

ROYAUME DE BELGIQUE
—
MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES
ADMINISTRATION DES MINES – SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE
—
13, rue Jenner – 1040 Bruxelles
—

Étude d'un sondage effectué dans le Frasnien à Nettinne au lieu-dit " Le Poteau "

(Lithologie, macropaléontologie, géochimie, minéralisation)

par

L. de WALQUE, L. DEJONGHE, H. MARTIN, J. BOUCKAERT.

Pl. MAFFE 168 W N° 225

PROFESSIONAL PAPER 1977/7

N° 144

ROYAUME DE BELGIQUE
—
MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES
ADMINISTRATION DES MINES - SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE
—
13, rue Jenner - 1040 Bruxelles
—

**Etude d'un sondage
effectué dans le Frasnien à Nettinne
au lieu-dit " Le Poteau "**

(Lithologie, macropaléontologie, géochimie, minéralisation)

par

L. de WALQUE, L. DEJONGHE, H. MARTIN, J. BOUCKAERT.

Pl. MAFFE 168 W N° 225

PROFESSIONAL PAPER 1977/7

N° 144

ETUDE D'UN SONDRAGE EFFECTUE DANS LE FRASNIEN A NETTINNE
AU LIEU-DIT " LE POTEAU "
(Lithologie, macropaléontologie, géochimie, minéralisation)
Pl. Maffe 168 W N° 225.

par L. de Walque (1, 3)
L. Dejonghe (2)
H. Martin (3)
et J. Bouckaert (2, 4)

ABSTRACT

Lithological study of a core sample within the Frasnian rocks has confirmed the existence and enabled the location of lithozones already described in the literature.

Geochemical investigations have given evidence of a sympathetic relationship between iron, cobalt and nickel for the terrigenous formation and an antipathetic relationship between these elements for the carbonaceous formation. Moreover, anomalous distributions of lead, zinc, sulphur and manganese have been shown within certain carbonaceous schists. The contact between schist and calcareous rock is marked by high values of lead.

From a metallogenic point of view, apart from the presence of weakly mineralised strata-bound levels (well below the threshold for rentability), petrographic studies have enabled the fixing of interesting indices : the presence of veinlets of calcite weakly mineralised in sphalerite, pyrite and marcasite suggests the idea of the existence of a more important mineralised zone in the proximity of the core which is situated along the extension of a once exploited vein.

-
- (1) Aspirant du Fonds national belge de la Recherche scientifique.
 - (2) Service géologique de Belgique, 13 rue Jenner, B.1040 Bruxelles.
 - (3) Laboratoire de géochimie de l'Université de Louvain, 3 place L. Pasteur, B. 1348 Louvain-La-Neuve.
 - (4) Katolieke Universiteit Leuven, Afd. Hist.Geol., 16 Redingenstraat, B. 3000 Leuven.

PLAN

1. Introduction
2. Description lithologique
3. Géochimie
 - 3.1. Méthodologie analytique
 - 3.2. Résultats et discussions
 - 3.2.1. Logs géochimiques
 - 3.2.2. Distributions de fréquences
 - 3.2.3. Corrélations
 - 3.3. Conclusions de l'étude géochimique
4. Minéralisation
 - 4.1. Caractères microscopiques
 - 4.2. Conclusion des observations pétrographiques
5. Conclusion générale

1. INTRODUCTION

En 1975, un sondage vertical, carotté (\emptyset carottes : 84 mm) a été effectué à Nettinne au lieu-dit "Le Poteau", par la firme Smet de Dessel, pour le compte du Service géologique de Belgique. Ce sondage est localisé à la figure 1. Les coordonnées de l'orifice sont les suivantes (Projection Lambert ; réseau géodésique européen unifié - 1951) :

X : 214.231,50
Y : 110.499,00
Z : 252,12

En implantant le forage à cet endroit, plusieurs objectifs étaient visés parmi lesquels :

- 1) obtenir une stampe complète et continue du Frasnien affleurant dans la région, stampe destinée à servir de référence aux observations litho et biostratigraphiques fragmentaires effectuées à d'autres endroits ;
- 2) connaître le fond géochimique de roches frasniennes non soumises à l'altération atmosphérique.

Ces renseignements étaient précieux pour résoudre certains problèmes méthodologiques de prospection géochimique de sol. En effet, depuis 1973, le laboratoire de géochimie de l'Université de Louvain (Prof. H. Martin) prospecte cette région, non seulement pour tenter de découvrir les prolongements du filon exploité naguère à Heure, mais également pour mieux comprendre les mécanismes de l'individualisation, de la dispersion et de la fixation des métaux dans les terrains superficiels et préciser les relations des anomalies avec les milieux minéralisés subaffleurements (de Walque, 1974 ; Bal, 1975 ; de Walque et al, 1976 ; Dekeyser, 1977 ; de Walque, doctorat en cours).

2. DESCRIPTION LITHOLOGIQUE

	<u>Epaisseur</u> <u>(m)</u>	<u>base à</u> <u>(m)</u>
Schiste vert, altéré, très fissuré, délité. A 0,30, niveau noduleux à polypiers. Vers 1,50, lit carbonaté altéré. Vers 2,00, lit noduleux.	3,43	3,43
Schiste carbonaté verdâtre. De 3,63 à 4,63 calcaire noduleux avec quelques passages de schiste vert.	2,00	5,43

