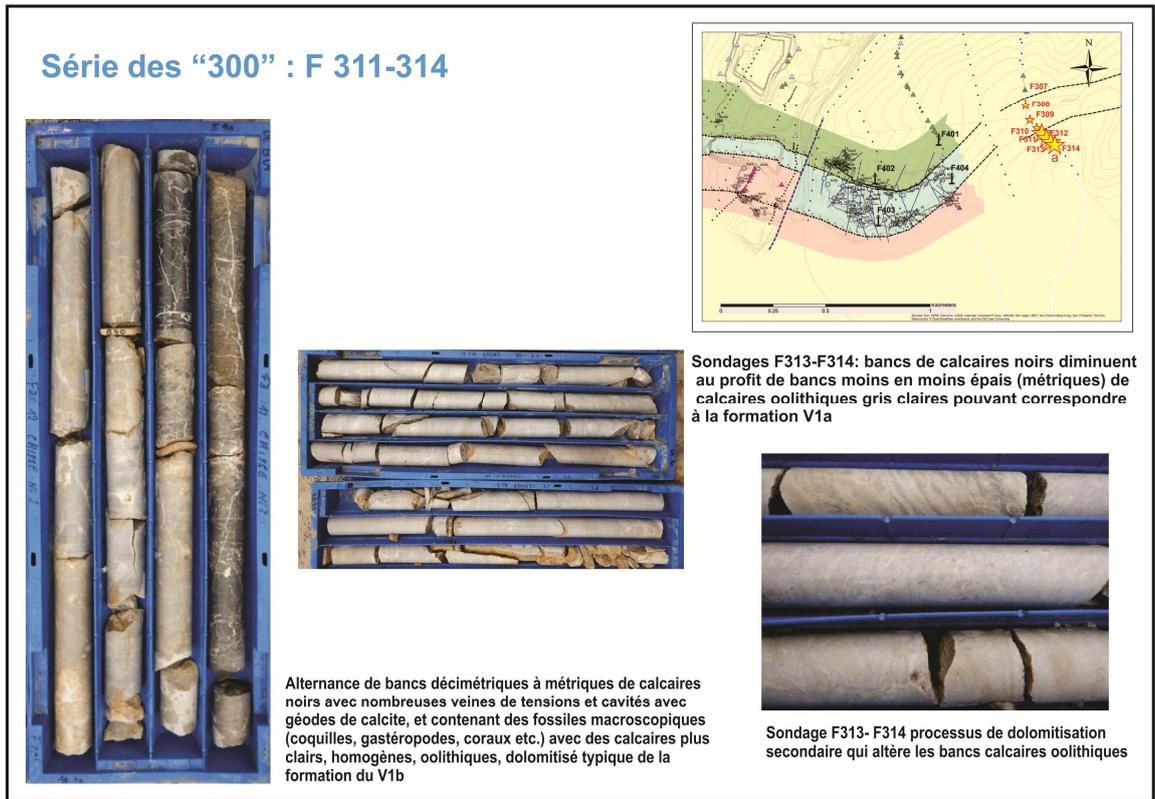


Figure 27: Localisation et description des sondages F311 à F3014

Il est intéressant de remarquer que dans la coupe fournie par Carneuse (Figure 28), cette série de sondages a été identifiée comme appartenant de la formation du V2a dolomitisé, entretenant une certaine confusion dans les limites des formations rencontrées comme discuté dans le chapitre 3.1

Dans cette section de sondages observés, aucun ne recoupe de limite de formation, laissant une incertitude quant à leur localisation précise et donc sur l'épaisseur exploitable en surface.

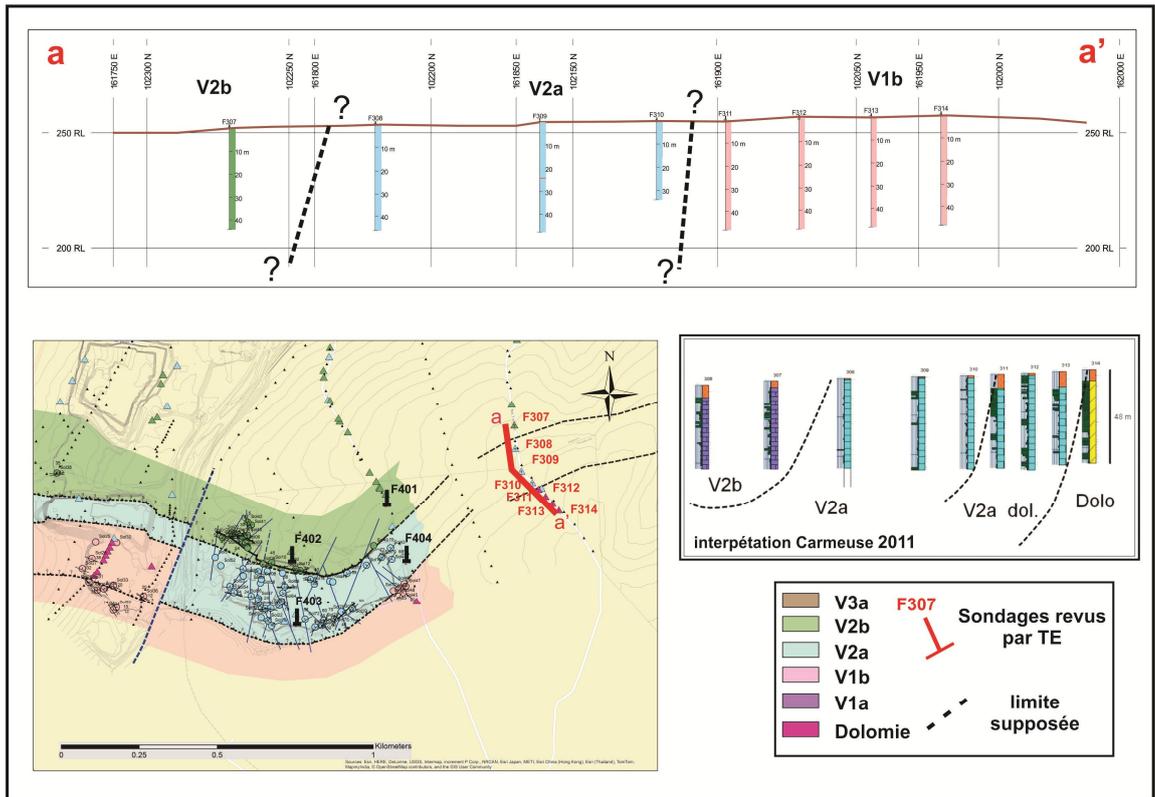


Figure 28: Section des sondages de la série des “300” avec interprétation de Carmeuse 2011

Cartographiquement, elle peut être supposée plus large que celle observée à la limite Est de la fosse actuelle (Figure 29). De plus, un changement d’orientation de la stratification peut être observé si on reprend l’ensemble des données d’archives disponibles sur cette zone, impliquant un possible épaissement de la série ou une variation dans les pendages comme observée dans la fosse Est.

