

CARTOGRAPHIE GEOELECTRIQUE ET ELECTROMAGNETIQUE D'UNE AIRE FAILLEE ET KARSTIFIEE SOUS COUVERTURE TERTIAIRE EPAISSE. ESSAI DE RESOLUTION D'UN PROBLEME HYDROLOGIQUE A LA S.A. CARRIERES DU HAINAUT (SOIGNIES, BELGIQUE)

Victor NETELS¹ & Louis DOYEN²

RESUME. La prospection géophysique, électrique et électromagnétique, menée dans les alentours immédiats de la carrière de pierre de taille dite Pierre Bleue ou Petit Granit de la S.A. Carrières du Hainaut avait un double objectif. La cartographie structurale locale et l'identification des paléodraines étaient indispensables pour appréhender les circulations d'eaux souterraines à caractère karstique pouvant perturber l'extraction.

La prospection électrique a été réalisée en profils continus, selon dispositif Wenner, avec des "a" de 8 à 96m. Les mesures de résistivités ont été exécutées en Wenner tripotentiel (Ra, Rb, Rc). Un certain nombre de mesures ainsi recueillies a été interprété en sondages électriques Wenner courts (8 à 11 mesures).

La prospection électromagnétique a été effectuée en V.L.F., avec mesure de l'angle d'inclinaison, sur des lignes parallèles distantes de 20 m et des prises de mesure sur chaque ligne régulièrement espacées de 4m.

Les résultats de la prospection géophysique ont été immédiatement vérifiés par forages.

La carte structurale des abords de la carrière est dressée sur base des résultats de la prospection électrique. Elle met en évidence les failles et les zones karstifiées (cryptokarst et endokarst). Le schéma tectonique régional qui a été proposé par l'un des auteurs n'est pas mis en défaut par cette cartographie locale.

La prospection électromagnétique montre les zones karstiques et indique les axes possibles pour la circulation des eaux souterraines.

Une des anomalies électromagnétiques, interprétée comme paléodrain actif, a été forée et les résultats obtenus répondent aux souhaits de la Société de voir réduire ses frais d'exhaure.

MOTS-CLES: prospection géophysique, prospection électrique, VLF, calcaire, karst, carrières, Hainaut, Belgique.

ABSTRACT. Geoelectrical and electromagnetic mapping of a faulted and karstified limestone deposit under a thick Tertiary overburden. Resolution of a hydrological problem at Carrières du Hainaut (Soignies, Belgium). Geophysical, electrical and electromagnetic prospecting in the immediate surroundings of the quarry of cut-stone called "bluestone" or "Petit granit" belonging to S.A. Carrières du Hainaut had two objectives : local structural cartography and the identification of paleodraines, essential to understand the circulation of karstic waters capable of disturbing the quarrying.

The electric prospecting was carried out by continuous profiling according to Wenner electrode array with the electrode spacing "a" varying from 8 to 96 m. The resistivity measurements were carried out in Wenner tripotentiel (Ra, Rb, Rc). Some collected data were interpreted as short electric Wenner soundings (8 to 11 measurements). The electromagnetic prospecting was carried out by means of the V.L.F. method, with measurement of the angle of inclination, on parallel lines, at 20 m intervals from one another and with measurements on each line at a 4 m spacing. The geophysical prospecting results were immediately checked by drillings.

The structural features of the quarry surroundings have been mapped on the basis of the electric prospecting results. The structural map shows faults and karst and was compared with the regional tectonic framework. The electromagnetic prospecting shows the karstic zones and indicates possible axes for groundwater circulation. One of the electromagnetic anomalies interpreted as an active paleodrain, has been confirmed by drilling and will lead to a reduction of the pumping costs.

KEYWORDS: geophysical prospecting, electric prospecting, VLF, limestone, quarries, karst, Hainaut, Belgium.

¹ Carrières du Hainaut, rue Cognebeau 245 - B-7060 Soignies.

² Université libre de Bruxelles, Service de Géologie et Géologie appliquée, avenue F.D. Roosevelt 50 - B-1050 Bruxelles.

1. PRESENTATION.

La prospection géophysique, électrique et électromagnétique, menée dans les alentours immédiats de la carrière de pierre de taille dite Petit Granit ou Pierre Bleue de la S.A. Carrières du Hainaut avait un double objectif.

La cartographie structurale locale et l'identification des paléodraines étaient indispensables pour appréhender les circulations d'eaux souterraines à caractère karstique pouvant perturber l'extraction.

L'orientation des directions d'avancement de la prospection est basée sur l'hypothèse de la transposition à l'échelle locale de l'histoire structurale régionale.

2. RAPPEL STRUCTURAL

Le gisement hennuyer de Petit Granit ou Pierre Bleue a fait l'objet d'une récente reconnaissance par géophysique et par forages carottés (1990-1991).

La région couverte s'étend d'Arquennes à l'Est à Maffles à l'Ouest, soit environ sur 40 km de longueur. Cette étude a conduit à proposer une réinterprétation structurale de l'ensemble de la zone concernée (Auquière & Netels, 1993).

L'histoire structurale, charpentée sur une dynamique riedelienne, pourrait se schématiser comme suit : (Fig. 1a et 1b)

- le bassin sédimentaire est formé par l'action de failles longitudinales de style cisailant dextre ;
- le bassin est ensuite morcelé, en un certain nombre de panneaux homogènes d'extension longitudinale d'ordre kilométrique, par l'action de failles cisailantes dextres de direction N120-130°E.

Ces failles sont des limites naturelles pour une carrière de roches ornementales.

- chaque panneau homogène est lui-même affecté par un système de failles cisailantes dextres de direction N40°E et N60°E.

D'une façon générale, le compartiment Ouest est descendu par rapport au compartiment Est.

La plupart de ces failles montrent des rejets verticaux métriques ; certaines sont à rejet pluridécamétrique et constituent dans ce cas des limites d'exploitation pour roches ornementales.

Après chaque phase cisailante, la surface est pénéplanée ;

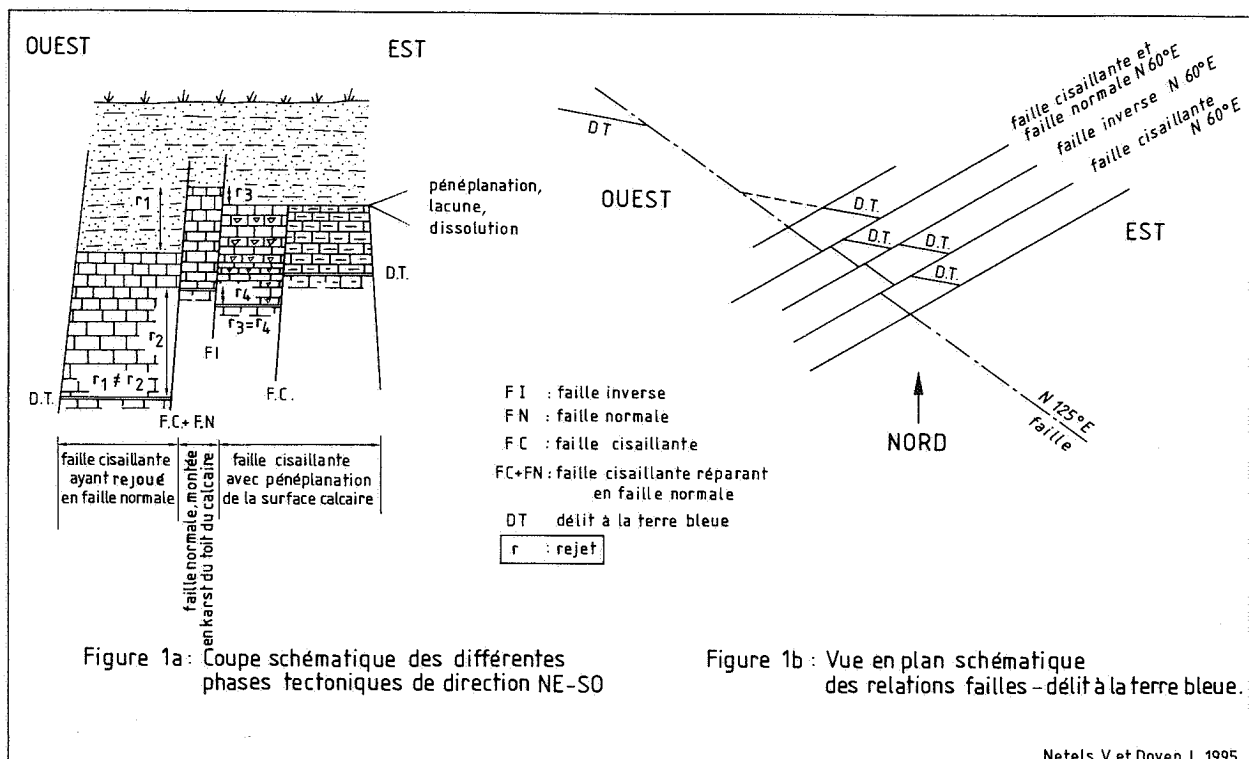
- une quatrième phase tectonique, la plus récente, soit d'âge tertiaire de direction N60°E, a travaillé en failles normales ou inverses disloquant l'ensemble du gisement en horst-graben. Certaines d'entre elles ont fait rejouer des failles cisailantes antérieures.