Schiste gris carbonaté (faiblement à partir de 9,53). Nombreuses fissures avec traces de circulation d'eau. A 5,96, lit carbonaté lenticulaire. Straticules calcaires à partir de 6,93 (barre calcaire de 6,96 à 7,00). Niveau noduleux à 9,53. Lit carbonaté à 11,90 (pendage : $i = 15^\circ$). Lits à brachiopodes de 7,11 à 13,28. <i>Productidae</i> (quelques <i>Productella</i> à 9,83).	7,15	12,58
Schiste gris. Diaclases avec traces de circulation d'eau. A 14,18, lit carbonaté avec pyrite (pendage : $i = 18^\circ$).	2,00	14,58
Schiste gris carbonaté, localement à nodules calcaires (14,58 à 15,68 et vers 18,00) ou à straticules calcaires (entre 18,73 et 21,73). De 31,40 à 32,35, calcaire noduleux. Pendage : vers 17,00, $i = \pm 0^\circ$; vers 26,00, $i = 12^\circ$. Brachiopodes parfois de très grandes tailles (31,40 à 34,15) disséminés dans la roche. Bryozoaires (18,73 à 21,73). <i>Productidae</i> (27,88 à 29,60). Nombreux petits lits fossilifères de 29,60 à 31,40 (<i>Productidae</i> , <i>Spiriferidae</i>). A 30,90, diaclase subverticale.	19,32	33,90
Schiste gris. Joints tapissés de pyrite. Plaquettes de calcite blanche parallèles à la stratification (probablement, cicatrisation de joints ouverts). Vers 41,50, pendage : $i = 6^\circ$. Dès 45,00, quelques brachiopodes, à partir de 46,67, accompagnés de quelques polypiers. Diaclase à 38,70 (subverticale) et de 44,13 à 44,83. De 47,93 à 48,27, diaclase minéralisée.	14,57	48,47
Calcaire argileux avec polypiers et brachiopodes.	1,25	49,72
Schiste gris. Rares polypiers. Brachiopodes. Joints tapissés de pyrite. De 51,22 à 51,72, diaclase.	2,71	52,43
Calcschiste fossilifère, intercalé entre 52,78 et 53,63 de calcaire argileux d'aspect noduleux. Pendage : $i = 10$ à 12° . Diaclase subverticale.	1,75	54,18
Schiste gris. Quelques nodules calcaires de 55,48 à 57,50. Pendage vers 55,00, $i = 10^\circ$. Rare polypiers, <i>Spiriferidae</i> , crinoïdes (de 55,48 à 57,50), gastéropodes (de 57,50 à 58,49). A 55,60 : orthocère. A 58,25, <i>Productidae</i> . A 59,20, gastéropodes, lingules.		

De 54,18 à 57,50, diaclase subverticale, tapissée de calcite et de pyrite. Brèche (tectonique) schisteuse de 55,55 à 55,66 et de 55,85 à 55,98.

5,71 59,89

Schiste gris avec quelques nodules calcaires, de petite taille au début, plus abondants à partir de 73,78. Pendage : vers 60,00, $i = 10^\circ$; vers 64,00, $i = 10^\circ$; vers 66,50, $i = 8^\circ$; vers 70,00, $i = 12^\circ$; vers 72,00, $i = 12^\circ$. *Spiriferidae*, lingule (à 62,00), traces de coquilles (entre 70,73 et 72,97). Quelques lits fossilifères de 76,83 à 79,88. Veinules de calcite (épaisseur : 1 cm ; pente : $i = 50^\circ$, à 62,23, 63,18, 64,44). Diaclase subverticale tapissée de marcasite, de 64,63 à 69,44. Veinule de calcite blanche et de pyrite d'aspect bréchique de 77,88 à 78,48.

19,99 79,88

Schiste vert à nodules calcaires, très abondants à partir de 81,38. *Spiriferidae*.

3,05 82,93

Schiste gris à nombreux nodules calcaires. Vers 87,00 pendage : $i = \pm 0^\circ$. Entre 84,87 et 84,90, présence d'un exoclaste de nature ignée à structure porphyrique. Les descriptions macro et microscopiques de cet erratique ont été précisées dans une publication séparée (Dejonghe et Bouckaert, 1978). Sa présence énigmatique a également été discutée.

De 82,93 à 85,98, quelques polypiers et brachiopodes isolés. Par contre, nombreux lits à brachiopodes (dont *Spiriferidae*) de 85,98 à 89,73. De 92,08 à 95,13, brachiopodes abondants, lingules, orthocères. De 95,13 à 98,18, *Leiorhynchus* (rares), lingules, *Spiriferidae* et à partir de 96,63, polypiers, ostracodes, tubulations pyriteuses. De 98,18 à 101,23, lingules, *Caryorhynchus*, *Atrypidae*. A 83,93, plaque de calcite (épaisseur : 1 cm) parallèle à la stratification. De 85,98 à 89,03, nombreux nids de pyrite en stratification. De 92,08 à 98,18, pyrite finement disséminée tapissant les joints. Diaclases, certaines cicatricées par de la calcite blanche, à 85,43, de 90,95 à 91,33 (pente : $i = 62^\circ$), de 92,23 à 92,43 (pente : $i = 68^\circ$), de 92,78 à 93,08 (pente : $i = 68^\circ$). De 99,18 à 101,23, roche quelque peu glissée.

18,32 101,25

Schiste très noduleux. Pyrite disséminée.
Nombreux lits à brachiopodes (dont *Productella*,
grands *Spiriferidae*). De 104,85 à 105,28, veine
de calcite (épaisseur : 2 cm, pente : $i = 75^\circ$). 5,03 106,28

Calcaire noduleux à polypiers (tabulés).
Brachiopodes de grande taille vers 106,28. 1,62 107,90

Calcaire bioconstruit, finement grenu de
119,54 à 120,28, clair de 124,46 à 125,28. A
125,28, pendage : $i = 14^\circ$. Joints stylolithiques.
Quelques intercalations lithologiquement ou
structurellement différentes,

- de 118,08 à 118,13 : schiste carbonaté
straticulé de calcaire;

- de 118,13 à 119,18 : calcaire massif,
avec tabulés ;

- de 119,53 à 119,54 : schiste carbonaté.

A 117,14, niveau bréchique. Stromatopores
(lamellaires et globuleux, parfois de très grande
taille), nombreux polypiers (tabulés, *Receptacu-*
lites de 110,38 à 113,43, passes à *Amphipora* entre
113,43 et 116,48), brachiopodes. De 107,33 à 110,38 :
pyrite disséminée. De 116,78 à 117,23, de 119,91
à 120,38 et de 122,58 à 123,14, filonnets de
calcite avec sulfures (pyrite - sphalérite). 18,50 126,40

Alternance de niveaux calcaires à structures
et contenus paléontologiques différents.

- Calcaire finement stratifié avec de
nombreux joints stylolithiques : de 126,40
à 126,83, de 131,03 à 131,10, de 136,56 à
137,25, de 139,98 à 140,05 et de 140,51 à
141,24 (argileux jusqu'à 140,65 ; de 140,65
à 141,24, le litage semble dû à la présence
de stromatolithes ; à cet endroit, pendage :
 $i = 8^\circ$) ;

- Calcaire noduleux : de 126,83 à 127,43 , de
130,28 à 130,41, de 135,86 à 136,56 (polypiers,
dont tabulés), de 138,33 à 138,88 (polypiers à
la base), de 139,63 à 139,98, et de 141,24 à
143,48 (subnoduleux) ;

- Calcaire à stromatopores globuleux parfois de
très grande taille et polypiers, principalement,
tabulés : de 127,43 à 129,32 (bioconstruit), de
130,41 à 131,03, de 131,90 à 135,63, de 140,05
à 140,51 (stromatopores de petite taille) et de
143,32 à 143,92 ;

- Calcaire massif avec joints stylolithiques :
de 131,10 à 131,90 et de 141,24 à 142,28.