L’absence de données structurales ne permet pas de trancher sur ce point, laissant l’interprétation géologique ouverte entre ces sondages et la limite Est de la fosse. Cette variation de géométrie dans la structure peut impliquer soit la présence d’une structure faillée ou un modèle plus continu avec une structure plissée similaire à la fosse Est.

Entre la limite de la fosse actuelle et la série des sondages « 300 », il existe dans les données d’archives une ligne de sondages datant de la campagne de 1989/90 (Figure 29). Cette ligne pourrait apporter des renseignements sur le modèle géologique à choisir mais malheureusement, les données lithologiques sont manquantes. Tractebel, lors du tri des archives fournies par la société Solvay, n’a pas réussi à retrouver cette information.

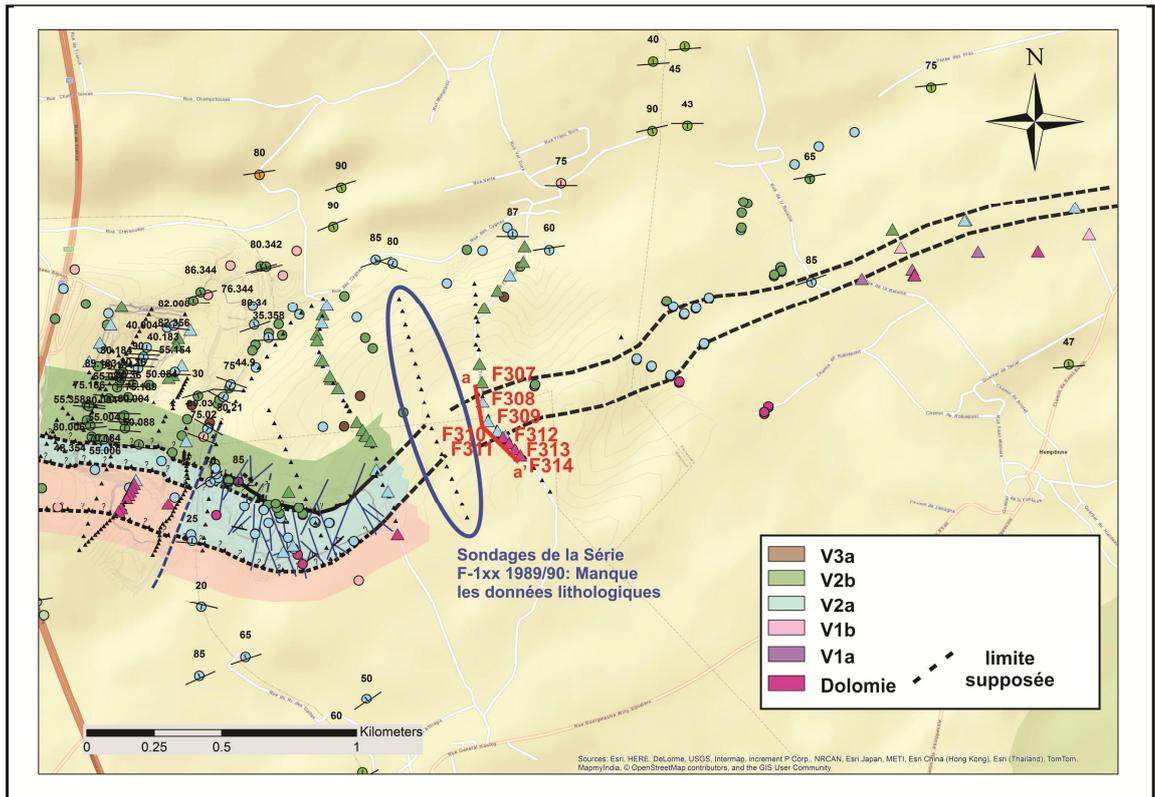


Figure 29: Extrapolation des limites des formations vers l'Est au-delà de la fosse actuelle

4. RECOMMANDATIONS

Tractebel propose des recommandations pour réduire les incertitudes pour mieux qualifier et quantifier le gisement que cela soit par approfondissement de la fosse existante ou au-delà de son avancée vers l'Est.

Les recommandations suivantes sont proposées :

Pour l'extension vers l'Est :

- Retrouver dans les données d'archives existantes les données géologiques concernant les sondages de la campagne de 1989/90 ;
- Réaliser des tranchées en sub-surface afin de passer la couverture pour rechercher les limites exactes de la formation V2a entre la zone de la fosse actuelle et la ligne de la série des sondages « 300 » ;
- Réaliser une série de minimum quatre sondages inclinés au niveau des contacts de la formation du V2a (Figure 30) afin d'acquérir de la donnée structurale pour contraindre le modèle géologique en vue d'une extension de la fosse vers l'Est ;