Le pendage des différentes failles est subvertical (90°±5°).

3. CADRE GEOLOGIQUE

3.1. REGIONAL

Entre Arquennes et Maffles, les formations dévono-carbonifères du bord Nord du Synclinorium de Namur



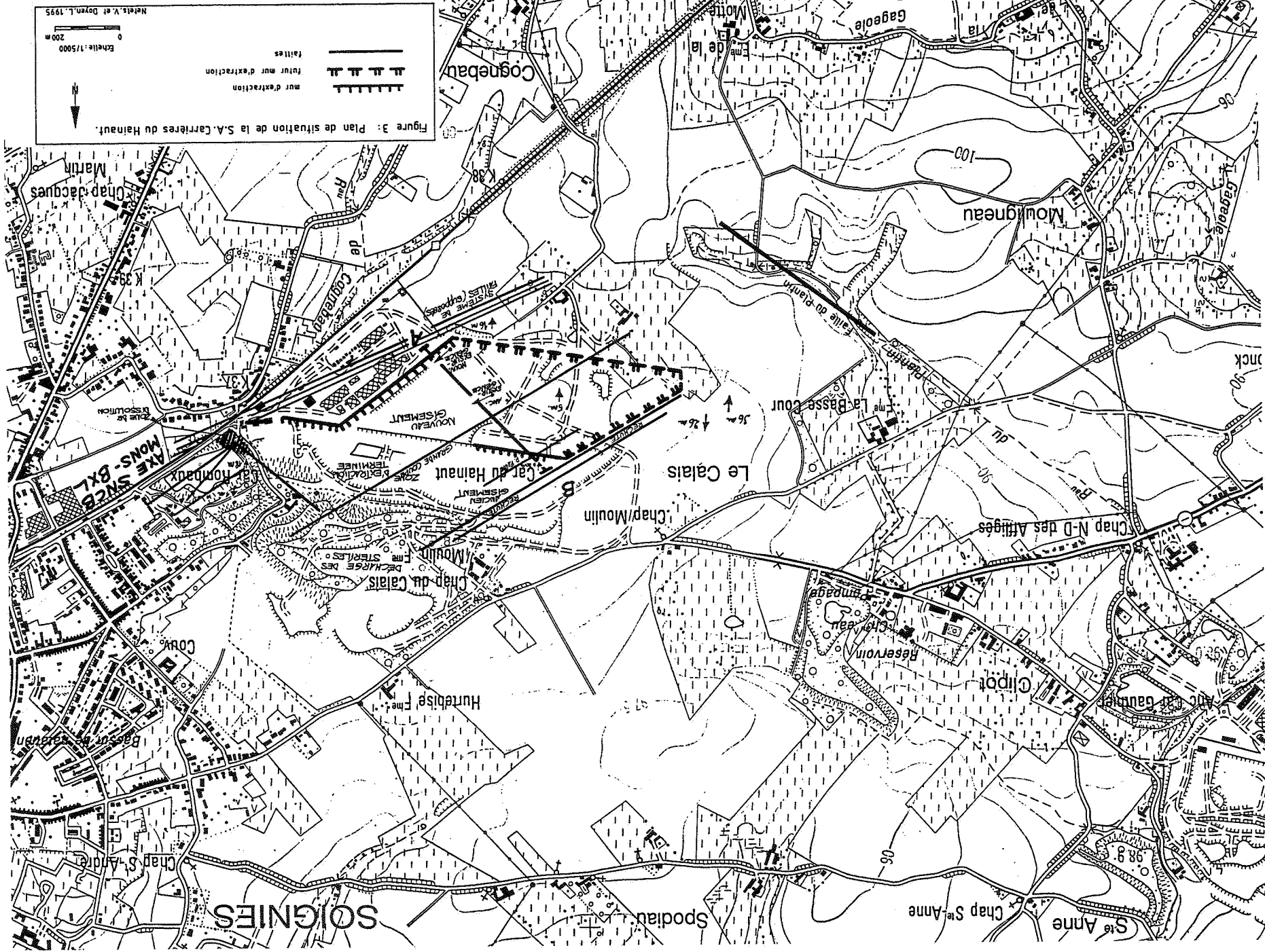
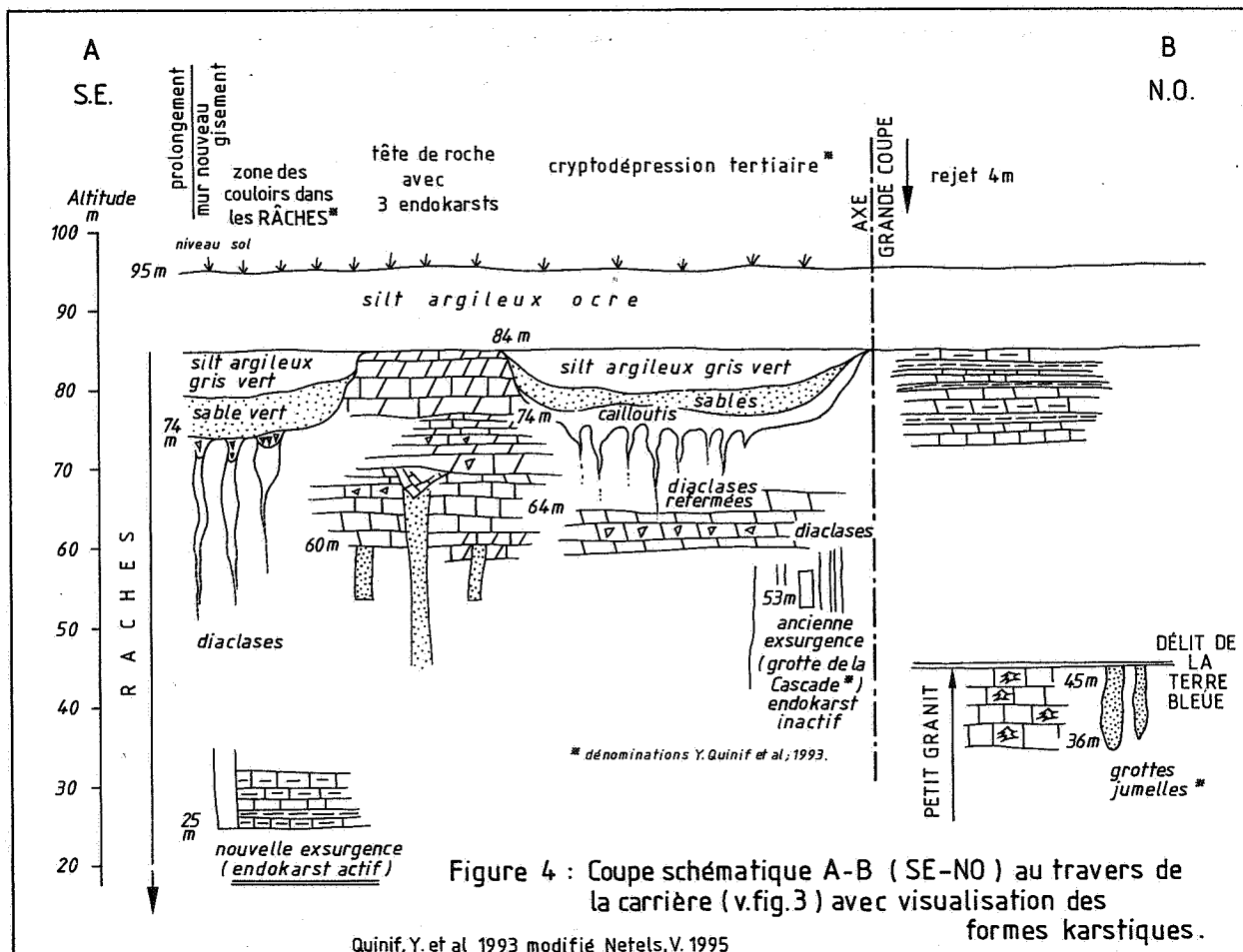


Figure 3: Plan de situation de la S.A. Carrières du Hainaut.