A partir de 129,30, présence de plaquettes centimétri-
ques de calcite blanche, interstratifiées, parfois, avec
joints schisteux (à 129,31, 132,93, 136,59, 138,88,
140,51, 142,88). 17,52 143,92

Base du sondage à 143,92.

La coupe schématique du sondage est dessinée à la figure 2. Pour permettre une comparaison aisée entre la lithologie et les analyses chimiques (fig.3 et 4), le symbolisme lithologique est figuré indépendamment du pendage. Nous avons effectué la corrélation entre les niveaux lithologiquement bien individualisés du sondage 168 W 255 et ceux décrits par Coen (1974). Les sigles d, e, f, g, h, i, ont le même sens que ceux introduits par cet auteur pour la coupe Heure - Sinsin.

D'autre part, le sondage a été implanté à quelques mètres d'un affleurement de schistes très noduleux riche en petits polypiers et grands *Spiriferidae*. La présence dans ce banc de *Ancyrodella curvata*, *Palmatolepis gigas* et *palmatolepis subrecta* le situe à proximité de la frontière des repères micropaléontologiques (m.g.m) 22 et 23 introduits par Bouckaert et Streel, en 1974, à l'"International Symposium on Belgian Micropaleontological Limits". Chronostratigraphiquement, selon Tsien (1974), les schistes recoupés peuvent être corrélés au Frasnien supérieur (Fr2), chronozones α et β ; les calcaires au Frasnien inférieur (Fr1), chronozone γ .

3. GEOCHIMIE

3.1. Méthodologie analytique

Des échantillons au nombre de 144 (un par mètre de sondage) ont été prélevés, broyés et ensuite analysés.

Les teneurs en fer, cuivre, plomb, zinc, cobalt, nickel et manganèse ont été déterminées par spectrophotométrie d'absorption atomique, après attaque tri-acide pour la mise en solution des roches. Dans un bécher en téflon, on ajoute à 1 g d'échantillon 6 ml d'HCl concentré, 4 ml d'HNO₃ fumant et 3 ml d'HF à 50 % ; après évaporation à sec, le résidu est repris par 10 ml d'HCl à 10 %, porté à 25 ml et centrifugé. Le liquide surnageant est retenu pour l'analyse et est dilué le cas échéant.

Le pH est mesuré dans une boue d'échantillon (5 ml d'eau distillée par 5 g d'échantillon broyé).

Les teneurs en carbonates calciques ont été obtenues par volumétrie (Müller, 1967) et il a été tenu compte du pourcentage d'H₂S dosé simultanément avec le CO₂, suite à une attaque à l'acide chlorhydrique.

Le dosage du soufre a été effectué suivant une méthode volumétrique décrite par Chaudry et Cornfield (1966).

Enfin, le carbone lié à la matière organique (déduction faite du pourcentage de carbone minéral mesuré) a été dosé par une méthode titrimétrique (Jones et al., 1966).

Les difficultés de dosage des éléments métalliques en traces en milieu calcaire sont largement connues (Pinta et al., 1971) et ont nécessité une étude méthodologique particulière. Il faut remarquer que le calcium est un élément susceptible de former certains composés réfractaires, empêchant de la sorte une ionisation parfaite, et par cela même affectant le dosage effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique. Un nouveau dosage

des échantillons prélevés a été réalisé avec une flamme air-acétylène-protoxyde d'azote, plus chaude que la flamme air-acétylène employée usuellement, et susceptible de réaliser une absorption atomique plus grande. Ce dosage n'a pas donné de résultats significativement différents. Par le biais d'additions standards, on a ajouté à des quantités connues d'éléments en traces, des quantités croissantes de carbonate de calcium, afin de saturer finalement le milieu. Aucune interférence due au calcium ajouté n'a été remarquée. Les fluorures formés par le calcium et l'acide fluorhydrique lors de la mise en solution des roches ne comprennent pas de quantités dosables pour les éléments étudiés.

En conclusion de cette étude méthodologique, il semble que pour le type d'échantillons étudiés, et la nature des éléments dosés avec leur gamme de concentration, les méthodes utilisées ne rencontrent pas les difficultés évoquées plus haut.

3.2. Résultats et discussion

Les résultats sont montrés sous forme de logs géochimiques des données initiales pour les différentes teneurs déterminées. Des traitements statistiques comme le lissage par moyennes mobiles, les analyses de distribution de fréquences et de régression permettent une discussion plus approfondie des résultats.

3.2.1. Logs géochimiques

Les résultats bruts des 1584 analyses effectuées sont représentés à la figure 3, sous forme de logs géochimiques. Cette figure a été dessinée au moyen d'une table traçante Hewlett-Packard 9862 A.

Le taux de carbonate de calcium dans les roches permet de distinguer aisément les calcaires rencontrés dans la base du sondage des schistes situés stratigraphiquement plus haut. Les teneurs en carbonate voisinent 100 % dans les calcaires et sont moins élevées dans les schistes. Néanmoins, deux zones plus calcaires apparaissent dans les roches phyllosilicatées.

Ces augmentations du taux de carbonate de calcium correspondent étroitement à des diminutions des teneurs en fer, cobalt et nickel dans les schistes. De plus, les calcaires se distinguent par une chute brutale des teneurs de la plupart des éléments analysés (fer, zinc, cobalt, nickel et manganèse). Seuls le soufre, le carbone lié à la matière organique et bien sûr le taux de carbonate calcique y montrent des augmentations de valeurs. Le pH est monotone.

La gamme de concentration trouvée dans les calcaires rejoint celles retrouvées dans certains niveaux calcaires d'âge Dévonien ou Carbonifère qui ont fait l'objet d'analyses géochimiques (Ineson, 1969 ; Ineson, 1970 ; Graf, 1960 ; Vinogradov, 1956, ces deux derniers auteurs cités par Beales et Jackson, 1966). Cela est vérifié également pour ce qui concerne les schistes.

On distingue deux niveaux anormaux en plomb, en zinc et en soufre. Ces niveaux sont localisés principalement dans des passes schisteuses carbonatées. A ces niveaux sont associées de légères augmentations des teneurs en manganèse. Quelques pics montrent une distribution du cuivre assez irrégulière, associée certainement à la présence de quelques mouchetures sulfurées.