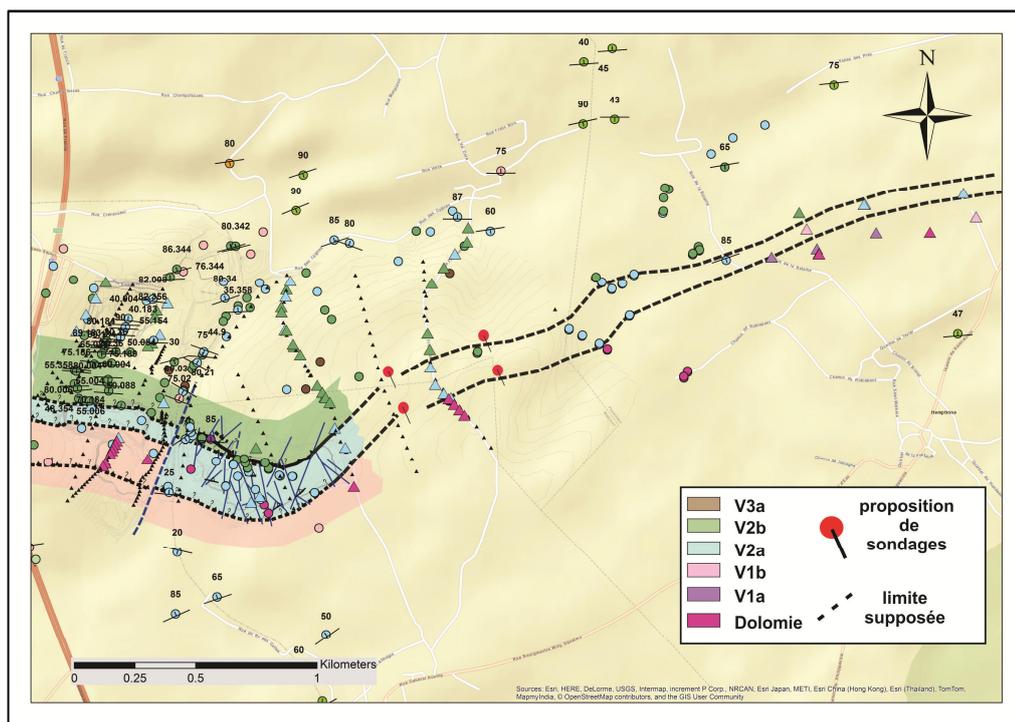


Figure 30: Proposition de localisation de sondages inclinés pour définir la géométrie des limites de la formation V2a à l'Est de la fosse actuelle.

Pour la fosse actuelle :

- Réaliser un levé structural suite à l'avancement du nouveau carreau dans la fosse actuelle après la zone de changement d'orientation de la stratification afin de confirmer le modèle géologique proposé ;
- Identifier et relever les zones karstiques et les résurgences d'eau rencontrées durant cet avancement pour mieux estimer le risque lié à ces structures et la possibilité d'occurrence d'un axe karstique entre la fosse Est et le Ruisseau des Gattes plus au sud;
- Identifier la part d'alimentation provenant potentiellement des rivières dans le flux exhauré (bilan chimique et essais de traçages, à définir), afin de valider ou infirmer si l'importance des débits constatés peut ou non provenir d'une alimentation accrue par la rivière. De cette conclusion pourrait découler des recommandations sur la mise en œuvre d'une future exhaure ou sur la zone d'extension d'exploitation.
- Exploiter les données piézométriques existantes pour évaluer le risque de débouillage des remplissages karstiques situés au-dessus du niveau de nappe et le risque d'aggravation du phénomène en cas de poursuite de l'exhaure dans la zone actuellement sous-rabattement ;
- Réfléchir à un phasage de l'exploitation par l'Est afin de réduire les risques d'inondation par approfondissement de la fosse si les karsts restent limités dans la zone de forte fracturation identifié au cours de cette étude ;

- Re/Positionner à l'aide d'un GPS toutes les analyses chimiques ou mécaniques réalisées sur les fronts de la fosse Est afin de pouvoir les intégrer dans le modèle géologique pour mieux contraindre et quantifier les risques de perte de la qualité du calcaire suivant la géologie afin de devenir prédictif dans l'exploitation de la formation du V2a que cela soit au niveau de la carrière ou dans sa zone d'extension ;
- Dans une priorité moindre, cartographier les anciennes fosses dans les zones accessibles sur base du travail réalisé dans la fosse Est afin d'améliorer la compréhension sur les venues d'eau dans ces fosses ;
- Cette cartographie avec celle des affleurements aux alentours de la carrière actuelle peut également servir à confirmer les données historiques et d'identifier le potentiel de ressources pour la carrière dans le permis au nord de la fosse Est actuelle ainsi que d'améliorer la compréhension sur le modèle géologique régionale de la zone.

5. CONCLUSION

Cette étude, réalisée avait pour but principal de caractériser la géométrie du gisement de calcaire à haute teneur en carbonate de calcium de la Carrière Les Petons (Yves-Gomezée, sud de Charleroi). Les résultats se traduisent par une meilleure compréhension structurale du gisement et de son extension future par une révision du modèle géologique de la carrière ainsi que le développement d'un outil d'aide à la décision via un SIG intégrant l'ensemble des données disponibles sur la carrière.

La compilation des archives fournies par l'exploitant a permis de mieux identifier les besoins de l'étude, à savoir l'établissement d'une cartographie géologique et structurale de la fosse en cours d'exploitation. L'intégration systématique des données existantes dans le SIG a permis de créer une base de données des affleurements, forages, données structurales historiques. La vérification et la validation de ces données (par croisement et/ou par vérification de terrain) a permis de fournir à la carrière Les Petons une base de données intégrée qui soit non seulement *fiable* mais surtout *utilisable* dans le futur.

La cartographie géologique et structurale a permis de mettre en lumière la géométrie du gisement actuel et de ce fait augmenter sa compréhension dans son développement futur. Elle se marque par un changement d'Ouest en Est de la stratification dans le gisement par des plans orientés N090 – N110, à pendages faible à modéré vers le nord, vers des plans de stratifications subverticaux orientés en N040°. Cette transition se fait de façon relativement brutale et est liée à la rotation anti-horaire de la série. Cette rotation se marque différemment suivant les formations géologiques rencontrées. Elle s'effectue tel un « bloc rigide » pour les calcaires massifs du V2a, mais s'accommode par un système de chevauchements « flat and ramp » pour les calcaires sus-jacents du V2b. Une conséquence de cette rotation est une variation en surface de la puissance du gisement à exploiter qui peut impacter les coûts de l'exploitation au niveau du phasage de la fosse.

La déformation cassante associée est caractérisée par une fracturation pénétrative montrant des évidences de mouvement. Cependant, les décalages associés à ces failles restent faibles. Aucune faille verticale traversant la fosse Est n'a été observée, contrairement à ce que pouvait laisser supposer le dernier modèle géologique utilisé pour rejoindre le gisement de la carrière Les Petons à celui d'Hemptinne, projet développé par la société Carmeuse.