■■■■■■ mur d'extraction
 - - - - - futur mur d'extraction
 ———— failles

Echelle: 1/15000
 0 200m
 Métris, V. et Doyen, L., 1995



constituent une série monoclinale régulière de direction N100°-110°E et de pendage 10-12° Sud. Les strates paléozoïques sont recouvertes de sédiments meubles de nature silto-sablo-argileuse et sableuse, tertiaires (Landénien et Yprésien) et de limon quaternaire (Fig. 2).

Un type d'altération du socle est constitué par des "argiles noires dites wealdiennes" (Crétacé) ; il s'agit d'un cailloutis de cherts et de dolomies ou de calcaires fortement dolomités dans une matrice argileuse fine de couleur brun noir à noir.

Le Petit Granit ou Pierre Bleue est un calcaire crinoïdique à joints stylolithiques gris bleu à gris noir constituant la formation Encrinite des Ecaussinnes, étage ivorien, T II, série tournaisienne (anciennement Tn3b sous-assise de Celles "Petit Granit").

Le toit de l'Encrinite des Ecaussinnes est défini par un niveau régional repère, le délit à la Terre bleue, lit d'argilite (cinérite ?) bleuâtre, non carbonaté de quelques centimètres d'épaisseur.

Ces calcaires crinoïdiques francs sont surmontés par des calcaires s'appauvrissant progressivement en

crinoïdes et devenant plus argileux (Facies Petit Granit de 8 à 10 m d'épaisseur).

Ceux-ci sont eux-mêmes surmontés par des calcaires argileux noirs à lits argileux interstratifiés à alternance de groupes de bancs fossilifères (coraux, brachiopodes) et non fossilifères (environ 30 m de puissance). Ils sont surmontés par des calcaires de même nature, mais riches en cherts (environ 20 m d'épaisseur). Les cherts sont de couleur bleu noir et se présentent sous forme de rubans grossièrement parallèles à la stratification.

Au-dessus de ces derniers, nous pouvons observer (site S.A. Carrières du Hainaut) des calcaires gris légèrement brunâtres non fossilifères à cherts et à joints stylolithiques. Ils représentent probablement le Viséen basal. Des pseudomorphoses de gypse en calcite y sont présentes. Le passage des calcaires tournaisiens aux dolomies viséennes se fait par l'intermédiaire d'un front de dolomitisation affectant ces calcaires.

3.2. CARRIÈRE

La carrière est située à un kilomètre à l'Ouest de la gare de Soignies. Les considérations structurales et

lithologiques déjà énumérées se retrouvent sur le site d'exploitation ; à savoir d'Est en Ouest : 4 failles de direction N60°E. La faille la plus à l'Ouest, appelée la Rechute, constitue une limite de la carrière (Fig. 3). Les phases d'émersion et de pénéplanation de l'époque secondaire ont induit la karstification du massif calcaire (Fig. 4).

Les différentes morphologies karstiques compliquent les phases d'exploitation. Les endokarsts sont les plus pénalisants étant donné qu'ils peuvent se révéler hydrologiquement très actifs. L'approfondissement d'une exploitation comme aux S.A. Carrières du Hainaut a tendance à réactiver ces paléodraines engendrant des venues d'eaux conséquentes.

À l'Est, l'ancienne carrière Rombaux Roland montre une structure tectonique complexe. Deux failles parallèles, N60°E, de faible rejet, courent parallèlement à la voie de chemin de fer. Une troisième faille est légèrement oblique à celles-ci, de direction N40°E ? (Communication orale de J. Minor).

Entre Rombaux Roland et S.A. Carrières du Hainaut passe une faille ouverte sur plusieurs mètres dont la direction probable est N120-130°E. Les points de croisement de ces failles constituent des zones d'intense dissolution.

4. PROSPECTION GEOPHYSIQUE

4.1. PRELIMINAIRES

La reconnaissance structurale et karstique par géophysique devait rencontrer les problèmes suivants :

- épaississement important de la couverture meubles dans les zones karstifiées passant de 10 m à 30 m environ ;
- présence dans les zones de sur-épaisseur des terrains meubles d'une couche de 5 m d'épaisseur de silt argileux gris vert humide ;
- existence d'un front de dolomitisation ;
- failles cisailantes suivies d'une pénéplanation : ce qui signifie que de part et d'autre de la faille, le socle calcaire est à la même profondeur ;
- localisation des paléodraines actifs à 50 m de profondeur minimum, indépendants du faciès lithologique.

Dans les zones largement ouvertes (cultures, prairies), la recherche a été menée par une prospection géoélectrique.

Par la suite, nous avons opté pour une prospection électromagnétique. La méthode électromagnétique est particulièrement performante pour les travaux

hydrologiques ; de plus, le manque d'espace libre et le coût opérationnel moindre sont les facteurs déterminants du choix. L'ensemble des résultats des prospections a été vérifié a posteriori par forages destructifs et carottés.

4.2. CHOIX DES METHODES

4.2.1. Prospection géoélectrique en mode résistivité

Les premières recherches ont tout naturellement été conduites par prospection géoélectrique en mode résistivité. En effet, la quantité d'eau d'une part, et la qualité, fonction de la teneur en électrolyte d'autre part, conditionnent la conductivité ou à l'inverse, la résistivité.

Nous avons choisi de travailler selon une configuration d'électrodes quadripoles co-linéaires selon dispositif Wenner (équidistance "a" entre électrodes). Ce type de dispositif est particulièrement bien adapté à l'acquisition de données à l'aide de câbles multi-électrodes contrôlés par microprocesseur, tel le GEA 58 de TNO.

Ce mode d'acquisition de données autorise les mesures de résistivité selon la méthode Wenner Tri-Potentiel (WTP) telle qu'introduite par Carpenter, 1955 ; Carpenter & Habberjam, 1956.

Les mesures de résistivités par la méthode dite "Wenner tripotentiel" sont effectuées selon trois dispositifs d'électrodes, à savoir :

Ra C1 P1 P2 C2 dispositif Wenner classique.

Rb C1 C2 P1 P2 dipole-dipole.

Rc C1 P1 C2 P2 électrodes croisées.

La méthode WTP est d'autant plus intéressante à utiliser que le rapport Rb/Rc des résistivités apparentes est un bon indicateur des variations latérales en particulier. La résistivité WTP Ra donne, quant à elle, une bonne indication des valeurs des résistivités des différentes zones de la sub-surface. (Acworth & Griffiths, 1985).

De plus, la réalisation de profils continus en dispositif Wenner, avec des "a" croissants permet de disposer, pour chaque centre de mesures (tous les 4 m si le déplacement d=4m), de mesures de résistivités, 8 à 11 par centre. L'interprétation de ces mesures en sondage "Wenner" courts permet de déterminer les profondeurs approximatives des différentes couches.

D'une manière générale, l'interprétation quantitative n'est applicable, avec rigueur, que dans le cas de

couches plus ou moins parallèles à la surface. Néanmoins, l'étude qualitative reste possible, en particulier en présence de fractures ouvertes, de macro-fractures ou de karst.

Les fractures ouvertes et les remplissages calcitiques sont résistants, en l'absence d'eau. C'est généralement le cas dans les parties supérieures des fractures, alors que, lorsqu'elles sont remplies d'eau ou d'argiles, elles deviennent conductrices.

L'étude des variations longitudinales de résistivités d'une part, associée à l'étude des variations verticales d'autre part, permet de localiser des zones de fractures ouvertes et de circulation d'eau.