Le lissage en moyennes mobiles d'ordre 3 de ces mêmes résultats est repris à la figure 4 et a été tracé à l'imprimante de l'ordinateur IBM 370 (programme adapté de Charollais et Davaud, 1976). On y remarque avec évidence la corrélation liant d'une part le fer, le nickel et le cobalt, et d'autre part le taux de carbonate calcique. Les niveaux anomaux en plomb se détachent fort bien. En ce qui concerne le zinc, on distingue mieux que cet élément suit les variations d'une part de l'association fer-cobalt-nickel, et d'autre part du plomb. Il faut cependant remarquer qu'au contact schistes-calcaires, le zinc, à l'inverse du plomb, ne montre pas d'augmentations notables de teneurs. Le lissage a permis de mettre mieux en évidence l'association du manganèse avec les anomalies plomb, zinc et soufre liées à certaines passes de sondage.

Ce traitement par moyennes mobiles met mieux l'accent sur les tendances générales de variation que les représentations en valeurs brutes.

3.2.2. Distribution de fréquences

On a utilisé la technique de Sinclair (1974) de déconvolution des courbes pour identifier les différentes populations déduites de l'analyse des distributions de fréquences. Par traitement statistique effectué également à l'ordinateur, on a déterminé les différentes limites de confiance de ces populations, ainsi que les gammes de variation de certains éléments métalliques en traces dans les niveaux anomaux, reprises au tableau I.

L'analyse des distributions de fréquences met en évidence de manière quantitative (intervalles de confiance, gamme de variation), ce qui a été observé sur les logs géochimiques, à savoir que certains éléments se répartissent en fonction de la lithologie, et d'autres en fonction de certains niveaux minéralisés.

La lithologie peut se différencier en trois zones bien distinctes; les schistes, les schistes calcaires et peu noduleux, et les calcaires francs. Cette distinction est surtout marquée par une augmentation de valeurs en fer, cobalt et nickel, liée au caractère phyllosilicaté de la roche. Ces trois éléments s'opposent aux teneurs en carbonates calciques. L'association géochimique - fer, cobalt et nickel - est largement connue dans les sédiments argileux et de nombreux auteurs ont souligné la relation excellente entre les deux groupes de variables cités et le type de sédimentation (terrigenous - argileuse et chimique - calcaire) (Treuil et al., 1970). L'analyse des distributions du zinc suit l'allure décrite par le fer, le cobalt et le nickel, de façon plus irrégulière seulement. Mais son allure liée à la lithologie est oblitérée par le caractère anormal des deux zones situées au sein de schistes calcarifères. Liée à la lithologie, l'allure du plomb est homogène, et celle du cuivre est irrégulière, avec un excès de basses valeurs liées aux calcaires.

Le degré de signification entre les populations géochimiques des trois groupes repris au tableau I a été vérifié et quantifié par un test de Student de comparaison des moyennes. Le trio Fe-Co-Ni s'en dégage également comme très bon traceur lithologique et vérifie les résultats.

Les deux niveaux anomaux confirmés grâce à la distribution du plomb, du zinc et du soufre montrent des seuils d'anomalies de 43 ppm pour le plomb et de 134 ppm pour le zinc. On a pu les localiser dans les zones

TABLEAU I : RESULTATS DE L'ANALYSE DES DISTRIBUTIONS DE FREQUENCES

LIMITES DE CONFIANCE A UN DEGRE DE CONFIANCE DE 0,95				GAMME DE VARIATION	
ELEMENT	CALCAIRES	SCHISTES CALCAIRES ET/OU NODULEUX	SCHISTES	NIVEAUX ANOMALIQUES	
FER, %	0,01 - 2,20	2,20 - 3,80	3,80 - 6,41		
CUIVRE, ppm	1 - 18	3 - 28	2 - 38		
PLOMB, ppm	7 - 38	7 - 40	8 - 37	43 - 341	
ZINC, ppm	1 - 25	25 - 53	54 - 134	134 - 424	
COBALT, ppm	2 - 8	8 - 25	25 - 48		
NICKEL, ppm	2 - 15	15 - 51	51 - 93		
MANGANESE, ppm	34 - 408	427 - 910	411 - 890	892 - 1392	
PH	8,9 - 9,3	8,5 - 9,3	8,1 - 9,2		
CARBONATES, %	87,0 - 98,9	27,0 - 87,0	0,1 - 27,0		
MATIERE ORGA., %	0,01 - 1,96	0,01 - 0,58	0,01 - 0,90		
SOUFRE, ppm	4 - 60,0	14,5 - 56,0	0,1 - 17,5	25,0 - 102,0	

schisteuses les plus riches en carbonates (19-31 m et 45-52m). Le contact schisto-calcaire montre des teneurs significatives en plomb (106-107 m et 110 m). L'allure du manganèse semble suivre celle du plomb et du zinc.

3.2.3. Corrélations

Le calcul des coefficients de corrélation a été effectué dans chaque groupe lithologique. Il apporte une confirmation des résultats déjà obtenus par l'analyse des logs géochimiques et des distributions de fréquences.

Les différentes valeurs des coefficients de corrélation intervariables calculés dans les calcaires sont assez élevées. Cela est dû aux faibles concentrations et aux variations minimales de la gamme des teneurs trouvées dans les calcaires, pour un bon nombre d'éléments en traces analysés.

De très fortes corrélations positives caractérisent d'une part l'association fer, cobalt et nickel dans les schistes calcaires ($r = 0,90$), et d'autre part le soufre, le plomb et le zinc dans les mêmes passes de sondage ($r = 0,65$). Le coefficient de corrélation entre le taux de carbonate et le groupe du fer, du cobalt et du nickel est élevé mais négatif ($r = -0,65$).

La covariation du fer, du cobalt, du nickel et du zinc dans les schistes est confirmée par de bons coefficients de corrélation ($r = 0,65$). La corrélation entre ce groupe et le taux de carbonate calcaire est négative ($r = -0,60$).

Ces corrélations rappellent que les teneurs en fer, en nickel, en cobalt, et partiellement en zinc, résument très bien la lithologie du sondage et montrent une diminution progressive des teneurs en fonction de l'augmentation graduelle du degré carbonaté de la roche. Il souligne également la mise en évidence de deux niveaux calcaréo-schisteux anormaux en plomb, zinc, soufre et manganèse, et la présence de soufre dans les calcaires.

3.3. Conclusions de l'étude géochimique

L'analyse géochimique des roches de ce sondage a mis en évidence l'abondance du fer, du cobalt, du nickel (et partiellement du zinc), liée aux variations lithologiques et principalement au caractère terrigène de certaines passes rencontrées.