Une zone de fracturation intense a néanmoins été identifiée dans la carrière pouvant impacter la qualité du gisement pour ses caractéristiques mécaniques, principalement au niveau de la formation du V2a, ressource principale de la carrière. Cette zone correspond à la zone charnière dans le changement d'orientation de la stratification. Après la rotation de celle-ci, le calcaire devrait retrouver ses caractéristiques mécaniques normales pour le gisement.

Par ailleurs cette zone très fracturée pourrait contribuer à l'existence de voies de drainage préférentielles expliquant l'importance des débits à extraire avec un risque de mise en communication de cette zone de la fosse avec l'axe du Ruisseau des Gattes - affluent de l'Eau d'Yves - situé plus au sud de la fosse Est.

Au sein de cette zone de déformation, plusieurs structures karstiques de taille limitée (inférieure au mètre) ont été identifiées avec certaines d'entre elles présentant des résurgences d'eau dans la fosse. Leur répartition spatiale est contrôlée par une zone de forte fracturation pénétrative suivant une orientation N-S. Une partie de ces karsts présente un remplissage argileux. Mais une attention tout particulière est nécessaire dans cette zone en cas d'approfondissement de la fosse car le débouchage de karsts, sous le niveau de nappe, durant les opérations minières, et plus particulièrement de pompage, pourrait générer une venue d'eau incontrôlée dans la fosse de manière similaire à ce qui a été observé pour les deux fosses.

De la même manière que ce qui est observé pour les fractures, la zone karstique pourrait se prolonger, vers le sud, en direction du Ruisseau des Gattes et contribuer à l'existence de voies d'écoulement préférentielles avec une connexion facilitée avec le ruisseau. Une telle situation serait de nature à diminuer l'efficacité des pompes d'exhaure et par là donner lieu à des débits à gérer particulièrement importants. Ce point est pour l'heure à l'état hypothétique et mériterait, le cas échéant, d'être approfondi.

Au niveau de l'extension de la carrière vers l'Est, l'absence de données structurales sur les sondages ne nous permet pas d'exploiter ceux-ci de manière optimale au vu de la compréhension nouvelle de la carrière. La série des « 300 » indique que le gisement de calcaire continue plus à l'est mais semble changer de géométrie par rapport au front Est de la fosse actuelle. L'absence de données structurales ne permet pas de trancher sur ce point, laissant l'interprétation géologique ouverte entre ces sondages et la limite Est de la fosse. Si ce changement de géométrie dans la séquence existe, cela peut impliquer soit la présence d'une structure faillée ou soit le choix d'un modèle plus continu avec une structure plissée similaire à la fosse Est. Le manque de données lithologiques dans les archives sur la ligne des sondages entre le front actuel et la série des « 300 » est pénalisant dans le sens où ceux-ci pourraient nous apporter une information importante pour contraindre le modèle géologique régional.

ANNEXE A : TABLEAU DE SYNTHÈSE DES DOCUMENTS D'ARCHIVES

ANALYSE DES ARCHIVES/ SOLVAY CARRIÈRE LES PETONS

Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque
1984	1	Note d'avis	SPW	1984	OK	Etude de l'influence éventuelle de la carrière Fourdin et des captages de la SNDE a Yves-Gomezée	Documents d'archive consultés : <ul style="list-style-type: none"> - Rapport Pirlet sur l'évaluation du gisement (1985) - Rapport SGB 081 et 101 Hydro 84 : prospection géophysique pour implantation d'un puits à Jamiolle <ul style="list-style-type: none"> o SE 09 : Carte de localisation + donnée OK, détermine l'installation du puits + TP o Log du Pz 09 et installation de pz (scanné) <p>CTI : Piezo SGB = P9=Ps9=S9= puits Jamiolle</p>
1984	16	Forages & chimie	CLP	1986	Archivé	Récapitulatif des teneurs moyennes des sondages carottés et destructifs exécutés du 2/5 au 18/8/1984	Document important, archivé. Détails précis. Carte de localisation des sondages cf . n°17
1984	17 (a&b)	Carte géologique & forages	CLP	1985	OK	Carte géologique interprétative A0 (d'après la minute de Pirlet 1985) ; localisation des sondages de la campagne de 1984	Très important ; base fiable, reprends la minute de Pirlet 1985. Auteur à priori : Lefèvre (CLP). Deuxième carte draft interprétative
1984	22 (a et b)	Logs forages	CLP	1984	Archivé	Logs des forages 1984 pour les numéros 1 à 8 ; manque les derniers ; b) logs des forages par le SGB	Mauvaise qualité des copies des logs manuscrits. Difficiles à relire, mais importants. Rechercher les grandes unités avec un lien vers la chimie. Pas transcrit en tableur.
1984	23	Logs chimiques	CLP	1984	A intégrer	Logs chimique de détail des forages 1984 (Complets).	Données complète, manuscrit. A servi de base au calcul des moyennes chimiques du n°16. Tableur numérisé OK
Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque
1990	9	Carte d'exploitation	CLP	Post 1984	OK	Carte d'exploitation, proposition d'extension et implantations de sondages	Informations géologiques intéressantes, partie interprétative. BD de forages à numériser ; faille dextre N/S sur la route de la ferme de Froidmont + MVT
1990	14 (=35)	Sondage destructifs	CLP	1991	Archivé	Résultats des épaisseurs de couvertures pour 19 sondages destructifs.	Carte de localisation partielle et tableau des épaisseurs .Intérêt limité, carte à conserver tout de même. Cf N°35
1990	18 (=34)	Sondages Electriques	CLP ? Ulg ?	1990	OK (34)	Extrait de carte de positionnement de sondages électriques. Copie.	Complet cf n°34