4.2.2. Prospection par trainées VLF - mode inclinaison

En terrain non dégagé ou lorsque les distances disponibles sont insuffisantes pour utiliser les profils continus de résistivités (480 m minimum et 3 stations de mesures, pour une profondeur d'investigation de 75 à 80 m environ), nous avons choisi d'utiliser la méthode VLF.

La méthode électromagnétique retenue est celle utilisant un champ primaire artificiel généré par des émetteurs radio militaires lointains travaillant en basse fréquence (15 à 30 kHz) et de forte puissance (300 à 1000 kW).

Le champ magnétique primaire est horizontal. Dans un sous-sol homogène et à grande distance de l'émetteur, ce champ peut être considéré comme constant. En présence de zones conductrices, le champ primaire induit des courants secondaires qui créent un champ secondaire déphasé.

La mesure en surface du champ total permet de localiser des structures conductrices (ou résistantes) dans la zone à prospector.

La valeur maximale de la courbe lissage "Fraser" est située à l'aplomb de l'anomalie conductrice ou d'un contact géologique entre des formations de résistivités différentes.

Le champ magnétique total, $H_s + H_v$, décrit une ellipse dite de polarisation. Celle-ci peut être caractérisée par l'inclinaison de son grand axe par rapport à l'horizontale et par son ellipticité, rapport de son petit axe à son grand axe. *L'ellipticité permet de distinguer de bons conducteurs (ellipticité < à l'inclinaison de signe opposé), de zones peu conductrices (ellipticité du même ordre de grandeur et de même signe).*

Le calcul de ces paramètres se fait à partir de la valeur des composantes en phase et en quadrature du champ vertical par rapport au champ horizontal.

Ce sont là les deux paramètres utilisés en mode inclinaison.

4.3. MOYENS

Les moyens mis en oeuvre sont, d'une part, pour la prospection électrique :

- un profil continu de résistivité réalisé selon le dispositif Wenner d'orientation Sud-Est à Nord-Ouest dénommé Profil Sud 1 ;
- trois profils continus de résistivité, parallèles à Sud 1 de longueur réduite, soit Sud 2, Sud 3 et Sud 4 ;
- un profil continu de résistivité réalisé selon le dispositif Wenner d'orientation Nord-Est à Sud-Ouest dénommé Profil Ouest ;
- un profil continu de résistivité réalisé selon le dispositif Wenner d'orientation N 100° E dénommé Profil A ;
- un profil de résistivité réalisé selon le dispositif Wenner d'orientation Est Sud-Est/Ouest Nord-Ouest dénommé Profil Sud 0.

A partir des mesures prises sur les différents profils continus, un certain nombre de sondages réduits (8 à 11 mesures) a été interprété.

et d'autre part, pour la prospection électromagnétique: une prospection systématique a été menée en V.L.F. avec mesure du "tilt angle", pour deux fréquences, sur des lignes parallèles distantes de 20 m et des prises de mesures, sur chacune des lignes, régulièrement espacées de 4 m.

4.4. DISPOSITIFS

La prospection électrique a été effectuée à l'aide du GEA 58 de TNO par scanning, en chaque station, de 320 m de cables à 26 conducteurs ; chaque station étant distante de 80 m. Le programme de scanning utilisé comporte 420 mesures en WTP Ra, Rb et Rc. Les distances de "a" entre électrodes ont été choisies pour $a = 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80$ et 96 m. Le pas de déplacement est de 8 m pour les "a" inférieurs ou égaux à 24 m et de 4 m pour les "a" supérieurs à 24 m. La géométrie du dispositif rend impossible la prise de certaines mesures pour les grands écartements.

Les profils VLF ont été réalisés avec le T-VLF de Iris Instruments. Le champ magnétique est caractérisé par trois capteurs X, Y, Z formant un triangle trirectangle; X correspond à la direction d'avancement le long du profil.

Deux inclinomètres placés sur les capteurs X et Y corrigent automatiquement tout écart d'orientation

par rapport à la verticale ; ce qui permet de restituer les données par rapport à un plan horizontal et à un axe vertical vrai Z.

La cohérence entre les composantes est calculée automatiquement et les mesures sont pondérées par un coefficient de qualité.

Les mesures portent sur l'inclinaison (inclinaison négative en présence d'un conducteur) avec traitement Fraser, l'ellipticité (rapport grand axe sur petit axe), et l'orientation de l'inclinaison par rapport à la direction d'avancement.

De manière à prospecter largement et sans idées préconçues, nous avons travaillé avec des stations émettrices situées à environ 90° l'une de l'autre (FUB Sainte Assise, France: 16,800 kHz et GBZ Dumfries Grande Bretagne: 19,600 kHz).

La direction d'avancement du S-E vers le N-O est quasi perpendiculaire aux structures principales (failles, paléodrain, diaclases, fils blancs) avec un pas de mesure de 4 m sur un ensemble de lignes parallèles distantes l'une de l'autre de 20 m.

4.5. RESULTATS

4.5.1. Prospection électrique

Dès l'exécution du Profil A et après interprétation, une série de forages destructifs et carottés ont été effectués: 5 destructifs EN 9 à EN 13 et 1 carotté CH 1. (V. figure 5).

De la comparaison des coupes lithologiques et des courbes d'isorésistivité apparente, il ressort que :

- la courbe d'isorésistivité de 20 ohm/m correspond au passage des silts argileux gris vert au cailloutis (altération du socle) ou au sable vert ;
- la courbe d'isorésistivité de 25 ohm/m correspond au passage de la base du cailloutis au socle ;
- la courbe d'isorésistivité de 30 ohm/m correspond au passage de la dolomie ou du calcaire dolomitisé au calcaire franc.

La pente vers l'Ouest des "fortes" résistivités apparentes (> 35 ohm/m) est liée au pendage des couches. En effet, la direction du Profil A (N100°E) est légèrement oblique par rapport à la direction des couches (N105°E).

Ces limites de résistivités apparentes peuvent être interprétées en terme de profondeur. La courbe d'isorésistivité de 20 ohm/m correspond aux mesures faites avec un "a" = 16 m; dans la mesure où elle met en évidence le passage des terrains meubles de recouvrement au cailloutis, nous pouvons établir la

relation entre l'écartement entre électrodes et la profondeur soit:

$$\text{profondeur} = \frac{3."a"}{2,5} \text{ à } \frac{3."a"}{4}$$

Nous notons que les profondeurs interprétées par sondages électriques réduits sont correctes à 10 - 20 % près. D'une façon générale, la présence simultanée de la couche de sable vert et du cailloutis induit l'erreur maximale dans l'interprétation électrique en terme de profondeur.

Mais les courbes d'isorésistivités apparentes ainsi que les interprétations des sondages électriques courts montrent les tendances latérales qui correspondent, dans l'absolu aux variations latérales sédimentologiques observées par forages.

D'Ouest en Est, les accidents tectoniques dont la Rechute (constituée de deux failles parallèles distantes de 50 m), la Petite Faille, la Grande Coupe, le système de failles sont "retrouvés" par géophysique aux endroits supposés, déterminés par la prolongation rectiligne des accidents vus en carrière) (Fig. 6).

Dans les années 70, une campagne de forages a été effectuée vers l'Ouest de la carrière. Elle avait mis en évidence l'existence de la Rechute et ainsi conditionné la nouvelle orientation d'exploitation vers le S.O. de la carrière.

Toutes ces failles sont de direction N60°E.

Un accident majeur a été recoupé, il est quasi perpendiculaire au Profil Ouest, soit une direction supposée N120-130°E.

Nous pourrions le dénommer faille du Plantin. Les caractéristiques géoélectriques sont quasi identiques à celles précédemment établies au Sud Ouest du Clypot. Cet accident avait été dénommé faille de la Marlemme (Fig. 7). Cette similitude nous autoriserait à reconnaître une seule faille majeure.

Le Profil Sud 1 a mis en évidence un paléodrain qui a été foré, forage CH9bis (Fig. 8). Un essai de pompage y a été exécuté, celui-ci a confirmé une circulation permanente d'eau. De plus, le trou de forage, selon les conditions climatiques, soufflait de l'air vicié ou aspirait l'air extérieur.