Elle a montré également que les anomalies en plomb, en zinc, en soufre et en manganèse sont situées dans certaines zones schisteuses riches en carbonates. La détermination stratigraphique de ces niveaux anormalement riches en plomb et en zinc, ainsi que leur localisation, est importante en terme de prospection géochimique de sols, liée à une recherche de minerai plombo-zincifère. En effet, si ces niveaux subaffleurent, ils pourraient se manifester par des enrichissements en plomb et en zinc dans les sols surincombants, sans que cela corresponde à une minéralisation intéressante du point de vue économique.

Les résultats obtenus confirment que l'échantillonnage mètre par mètre dans les schistes est justifié. Par contre, le caractère monotone de la répartition des éléments en traces dans les calcaires suggère une prise d'échantillons moins dense dans les calcaires qu'on pourrait rencontrer dans les phases ultérieures de cette campagne de prospection.

4. MINERALISATION

28 échantillons ont été sélectionnés sur base de sulfures macroscopiquement visibles. L'examen épiscopique des sections polies effectuées a permis d'identifier marcasite, pyrite, chalcopryrite, sphalérite et galène.

Seuls ou associés en agrégats, ces minéraux apparaissent dans des nodules ou des lentilles, dans les schistes, ou, en remplissage de veinules de calcite, dans les calcaires. Leur distribution est précisée à la figure 5.

4.1. Caractères microscopiques

4.1.1. Dans les sédiments

On trouve, par ordre d'abondance décroissante, marcasite, pyrite, sphalérite, chalcopryrite et galène. Dans la formation schisteuse, la présence de minéralisations coïncide parfois avec la présence de nombreux bioclastes.

Marcasite

La marcasite apparaît en cristaux de toutes formes et de toutes tailles. Ces cristaux sont souvent associés dans des agrégats à structure interne "en mosaïque". Parfois, ils frangent partiellement ou totalement des grains ou nodules de sphalérite. Exceptionnellement, des formes elliptiques dues à la présence de fines couches concentriques de minéraux non opaques se superposent à la structure en mosaïque. Il s'agit très probablement de fantômes de tests de fossiles. D'ailleurs, la marcasite pseudomorphose ou/et remplit souvent les tests de fossiles.

Pyrite

Localement, présence d'abondants petits cristaux automorphes disséminés. De plus, des framboïdes ne sont pas rares (diamètre voisin de 10 μm). Les structures framboïdales sont cependant souvent oblitérées par la recristallisation.

Sphalérite

Fréquemment, en plages allongées (longueur supérieure à 500 μm ; largeur, environ 100 μm) et fracturées. Rares contours automorphes. Egalement en nodules, renfermant de nombreuses inclusions de pyrite et des minéraux transparents (certains, au contour rhomboédrique). Ces nodules sont parfois frangés sur une partie de leur contour par des grands cristaux automorphes de marcasite.

Enfin, en agrégats à structure zonée concentrique : superposition de couches formées d'une part de cristaux de marcasite (éventuellement recristallisée en pyrite) et d'autre part d'un mélange de cristaux de sphalérite et de minéraux transparents (dont carbonates).

La pseudomorphose d'une partie des loges d'un organisme, notamment en sphalérite, est exceptionnelle (voir ci-dessous).

Chalcopryrite

Dans la formation schisteuse, des grains isolés de chalcopryrite atteignant 50 μm ne sont pas rares.

Par contre, la pseudomorphose complète d'un organisme en chalcopyrite, sphalérite et pyrite est inhabituelle. Il s'agit d'un bryzoaire (détermination H.H. Tsien) dont les cloisons sont pseudomorphosées principalement par la chalcopyrite. Cette dernière renferme d'abondantes inclusions xénomorphes de sphalérite (parfois quantitativement aussi abondantes que la chalcopyrite) et quelques inclusions xénomorphes de pyrite. Les loges sont exemptes de sulfures. Leur contour elliptique disparaît parfois au profit de formes rhomboédriques.

Galène

La galène est peu fréquente bien qu'intervenant dans des structures variées. Elle se présente en agrégats de microcristaux xénomorphes (diamètre maximum des cristaux : 30 µm). Elle cimente aussi des agrégats de pyrite framboïdale, de la marcasite fracturée et des carbonates. Enfin, on la trouve en inclusions xénomorphes dans les rhomboblastes.

4.1.2. Dans les veinules de calcite

Marcasite

Comme dans les sédiments, la marcasite apparaît en agrégats de cristaux de toutes formes et de toutes tailles. Néanmoins, la forme et la disposition de ces agrégats sont particulières. Souvent, il s'agit de bandes parallèles aux épontes (rubanement). La granularité est variable d'une bande à l'autre selon l'éloignement par rapport aux épontes. Parfois, il s'agit d'agrégats à structure zonée concentrique. Les atolls sont cependant moins fréquents que les bandes. Généralement, la marcasite renferme de nombreuses inclusions (sphalérite, carbonates).

Pyrite

Recristallisation locale de marcasite.

Sphalérite

Il s'agit de cristaux, parfois de taille supérieure au mm, frangés ou cimentés par de la marcasite granulaire. Certaines parties des contours sont automorphes. La sphalérite renferme souvent des petites inclusions de pyrite.

4.2. Conclusion des observations pétrographiques

Les résultats des observations microscopiques sont résumés à la figure 5.

La localisation de certains minéraux en des nodules et des lentilles inclus dans les roches sédimentaires ou en pseudomorphose et remplissage de tests de fossile nous autorise à croire qu'ils sont pénécotemporains de la mise en place de la roche support (minéralisations syn et diagénétique précoce).

Par contre, d'autres accompagnent les veinules de calcite qui recoupent principalement les calcaires (minéralisation sécante, nettement épigénétique).

Bien que les indices de minéralisation soient peu importants, on peut, en excluant pyrite et marcasite trop ubiquistes, délimiter des niveaux

de minéralisation stratoïde ("strata-bound deposits") : entre 15 et 30 m ; 45 et 55 m ; 90 et 95 m ; 115 et 120 m.

La position de ces niveaux très faiblement minéralisés par rapport aux lithozones de Coen (1974), est précisée au tableau II.

Tableau II

Zones minéralisées (m)	Lithozones de Coen, 1974
15 - 30	entre h et i
45 - 55	autour de g
90 - 95	entre e et f
115 - 120	sommet des calcaires d

La figure 5 met en parallèle les résultats géochimiques et minéralogiques. La concordance des niveaux minéralisés stratoïdes repérés par les deux approches est parfaite.

5. CONCLUSIONS GENERALES

Ce travail est le fruit d'une équipe. Sans être exhaustive, l'étude de ce sondage a pu néanmoins être élargie de façon heureuse à des disciplines variées : lithostratigraphie, macropaléontologie, géochimie et métallogénie. Des études paléontologiques complémentaires sont en cours : conodontes par E. Groessens et polypiers par H.H. Tsien.