1990	20	Chimie sondage pelle	CLP	1989-1991	Archivé,	Analyses chimiques des sondages des campagnes de 1989 à 1991 ;	Données à numériser. Découverte de la zone dolomitique au sud.
1990	21	Logs sondage	CLP	1989-1992	Partiel	Logs des sondages des campagnes de 1989 et 1992 ; + un log (TH de Putter) numéro inconnu.	Pas de carte de localisation. Numérotation par année et numéro de sondage.
1990	24	Etude forages 1990	CLP	1990	Archivé	Etudes technique et commerciale de la campagne de forage de 1990. Peu d'info géol.	Analyses des offres, proposition de choix de la campagne. Pas de carte de localisation. Peu d'info géologiques
1990	25	Suivi forages puits 1990	CLP	1990	Archivé	Suivi et recommandations lors de la campagne de forage de 1990.	Quelques pages manuscrites des détails d'exécution. Pas de carte !! Info hydro uniquement.
1990	29	Carte forage A0	CLP	1989	OK	Carte d'implantation de sondages – Pas de nouvelles infos	Implantation partielle de la campagne de forage. D'autres cartes sont plus complètes, mais ici la précision est meilleure.
1990	30	Carte sondage A1	CLP	1990?	OK	Carte d'implantation de sondages	informations sur la dolomie (2%) retranscrite en SIG
1990	31	Carte implantation Forage (A3)	CLP	1990	OK	Données clés, carte la plus complète, campagne de 1985 et de 1990. Carte d'implantation des forages + interprétation géol	Tout a été numérisé, mais le format de la carte de base (en A3 par blocs) implique une imprécision de l'ordre de 3 à 5m en SIG.
1990	32	Logs Forages + chimie moyenne	CLP	1989	Archivé	Synthèse (par FD ?) des forages de 1989, notes de terrains en format A6 retranscrites et synthétisées + chimie,	Chimie synthétique en plus. Pas transcrit en tableur
1990	33	Logs Forages 1990 synthèse	CLP	1990	Archivé	Synthèse (par FD ?) des forages de 1990 , notes de terrains en format A6 retranscrites et synthétisées	Peu de détail. Pas transcrit en tableur
1990	34 (=18)	Carte Localisation Geophysique 1990	CLP – ULg ?	1990	OK	Partie W du gisement : Carte de localisation d'une campagne de SE, format A4 compilé en Corel ; précision du SIG moins fiable. Interprétation des zones de dissolution (karsts ?), implantation de sondage sans numérotation	Mentionnée comme de l'Université de Liège dans le rapport n°33. Aucune donnée disponible sur la campagne géophysique, ni sur la campagne de sondage (38 points prévus ou effectués). Pas de numéros de forages sur aucune des cartes.
1990	35 (=14)	Carte forage A0	CLP	1990	OK	Carte de localisation de la campagne définie sur la carte au n°34, et logs décrits sur n°14. Seulement 19 sondage / 38 prévus d'après n°34.	Carte partielle ou as-built impliquant que les autres sondages n'ont pas été effectués ? Vérifier les épaisseurs et imputer les numéros de sondages.
Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque
1991	4	Géophysique	Ramses géophysiques	1991	OK	Scanner Terraskan (prospection électrique)	Etude complète, plan de localisation et coupe ok. P1 : 0=SE ; P2 : 0=Nord
Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque

1993	2	Carte PZ	?	1993 ?	OK	Carte d'implantation de pz	Forages de 1990 installés en pz.
1993	3	DB Forages	CLP	1993	A intégrer	Base de données des implantations et équipements de PZ.	OK ; Doit être l'as built. Reste à imputer les données géophysiques et géol interprétatif associés en SIG.
Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque
1995	39	Cartes volumes	Topo GM	1994	A intégrer	Coupes et cartes de calculs de volume. Cartes A4, A3 et A0	Pas de notice explicative. CTI : Je n'intégrerais pas cette info dans le SIG. Il semble s'agir d'un projet d'exploitation de l'ancien propriétaire (Mr Fourdin) qui ne poursuivait pas les mêmes objectifs que nous (production de granulats sans distinction de la qualité chimique). Cette info pourrait porter à confusion.
2002	40	Carte implantation sondage	CLP	2002	A intégrer	Fax de la carte de forages supplémentaires (6) dans la partie W. Carte de déplacement des meubles (projet 2002 de réaménagement final)	
1995	41 a) et b)	Carte forage +geol + chimie	CLP	1995	OK	2 Cartes A0 de campagne de forage, coordonnées XYZ + Z en détail + interprétation géologique + teneur en SiO2	SIG OK. Pas de rapport associé, que de la chimie
Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque
2004	45	Etude gisement Hemptinne	Carmeuse	2004	A intégrer	Etude geol complète, forages inclinées. Extension Est entre Carmeuse et CLP (Luc Hance)	Dossier complet ; tres important. Luc Hanse (Carmeuse) et Nicolas Pirote (ULg). Plusieurs cartes en plus.
2004	46	Cartes géol. manuscrit A3	CLP	?	Archivé	Cartes géologique à l'échelle de la CLP, manuscrite. Premier dessin de la faille Est. Prémices de la carte de Carmeuse.	Incomplet, pas de notice
2004	47	Cartes geol et forages	CLP / carmeuse	Post 2011	Archivé	Diverses cartes issues de base de données Google Earth, QGIS, manuscrites, etc.	Incomplet, pas de notice. CTI : il s'agit de données de relevé de surface de Carmeuse, elles sont reprises dans le fichier Google Earth que j'ai transmis.
2004	48	PPT CLP Carmeuse raccord geol	CLP / carmeuse	Post 2004	A intégrer	Présentation synthétique de questions liées au raccord géologique entre CLP et Hemptinne, ; Proposition de campagne de forage.	Très important, en savoir plus sur la date. CTI : la version finale de ce PPT date de février 2011 (je renvoie une copie par e-mail).
Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque
2010	49	Campagne forage	Smet	2011	Archivé	Logs de forage, prix et cout final. Tableaux de AN ;	Pas de log de géologue. Logs du foreur.

Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque
2010	50	Logs, chimie et pétro de forages	CLP ?	Post 2010	Archivé	Logs géologiques et géochimiques sur papier millimétré. Tableur. Numéros de forages pas clairs. Retraitement de données anciennes ? (=34 et 14 ou autre ?).	Campagne de 2011 ? CTI : il s'agit de la campagne de 1995.
2016	51	Cartes projet géophysique	CLP	2016	A intégrer	Localisation de la campagne de géophysique de 2016	Pas d'autres infos. Carte seule. Données devraient être disponibles bientôt. CTI : je me renseigne sur la disponibilité du rapport.
Etude	42	Carte géologique régionale	?	?	A intégrer	Carte géologique régionale, position des affleurements, minute de terrain et interprétation litho-stratigraphique. Auteur et date inconnue.	A quelle campagne de terrain cela correspond-il ? Pas de rapport. Bonne qualité. Carte précieuse.
Etude	43	Mail chimie Haute teneur	CLP	2010 - 2012	Archivé	Echanges de mail concernant les hautes teneurs. Annexes des résultats non présents	Obtenir les fichiers joints (analyses chimiques).
Etude	44	Analyses labo chimie	CLP	1998	Archivé	Récapitulatif d'analyses de 1994 à 1998. Pas de cartes de positionnement	Obtenir les infos sur les positionnements + à numériser CTI : il n'existe pas d'info sur le positionnement. Ce type d'échantillonnage se fait dans les installations de traitement.
Etude	5	Etude géologique	ULg (Porf. Pirlet)	1985	OK	Etude géologique de la carrière Fourdin à Yves-Gomezée	Etude très complète, minute de terrain, carte géologique interprétative A0 (d'après Pirlet ?, auteur CLP ?), estimation de la chimie et du volume du gisement. Présence d'une faille à l'ouest jamais mentionnée ailleurs. Raison ? Description des points d'affleurement dans la version originale.
Etude	7	Coupes & Logs	M. Sabir	1988	OK	Coupes géol de détail de la carrière, mais pas de plan d'implantation ni de rapport	Bons détails, mais aucune mesure structurale. Retrouver les implantations approximatives. Chercher le rapport au SGB ou demander au géologue.
Etude	26	Etude géologique	SGB	1973	Archivé	Etude micropaléontologique de la tranchée d'Yves-Gomezée (Conil, Groessens)	Etude micropaléontologique. Pas de cartes. Article original disponible.
Etude	27	Etudes & Forages	SGB	1971	Archivé	4 forages dans Tn3 et V1a V1b (Concil- Vandeven)	Etude de quatre forages avec plans d'implantation et logs de détail. Article original disponible.
Etude	28	Etude géologique	SGB	1971	Archivé	4 forages dans Tn3 et V1a V1b (Concil- Vandeven)	Etude de quatre forages avec plans d'implantation et logs de détail.
Etude	36	Etude géologique	Ecofox	19XX	Archivé	Descriptif partiel et coupe. Environnement de dépôt	Source supposée ECOFOX

		et coupes					CTI : pas ECOFOX
Etude	37	Rapport et Log stratigraphique	Ecofox	1996	Archivé	Log de détails dans la carrière	CTI : pas ECOFOX
Etude	38	Etude pétrographique	OREX	1996	Archivé	Etude pétrographique sur LM	Origine des échantillons
Etude	52	Etude Caractérisation gisement haute teneur	ECOFOX	2003	A intégrer	SOL/CLP/2003/01 – Etude hydrogéologique des incidences potentielles du projet d'extraction sous la nappe. + Lettre de convention d'échange CLP Carneuse.	Dossier complet
Etude	53	Etude Hydro Incidence pompage	ECOFOX	2003	A intégrer	CARM/HEM/20003/09 – Etude hydrogéologique des incidences potentielles du projet d'extraction sous la nappe. + Lettre de convention d'échange CLP Carneuse.	Dossier complet
Dossier	N°	Type	Source	Date	SIG	Titre	Remarque
n/a	8	Synthèse exploitation	CLP	Anté1993	Archivé	? : revue de l'exploitation en vue du développement d'un Plan AQ	Pas d'annexe, synthèse des travaux précédant. Intérêt limité.
n/a	10	Rapport d'ingénierie	Externe	1991	Non archivé	Réservoir d'eau claire	Pas d'info de géologique
n/a	11	Rapport laboratoire	LIC	1991	Non archivé	Analyses chimiques des eaux de puits ; 5 séries d'analyses	Pas d'info de géologique pertinente
n/a	12	Demande d'analyse laboratoire	CLP	1991	Non archivé	Bordereau d'envoi d'échantillons.	Provenance inconnue, pas de détails
n/a	13	Rapport laboratoire	Sylvie ?	1992	Non archivé	Essais de résistance mécanique sur cubes de 4 faciès calcaires de la carrière	Provenance inconnue, pas de détails
n/a	15	Calculs Explosifs	CLP	1990	Non archivé	Synthèse des consommations d'explosifs	Pas d'intérêt pour l'étude
n/a	19 (a&b)	Cartes cadastrales	CLP	1988	Non archivé	Cartes des parcelles cadastrales et de projets d'installation de l'usine.	Peu d'intérêt, fond repris sur d'autres cartes.