Les profils Sud 2 et Sud 3 identifiaient une zone karstifiée centrée sur le forage CH9bis ; cette interprétation est corroborée par l'examen des coupes lithologiques des forages CH9 et CH9bis. A 5 m de distance, les deux courbes ne présentent pas, sur les 30 premiers mètres de profondeur, les mêmes évolutions lithologiques (Fig. 9).

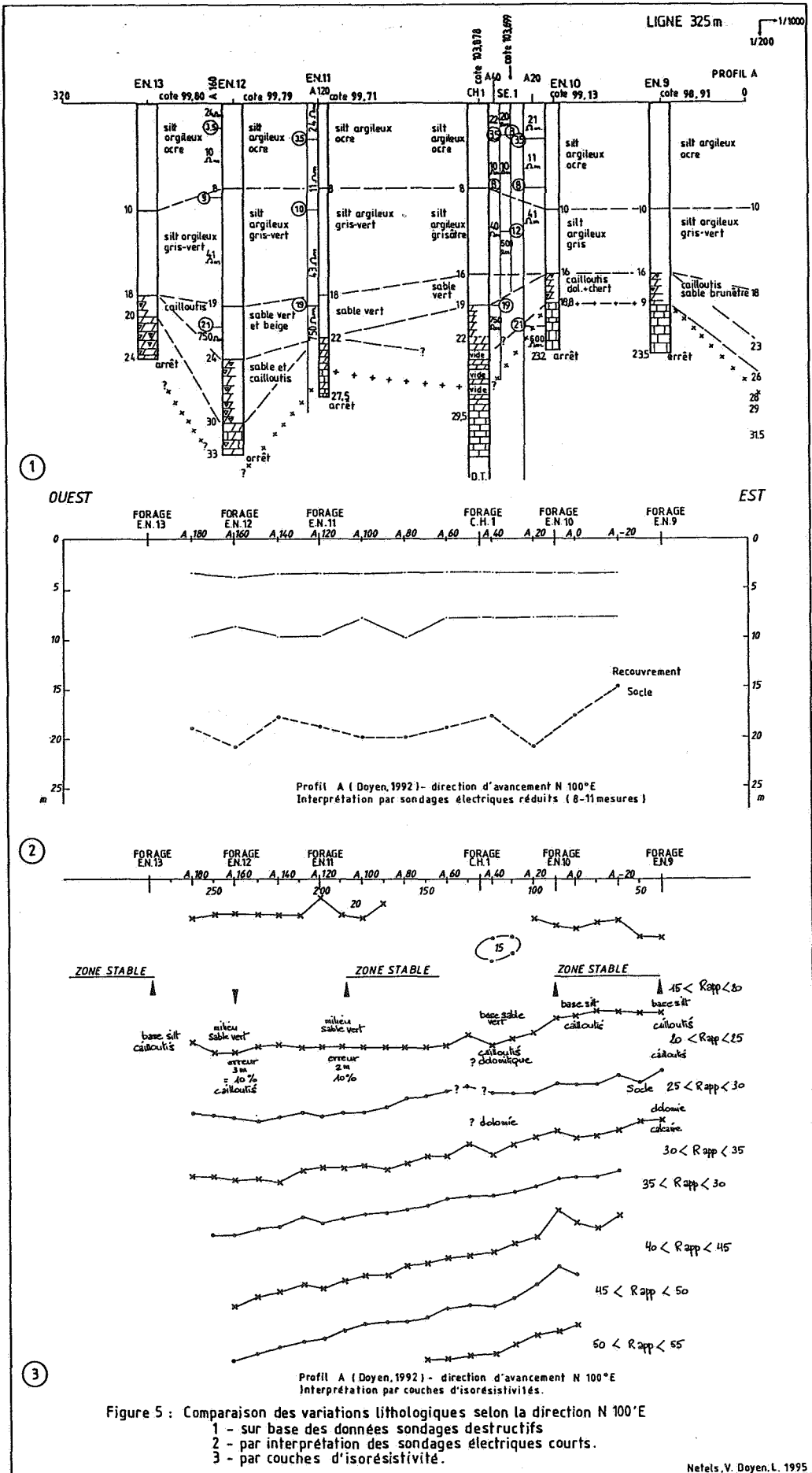
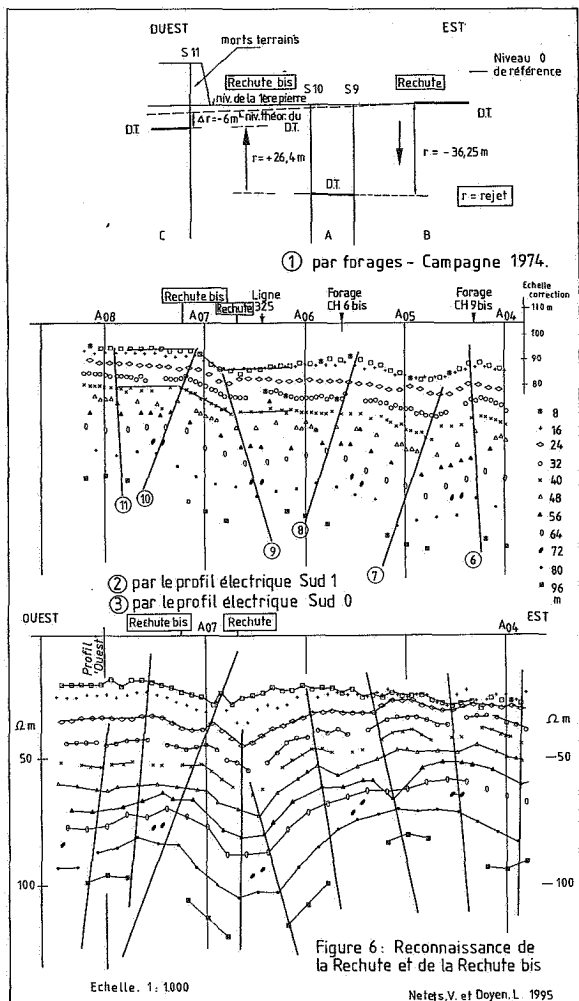


Figure 5 : Comparaison des variations lithologiques selon la direction N 100°E

- 1 - sur base des données sondages destructifs
- 2 - par interprétation des sondages électriques courts.
- 3 - par couches d'isoresistivité.



Les zones de karstification apparaissent liées directionnellement, sur les failles N60°E étant donné que les forages CH9 et CH9bis sont situés à proximité de l'axe de la Grande Coupe.

4.5.2. Prospection électromagnétique

Comme étape préalable à l'utilisation de la méthode électromagnétique, un premier profil électromagnétique fut exécuté à l'aplomb du profil électrique Sud 1 afin d'en comparer les résultats.