L'étude lithologique a permis de confirmer et préciser la position des lithozones de Coen (1974) et a révélé la présence d'un exoclaste de nature ignée (Dejonghe et Bouckaert, 1978). La découverte de cet erratique est intéressante car il s'agit d'une structure curieuse, d'un type nouveau dans le Frasnien et d'une grande rareté ; elle est également embarrassante, car aucune hypothèse ne répond favorablement au problème de sa mise en place.

L'étude géochimique a mis en évidence la sympathie du fer, du cobalt et du nickel pour la formation terrigène et leur antipathie pour la formation carbonatée. En outre, elle a montré la distribution anormale du plomb, du zinc, du soufre et du manganèse dans certains niveaux carbonatés de la formation terrigène (particulièrement la lithozone "g"). Le contact des formations schisteuses et calcaires est souligné par des valeurs élevées en plomb.

Sur le plan métallogénique, outre la présence de niveaux stratoïdes très faiblement minéralisés (bien en dessous de tout seuil de rentabilité), l'étude pétrographique a permis d'épingler des indices intéressants : la présence de veinules de calcite, faiblement minéralisées en sphalérite, pyrite et marcasite, suggère l'idée de l'existence d'une zone minéralisée plus importante à proximité du sondage 168 W 225, d'autant plus que le carrefour du "Poteau" (à environ 150 m du sondage), se situe exactement dans le prolongement du filon exploité naguère à Heure.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le bourgmestre de Nettinne, Monsieur R. Sternon, pour l'aide qu'il leur a accordée et l'intérêt qu'il a manifesté aux travaux entrepris.

H. Martin et L. de Walque remercient le Fonds de la Recherche fondamentale et collective pour son soutien à cette recherche. L. de Walque bénéficiait d'un mandat d'Aspirant du Fonds national belge de la Recherche scientifique.

BIBLIOGRAPHIE

- Bal, M., 1975. Etude de l'extension de la minéralisation d'Heure-en-Famenne par la géochimie de surface. Mémoire de fin d'études de licencié en sciences géologiques et minéralogiques, Université de Louvain, inédit, 27 pp.
- Beales, F.W. et Jackson, B.A., 1966. Precipitation of lead-zinc ores in carbonate reservoirs as illustrated by Pine Point ore field Canada. Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B : Appl. earth sci.), 75 : 278-285.
- Charollais, J. et Davaud, E., 1976. Microfaciès et ordinateur. Technip, Paris, 225 pp.
- Chaudry, I.A. et Cornfield, A.H., 1966. Determination of sulfide in water-logged soils. Plant and Soil, 25 : 474-477.
- Coen, M., 1974. Le Frasnien de la bordure orientale du bassin de Dinant. Ann. Soc. géol. Belg., 97 : 67-103.
- Dejonghe, L. et Bouckaert, J., 1978. Présence d'un exoclaste de nature ignée dans les schistes noduleux frasnien à Nettinne (Province de Namur). Ann. Soc. géol. Belg., 100 : 103-113.
- Dekeyser, A., 1977. Etude d'un profil superposé, riche en plomb et en zinc, situé à l'aplomb de l'ancienne exploitation minière de Heure. Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome, Université de Louvain, inédit, 42 pp.
- de Walque, L., 1974. Etude lithostratigraphique et pédogéochimique au voisinage de l'ancienne exploitation minière de Heure-en-Famenne. Mémoire de fin d'études de licencié en sciences géologiques et minéralogiques, Université de Louvain, inédit, 75 pp.
- de Walque, L., Bouckaert, J. et Martin, H., 1976. Géochimie de surface du Paléozoïque de Belgique. III. Plomb, zinc et fer au voisinage de l'ancienne exploitation minière de Heure-en-Famenne. Prof. Paper, Serv. Géol. de Belgique, 1 : 34 pp.
- Graf, D.L., 1960. Geochemistry of carbonate sediments and sedimentary carbonate rocks. Part. 3 : Minor element distribution. Circ. III. St. geol. Surv., 301 : 71 pp.
- Ineson, P.R., 1969. Trace-element aureoles in limestone wallrocks adjacent to lead-zinc-barite-fluorite mineralization in the northern Pennine and Derbyshire ore fields. Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B : Appl. earth sci.), 78 : 29-40.
- Ineson, P.R., 1970. Trace-element aureoles in limestone wallrocks adjacent to fissure veins in the Eyam area of the Derbyshire ore field. Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B : Appl. earth sci.), 79 : 238-245.

International Symposium on Belgian Micropaleontological Limits, 1974.
Namur, 1-10 september 1974, Guidebook edited by J. Bouckaert & M. Streeel,
Bruxelles.

Jones, R.F., Gale, P., Hopkins, P. et Powell, L.N., 1966. Modification of a
simple and rapid titrimetric method for the determination of carbon in iron
and steel. *Analyst*, 91 : 399-400.

Müller, G., 1967. *Methods in sedimentary Petrology*. Hafner Publishing Cie,
New-York, London.

Pinta, M. et al., 1971. *Spectrométrie d'absorption atomique. Applications
à l'analyse chimique*. Masson et Cie, O.R.S.T.O.M., 793 pp.

Sinclair, A.J., 1974. Selection of threshold values in geochemical data
using probability graphs. *J. Geochem. Explor.*, 3 : 129 - 149.

Treuil, M., Faucherre, J. et Macquar, J.C., 1970. Contribution à l'étude du
comportement géochimique de quelques éléments métalliques dans la sédimen-
togenèse. *Mineral. Deposita (Berl.)*, 5 : 1-22.

Tsien, H.H., 1974. Paleoeology of Middle Devonian and Frasnian in Belgium.
Int. Symp. Belg. Micropal. Limits, Namur, September 1974, pub. n°12, 53 pp.,
Edited by J. Bouckaert & M. Streeel.

Vinogradov, A.P., 1956 (1960). Regularity of distribution of chemical ele-
ments in the earth's crust. *Geochemistry, Wash.*, 1 : 1-43.