ANNEXE B : TABLES DES MESURES STRUCTURALES

Base de données des structures - LES PETONS

Relevé par Tractebel-Engineering

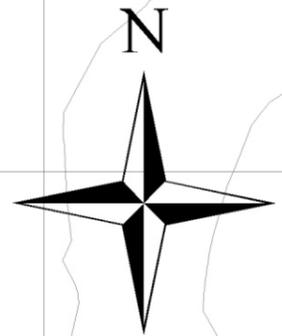
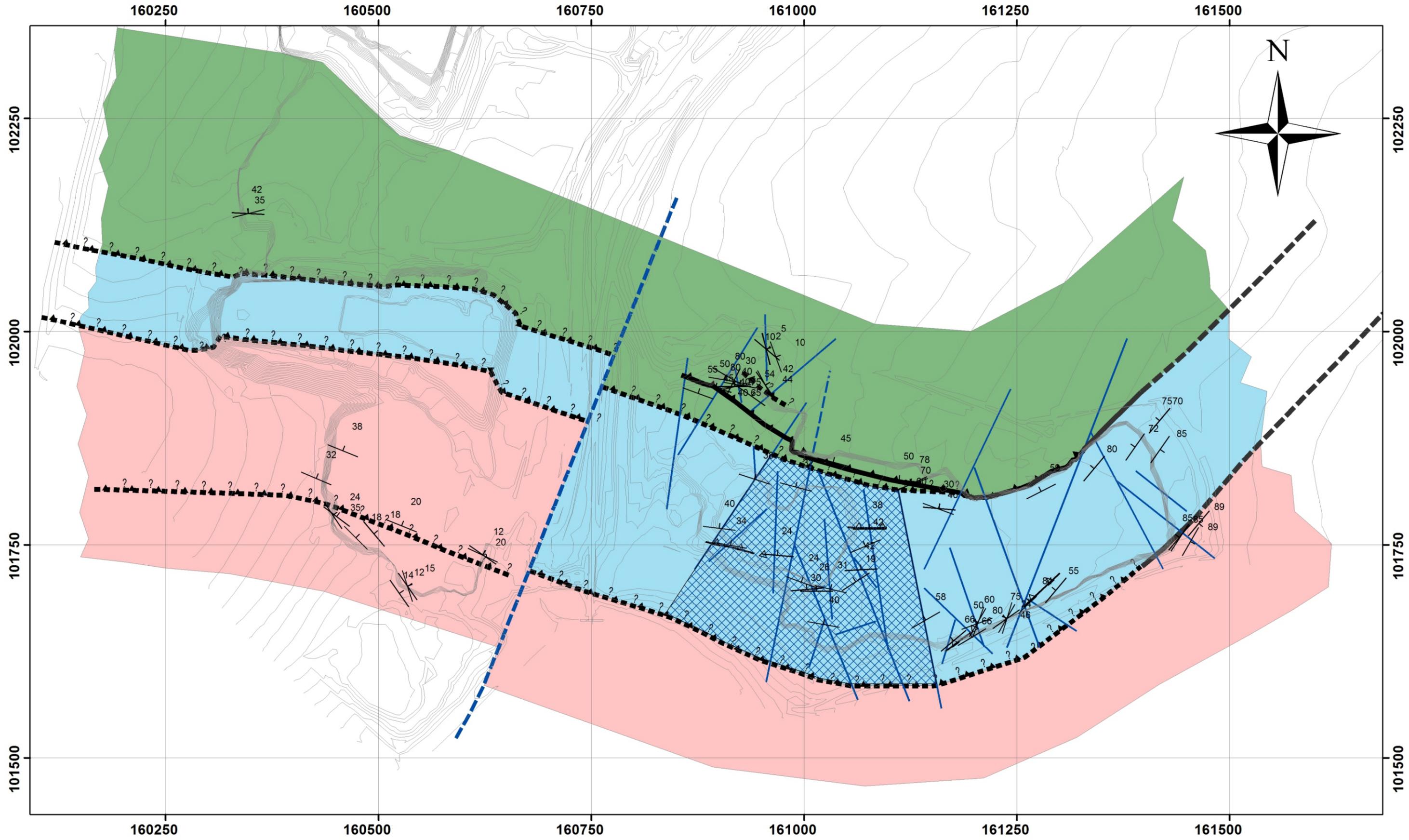
Legende des structures

SO	Plan stratigraphique
Frac	Fracture ouverte, remplissage et mouvement possible
Ctct	Contact stratigraphique
Flt	Fracture mouvement avéré , inclus gouge et ou minéralisation, ou karstification,
A	Axe de plis