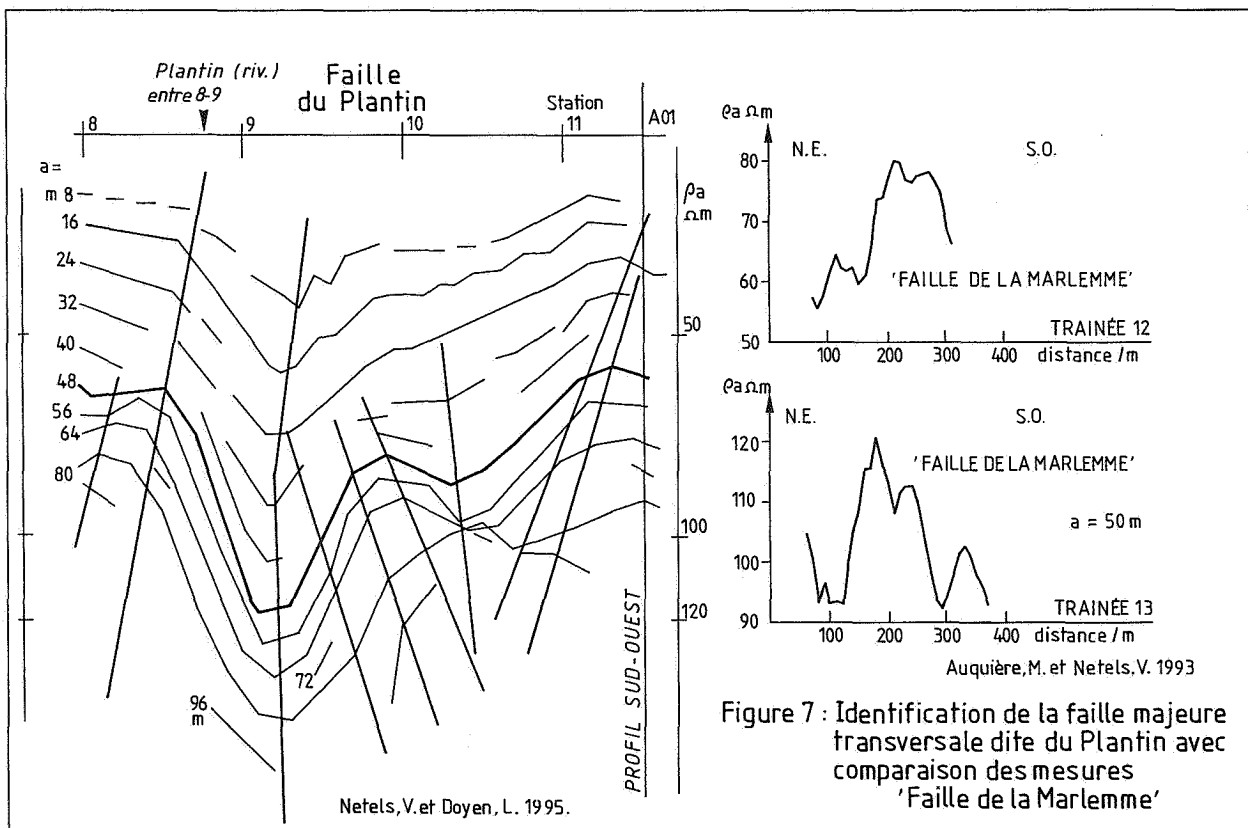
Le paléodrain identifié par électrique à 424 m de l'origine ($a=48$ m à $a=56$ m) et foré (CH9 bis) a été repris en EM (fréquence 16,8 kHz).

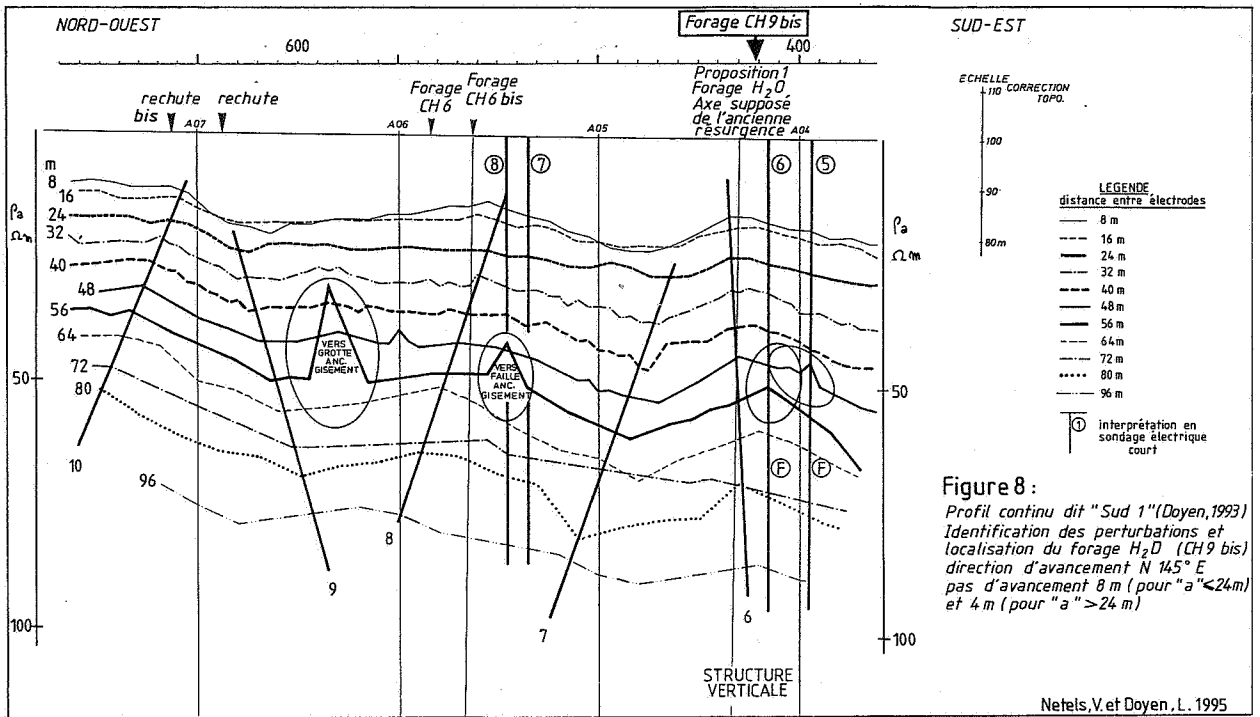
Les valeurs des inclinaison et ellipticité sont proches ($I=-15\%$ et $E=-10\%$) et de même signe, négatif.

La zone karstifiée allongée sur le forage CH9 bis (profils électriques Sud 1, Sud 2 et Sud 3) est également reconnue en EM, fréquence 16,8 kHz (Figures 10a et 10b).

Par contre, aucune anomalie n'est reconnue sur la fréquence 19,6 kHz.

La zone karstifiée montre évidemment une extension latérale (faible variation continue des mesures) tandis que les paléodrains se marquent par 3 à 5 mesures seulement.





La reconnaissance de ces derniers étant l'objet du travail, notre pas d'avancement fut de 4 mètres.

En terme de profondeur, l'EM (fréquence 16,8 kHz) atteint les paléodrain repris en électrique par les

écartements entre électrodes, de $a=48$ m à $a=56$ m, c'est-à-dire 50 et 60 m de profondeur. Retenons qu'une venue d'eau à cette profondeur fait que d'autres venues d'eau se rencontreront plus profondément à des cotes bien définies (plan de karstification indépendant de la lithologie) ou bien que le paléodrain pénètre très bas dans le calcaire.

La prospection électromagnétique effectuée en fréquence 19,6 kHz est légèrement moins pénétrante que celle effectuée en 16,8 kHz.

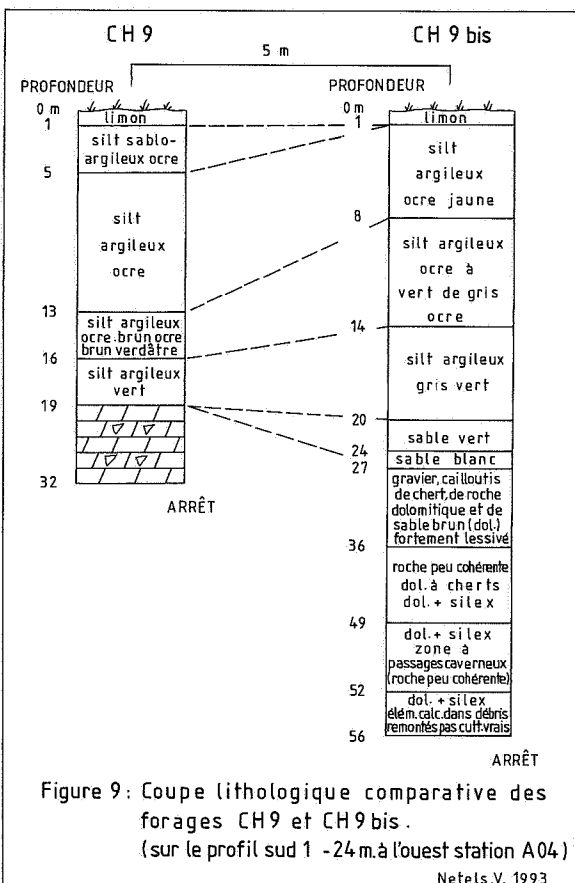
L'utilisation de deux stations émettrices situées à 90° l'une de l'autre, par rapport au point de mesure, permet de mettre en évidence des zones conductrices ou résistives elles aussi disposées orthogonalement.