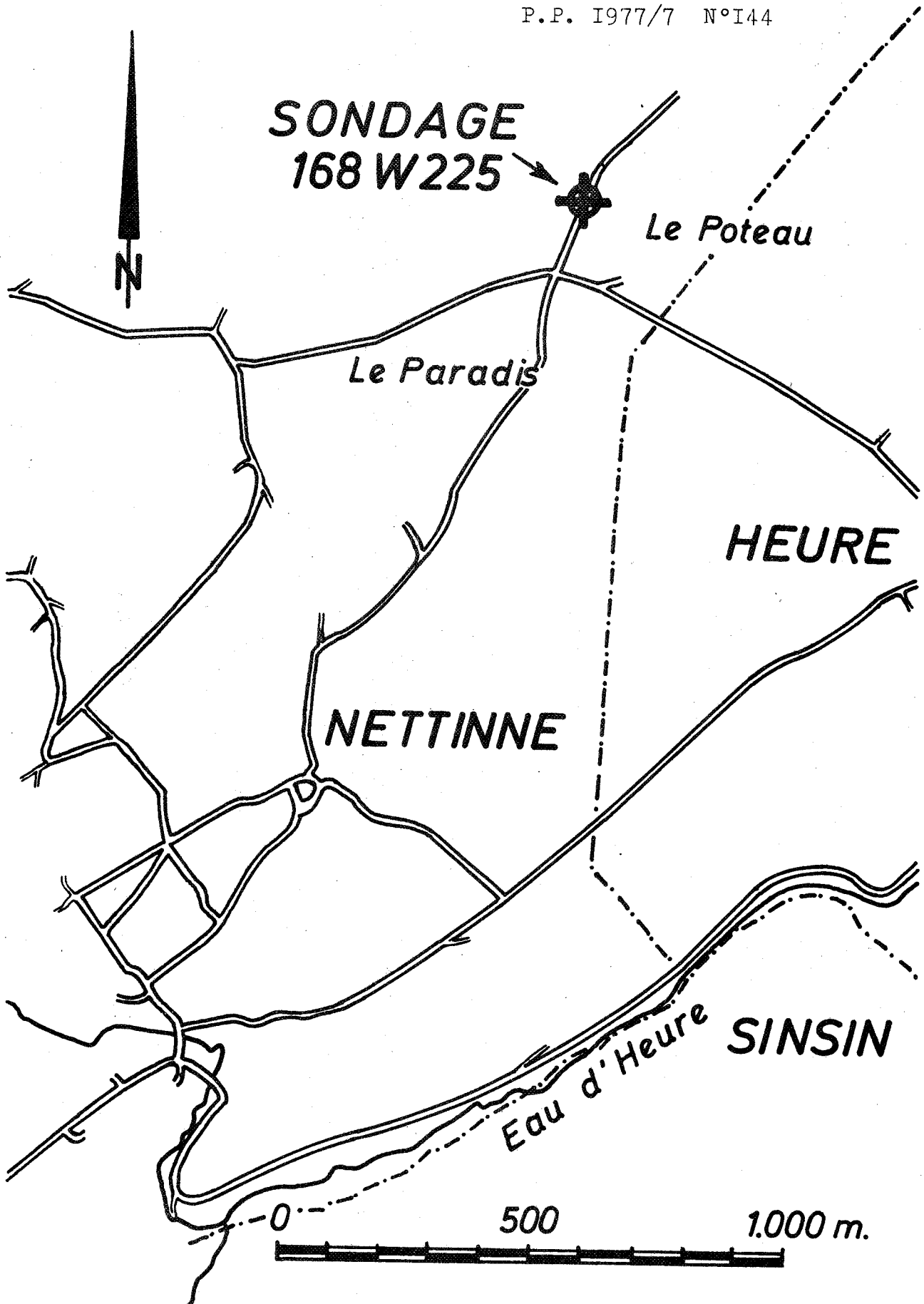


FIG.1 PLAN DE SITUATION

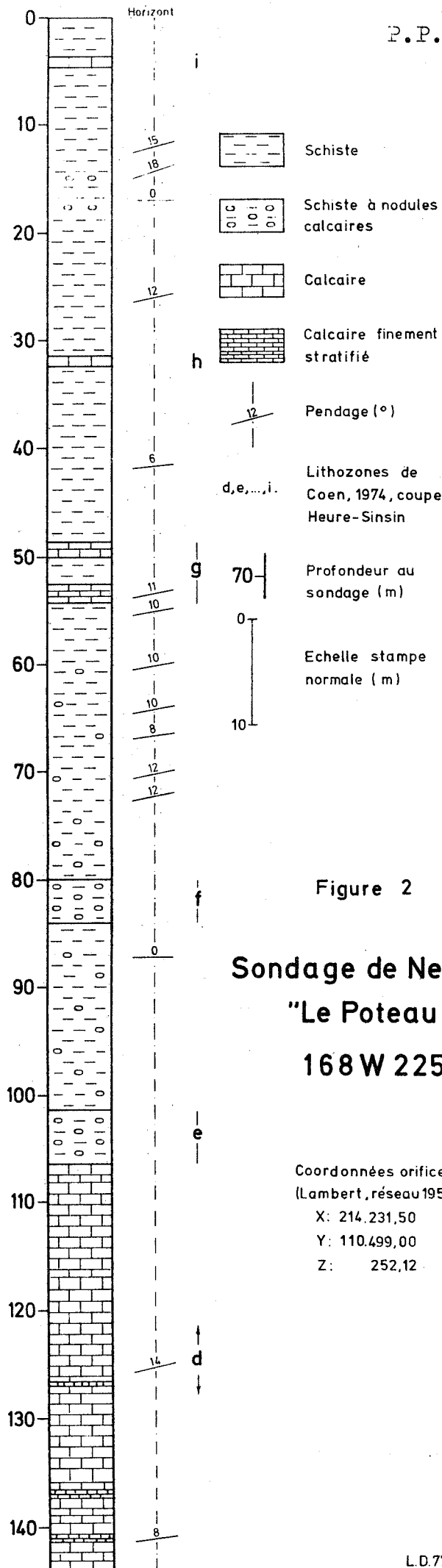


Figure 2

Sondage de Netinne
"Le Poteau"
168 W 225

Coordonnées orifice