Coordonnées Lambert Bel 72

n°	Date	ID	X	Y	Z	Litho	Structure	Plan				Ligne			Description		
								Mvmt	Y/N	Azmut	DipDir.	Dip.	Sense	Rejet (m)		Pitch	PitchDir.
1	03/14/16	Sol01	160897	101936	260.8	V2b	SO	Y	N	285	N	50					
2			160897	101936	260.8	V2b	Irac	N	N	20	N	85				Diaclase - plan sec avec un système de veine de tension associé	
3			160897	101936	260.8	V2b	SO	Y	N	286	N	45					
4		Sol02	160907	101946	261.6	V2b	Flt	Y	N	340	E	40				Chevauchement - à vérifier sur scan 3D	
5			160907	101946	261.6	V2b	A		N	20	N	20				Axe de plis sous chevauchement	
6			160907	101946	261.6	V2b	Flt	Y	N	20	E	80	Senestre	15	S	Fracture avec strie de glissement senestre	
7			160907	101946	261.6	V2b	SO		N	280	N	80				SO au sud-ouest du plis sous le chevauchement	
8			160907	101946	261.6	V2b	SO		N	120	W	80					
9		Sol03	160925	101940	260.0	V2b	SO	Y	N	280	E	30				So ondulante avec strie de mouvement dans la plus grande pente	
10			160925	101940	260.0	V2b	Irac		N	290	N	60				Réseau de fractures conjugués	
11			160925	101940	260.0	V2b			N	30	E	80					
12		Sol04	160933	101934	260.1	V2b	A		N	50	N	40					
13		Sol05	160940	101926	260.9	V2b	SO	Y	N	305	N	54					
14		Sol06	160951	101914	261.1	V2b	Flt	Y	N	50	E	85				Diaclase pénétrative dans zone de faille	
15			160951	101914	261.1	V2b	Flt	Y	N	90	E	85				Zone de faille sur 20m de large avec bloc bréchifié décimétrique avec ciment calcaire - zone de fantomisation - firection et cinématique pas contraintes - éponte ouest N50-85W - à vérifier scan3D	
16		Sol07	160958	101897	261.6	V2b	Flt	Y	N	300	E	50				Fin de la zone de faille - Sur front Est, zone de chevauchement avec structure plissée associée et nombreuse veine de tension dans la partie inférieure	
17		Sol08	161002	101795	260.7	V2b	A									Localisation faille voir pont Sol09	
18		Sol09	161008	101845	260.0	V2b	Flt	Y	N	190	W	85				Zone de faille - mouvement normale suppose	
19		Sol10	161035	101849	260.5	V2b	SO	Y	N	285	N	45	Inverse	70	N	SO avec strie de glissement mouvement inverse avec ondulation de la strati	
20		Sol11	161126	101824	264.7	V2b	SO	Y	N	278	N	60				Front NE - Structure plissée au dessus du chevauchement séparant la formation V2b/V2a	
21			161126	101824	264.7		SO	Y	N	245	N	70				SO dans la structure plissée avec breche	
22			161126	101824	264.7		SO	Y	N	250	N	78				SO dans la structure plissée avec breche	
23			161126	101824	264.7		Irac	N	110	S	70					diacalse plan sec	
24			161126	101824	264.7		Irac	N	100	S	70					diacalse plan sec	
25		Sol12	161112	101828	264.6	V2b	SO	Y	N	95	N	50				SO	
26			161112	101828	264.6		Irac	N	10	E	55					plan de fracture isolé	
27			161112	101828	264.6		Irac	N	35	E	60					plan de fracture isolé	
28		Sol13	161159	101795	264.8	V2a	Ctct	Y	N	290	N	40				zone de contact entre V2b/V2a définie par le banc d'or correspondant à la zone broyée du chevauchement	
29			161159	101795	264.8		Irac	N	25	E	65					Fracture très pénétrative	
30			161159	101795	264.8		SO	N	275	N	30						
31			161159	101795	264.8		Irac	N	25	E	65						Fracture discontinue dans SO
32		Sol14	161172	101780	264.4	V2a	Flt	Y	N	25	E	70				Zone de faille supposee	
33		Sol15	161221	101789	265.3	V2a	Irac	N	10	E	50					Zone de fractures à l'ouest du plan de fracture Sol 16	
34			161221	101789	265.3		Irac	N	12	E	45					Zone de fractures à l'ouest du plan de fracture Sol 17	
35			161221	101789	265.3	V2a	Irac	N	340	E	80					Zone de fractures à l'ouest du plan de fracture Sol 18	
36		Sol16	161231	101787	264.3		Irac	N	340	E	80					Plan de fracture resortant très bien du front de faille	
37		Sol17	161277	101815	266.9	V2a	Flt	Y	N	20	E	60				Deuxième plan de fracture resortant très bien du front de faille - Présence de stries horizontales et verticales	
38			161277	101815	266.9		A	N	55	E	10					Axe de plis dans zone joint argileux - entre deux zones de fracture	
39			161277	101815	266.9		SO	N	60	E	40					SO en visé - vérification scan 3D	
40		Sol18	161339	101841	264.4	V2a	SO	N	40	N	80					SO définie par une banc de coquille	
41			161339	101841	264.4		Irac	N	140	N	45					Fracture pénétrative espacé de 1m sur 5m	
42			161339	101841	264.4		Irac	N	300	N	60					Plan sécant à la SO	
43		Sol19	161294	101698	266.5	V2a	SO	N	60	S	55					SO supposee car zone très confuse sur le front sud	
44		Sol20	161258	101688	266.0	V2a	Flt	Y	N	20	E	80				Zone de faille avec zone argileuse plissée	
45			161258	101688	266.0		Flt	Y	N	345	E	75				Frature dans zone de faille - éponte?	
46		Sol21	161202	101660	264.5	V2a	SO	Y	N	40	N	20				Plan chevauchant pouvant correspondre à SO	
47			161202	101660	264.5		SO	N	30	N	50					SO se redressant au dessus des plans chevauchant	
48			161202	101660	264.5		SO	N	10	N	80					SO se redressant au dessus des plans chevauchant	
49			161202	101660	264.5		Flt	Y	N	160	N	90				Zone de faille - à vérifier Scan3D	
50			161202	101660	264.5		SO	N	250	N	60					SO supposee après zone de faille mais pas clair - à vérifier scan 3D	
51		Sol22	161023	101659	264.3	V2a	SO	N	280	N	40					Zone fantome de roche - SO à la visée - à vérifier Scan3D	
52			161023	101659	264.3		Irac	N	20	E	70					Zone de fracturation très pénétrative	
53	7/02/2017	Sol25	160471	101916	232.8	V1b	Flt	Y	N	90	S	85	Dex	1	E		
54		Sol26	160459	101863	225.8	V1b	Irac	N	190	W	87						
55			160459	101863	225.8	V1b	SO	N	292	N	38					Succession de bancs métriques	
56		Sol27	160428	101830	222.9	V1b	SO	Y	N	293	N	32	Unk			Mouvement sur inter banc argileux	
57			160428	101830	222.9	V1b	Irac	N	55	SE	85					Densité augment vers le Sud (1m --> 0.5 m), discontinue	
58			160428	101830	222.9	V1b	Irac	N	235	NW	67					Fente de tension	
59		Sol28	160453	101785	215.3	V1b	SO	N	307	NE	35						
60			160453	101785	215.3	V1b	Irac	N	45	SE	76					Diaclase dense sur 5 m dm à pluridim	
61			160453	101785	215.3	V1b	Irac	N	120	SW	67					Réseau large continu	
62		Sol29	160476	101760	215.5	V1b	SO	N	315	NE	18						
63			160476	101760	215.5	V1b	Flt	Y	N	175	W	65	Sen	10	N	Breche 50 cm large avec strie, zone karstique	
64			160476	101760	215.5	V1b	Irac	N	168	W	70					Semi-pénétrative, discret	
65		Sol30	160497	101764	225.0	V1b	Irac	N	60	S	85					zone de dissolution, pénétrative sur 5 m (tous les 1 m)	
66			160497	101764	225.0	V1b	SO	N	320	N	18						
67			160497	101764	225.0	V1b	Irac	N	175	W	89					Avec calcite	
68		Sol31	160449	101786	225.0	V1b	SO	N	326	N	24						
69			160449	101786	225.0	V1b	Irac	N	170	W	82					Cavité de dissolution	
70			160449	101786	225.0	V1b	Irac	N	80	S	89					Cavité de dissolution	
71		Sol32	160538	101914	224.5		Ctct									Limite zone de fracture	
72		Sol33	160528	101775	225.6	V1b	SO	N	292	N	20					Coquilles d'huîtres dm	
73			160528	101775	225.6	V1b	Irac	N	305	N	85						
74		Sol34	160527	101694	223.8	V1b	SO	N	325	N	14						
75			160527	101694	223.8	V1b	Irac	N	63	SE	74						
76			160527	101694	223.8	V1b	Irac	N	130	S	75						Réseau large métrique, cavité de dissolution

ANNEXE C : CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE



- Formation V2b
- Formation V2a
- Formation V1b
- Chevauchement
- Structure supposée
- Stratification
- Zone de fracturations pénétratives
- Faille supposée



Carte Géologique - Fosse Est



ANNEXE D : BASE DE DONNEES SIG (VOIR SUPPORT NUMÉRIQUE)