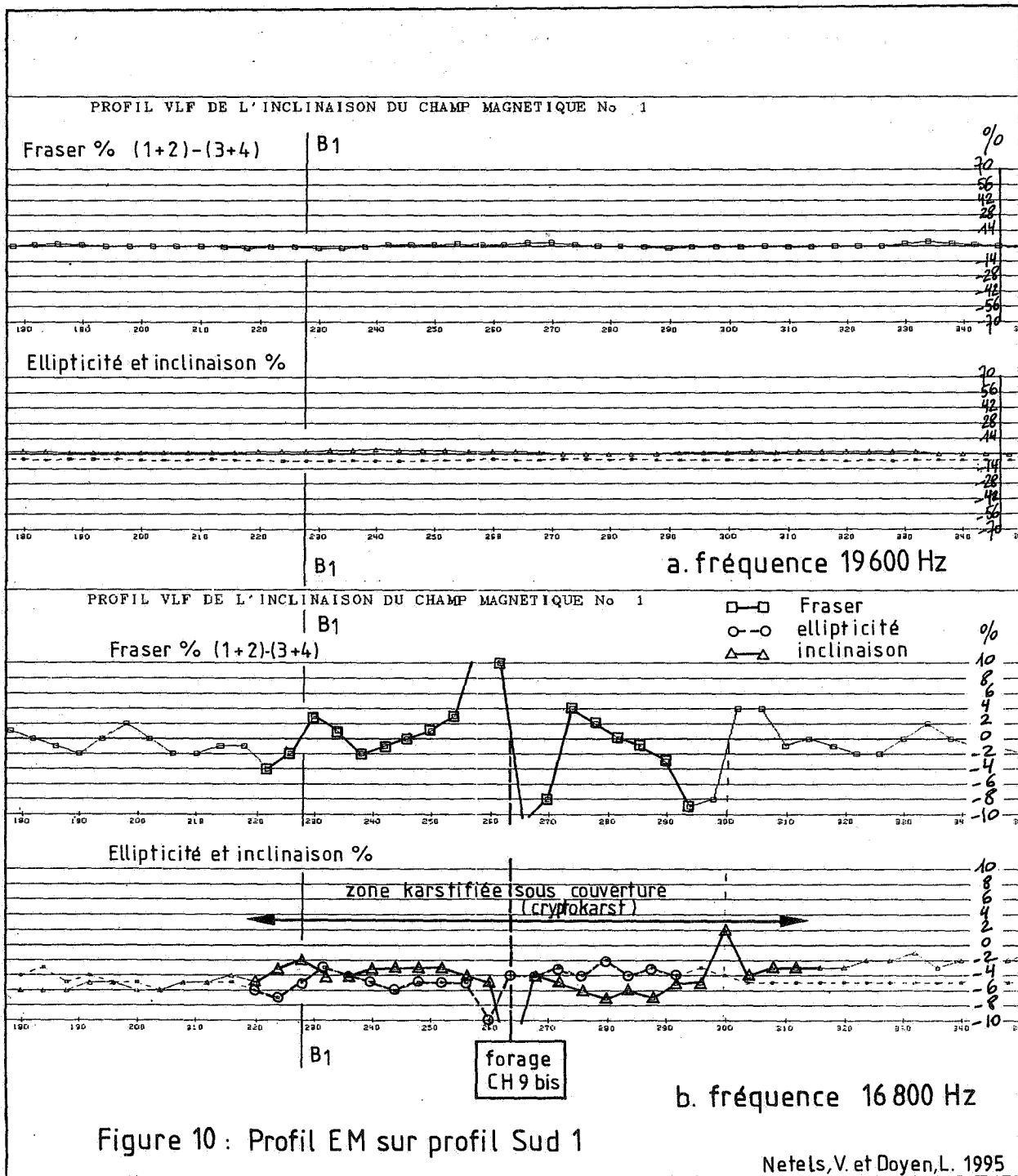
L'utilisation de ces deux méthodes complémentaires a permis d'établir la concordance des résultats électriques et électromagnétiques et de finaliser notre recherche hydrologique.

La direction de l'anomalie est également mesurée. La cartographie de ces directions nous permet de reconnaître des axes privilégiés (Fig. 11). Ainsi, si nous considérons les anomalies à inclinaison négative, nous avons :

- pour la fréquence 19,6 kHz, une direction privilégiée N20-40°E avec 10 valeurs sur 11 cartographiées avec un pic de valeurs entre N30-35°E (6 valeurs). Une seule anomalie montre une direction très différente à savoir N 128°E ;

- pour la fréquence 16,8 kHz, 20 anomalies cartographiées qui se répartissent selon N100-110°E (5 valeurs), N65-75°E (4 valeurs), N110-120°E (3 valeurs), N120-130°E (2 valeurs), N160-170°E





(2 valeurs), N-S (2 valeurs), et enfin, une direction N30-40°E (1 valeur).

Géologiquement, ces directions se retrouvent en carrière, soit comme direction des couches (N100-110°E), soit des karstifications pour les autres, soit encore d'axes de circulation des eaux N30-40°E et N160-170°E (nouvelle exsurgence).

Les anomalies positives présentent les mêmes caractéristiques directionnelles.

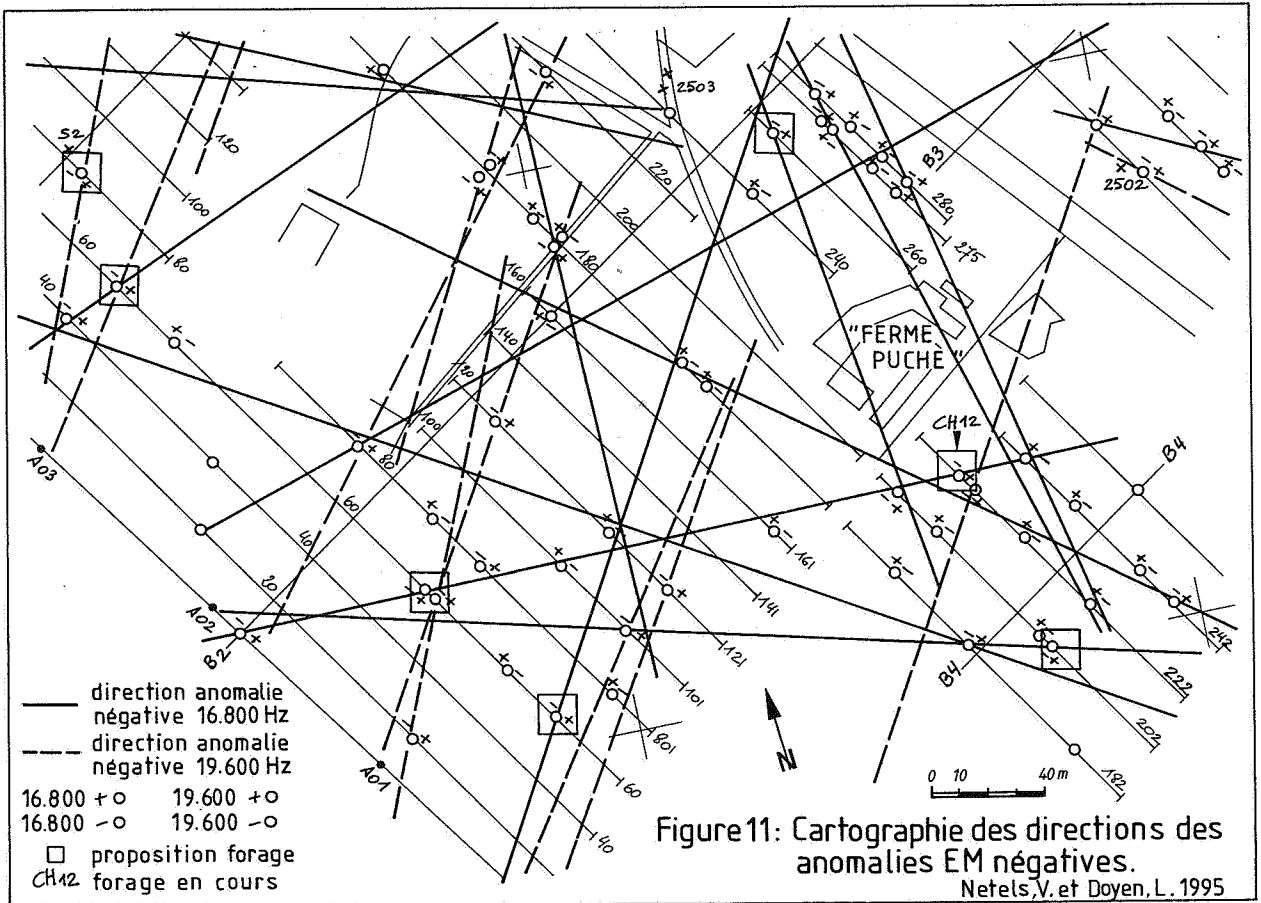
Les axes de circulation des eaux souterraines

pourraient être visualisés selon des directions privilégiées sous forme de parcours en baillonnette avec des élargissements (inclinaison négative) et resserrement (inclinaison positive) du paléodrain.

4.6. OBJECTIF HYDROLOGIQUE

La structure tectonique des alentours de la carrière, ainsi que les zones karstiques, ont été repérées et cartographiées.

Une anomalie électromagnétique a été mesurée



(3 mesures) dans un compartiment hydrologiquement actif. Le cloisonnement se fait sur la direction N60°E en faille cisailante. L'inclinaison est de -31 % et l'ellipticité de -30 % ; la fréquence utilisée est de 16,8 kHz. Les caractéristiques de l'anomalie électromagnétique laissent supposer la présence d'un paléodrain actif à l'aplomb de la mesure. Sur la fréquence 19,6 kHz, une anomalie négative est mesurée à environ 8m en direction du S-E.

Par sa position géographique, ce paléodrain pourrait être en relation avec l'exurgence dans la carrière.

La réalisation d'un forage fut décidée. L'évolution lithologique est la suivante :

- 18,5 m de terrains meubles de recouvrement ;
- de 18,5 à 30 m de profondeur : socle entièrement dolomitisé ;
- de 30 à 57,5 m : alternance de socle entièrement dolomitisé et de bancs calcaires de 3 à 4 m d'épaisseur ;
- de 57,5 à 62 m : caverne ; (perte totale des cuttings et du retour d'air) ;
- de 62 à 88 m : remplissage constitué de sable gris blanc et d'argile noire très riche en sulfure de fer avec par passes des zones de calcaire dolomitique ;
- de 88 à 105 m : calcaire fortement fissuré ;
- de 105 à 116 m : roche dure (calcaire argileux).

La caverne et son remplissage sablo-argileux basal sont caractéristiques des paléodrains. La venue d'eau recherchée est localisée au pied de la caverne.

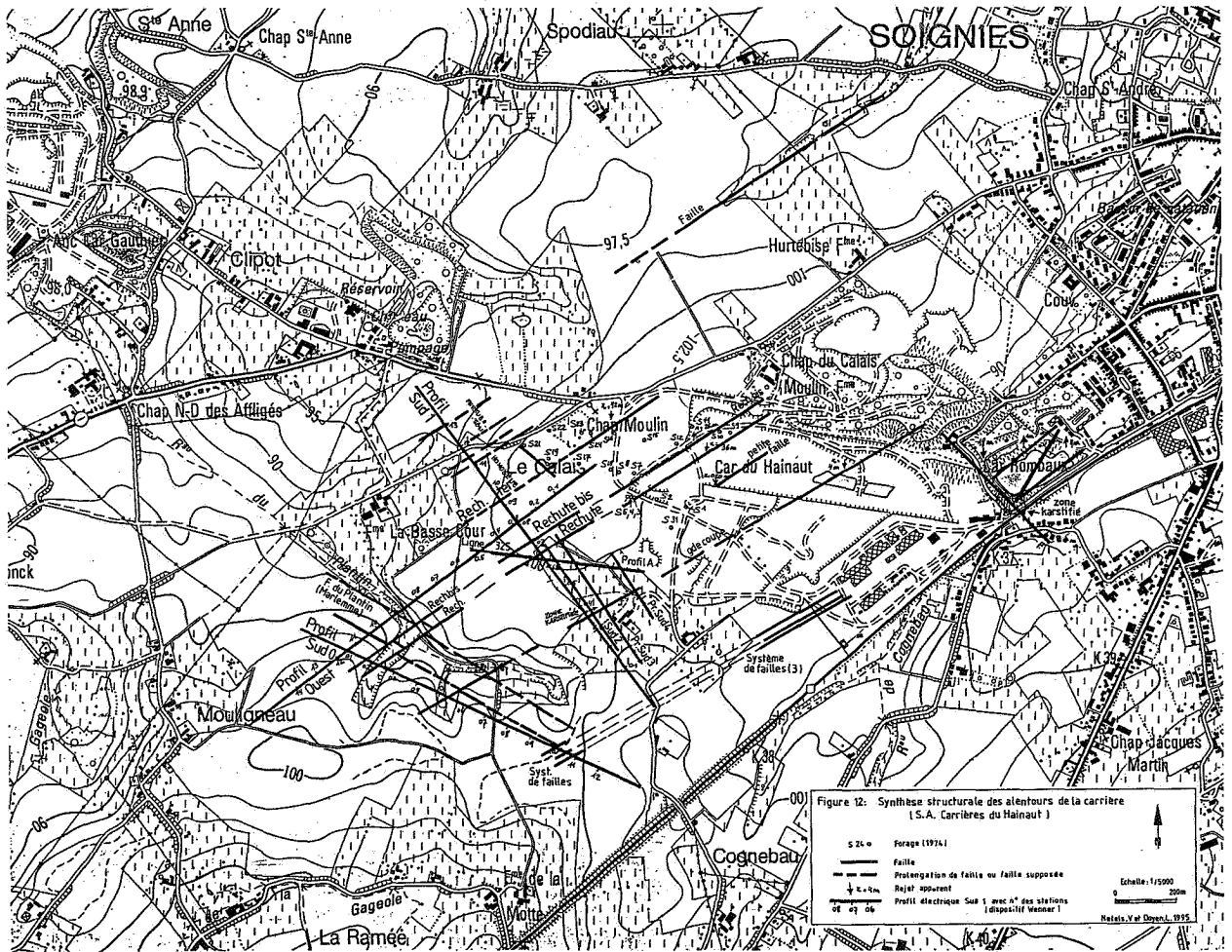
5. CONCLUSIONS

La prospection électrique a permis de dresser la carte structurale de la carrière. Elle met en évidence les failles et les zones karstifiées, cryptokarsts et endokarsts (Fig. 12).

La méthode est adaptée à la résolution du problème hydrologique posé mais son coût et surtout les espaces libres nécessaires à sa mise en oeuvre nous ont fait opter pour une prospection électromagnétique complémentaire. Elle fut testée par les résultats d'un profil électrique lui-même vérifié par forages.

Vu le nombre très élevé de mesures et la profondeur d'investigation plus grande, les profils électriques continus donnent des informations plus détaillées et plus complètes que les profils électromagnétiques. Par contre, les profils électromagnétiques sont plus précis quant à la position de l'anomalie.

L'EM a permis de reconnaître les zones karstiques, des paléodrains (actifs) et des cryptokarsts de même que des axes directionnels de circulation d'eaux



souterraines. L'un des paléodrains a été foré et les résultats obtenus répondent aux souhaits de la Société de voir réduire ses frais d'exhaure.

Le contexte structural "local" de la carrière s'intègre entièrement dans le schéma proposé par Auquière & Netels en 1993.

6. BIBLIOGRAPHIE

- ACWORTH, R.I. & GRIFFITHS, D.H., 1985. Simple data processing of tripotential apparent resistivity measurements as an aid to the interpretation of subsurface structure. *Geophysical Prospecting*, 33: 861-887.
- AUQUIERE, M. & NETELS, V., 1993. Essai de réinterprétation structurale du gisement hennuyer de

Petit Granit. *Bull. Soc. Belge Géol.*, 102/3-4: 333-357.

CARPENTER, E.W., 1995. Some notes concerning the Wenner configuration. *Geophysical Prospecting*, 3: 388-402.

CARPENTER, E.W. & HABBERJAM, G.M., 1956. A tri-potential method of resistivity prospecting. *Geophysics*, 21: 455-469.

QUINIFY, Y., VERGARI, A., DOREMUS, P., HENNEBERT, M. & CHARLET, J.M., 1993. Phénomènes karstiques affectant le calcaire carbonifère du Hainaut. *Bull. Soc. Belge Géol.*, 102/3-4: 379-394.

Manuscrit reçu le 27 novembre 1995 et accepté pour publication le 21 novembre 1996.