(Lambert, réseau 1951)
X: 214.231,50
Y: 110.499,00
Z: 252,12

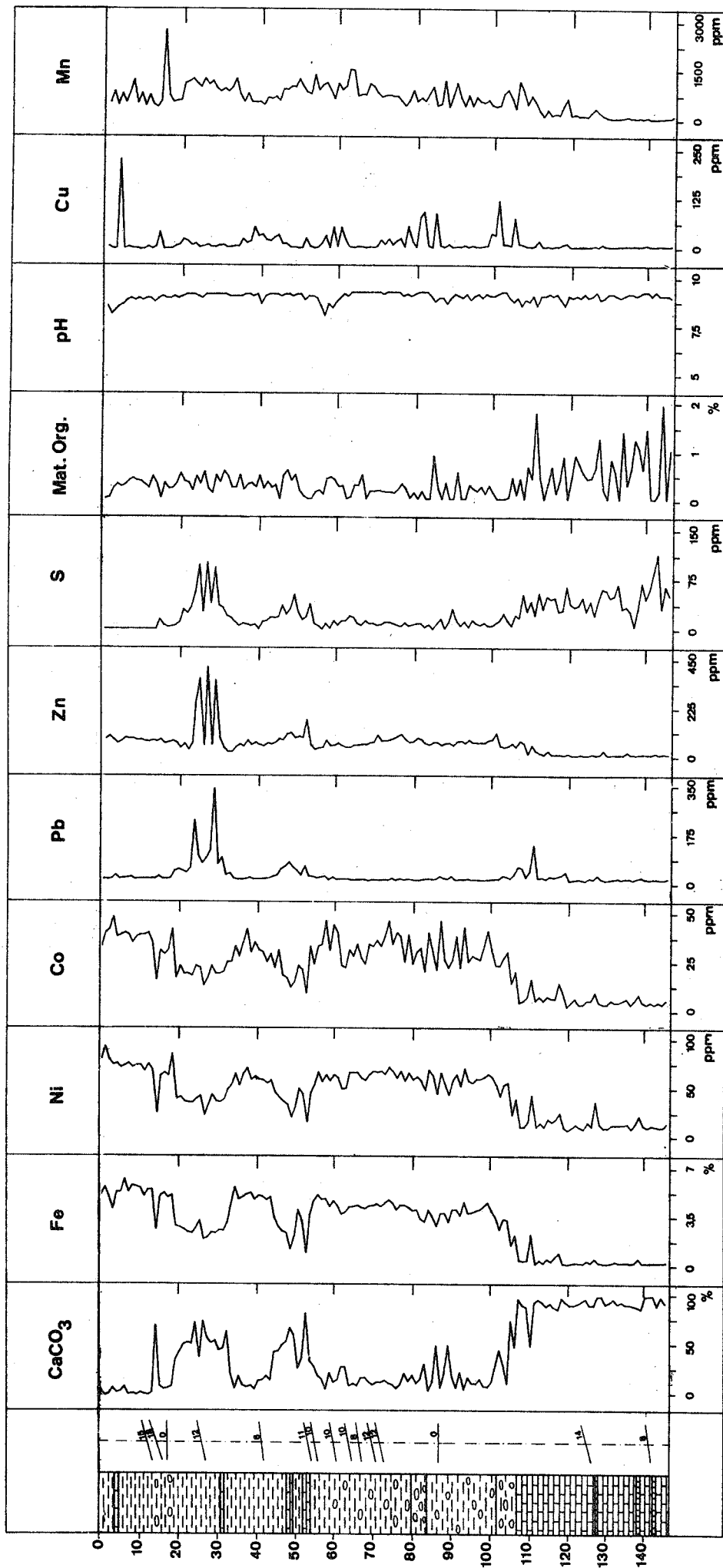


Fig. 3 Logs géochimiques (valeurs brutes)

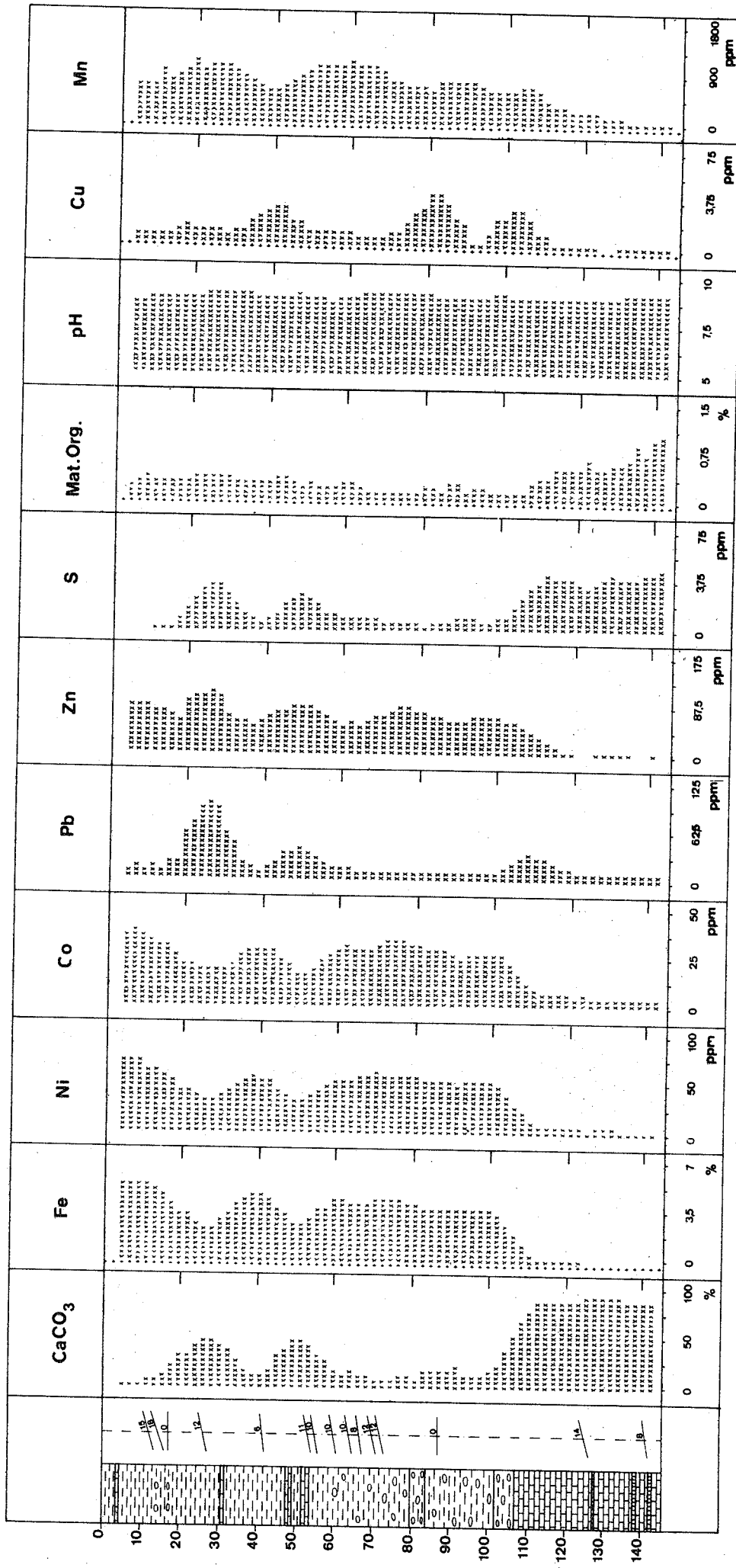


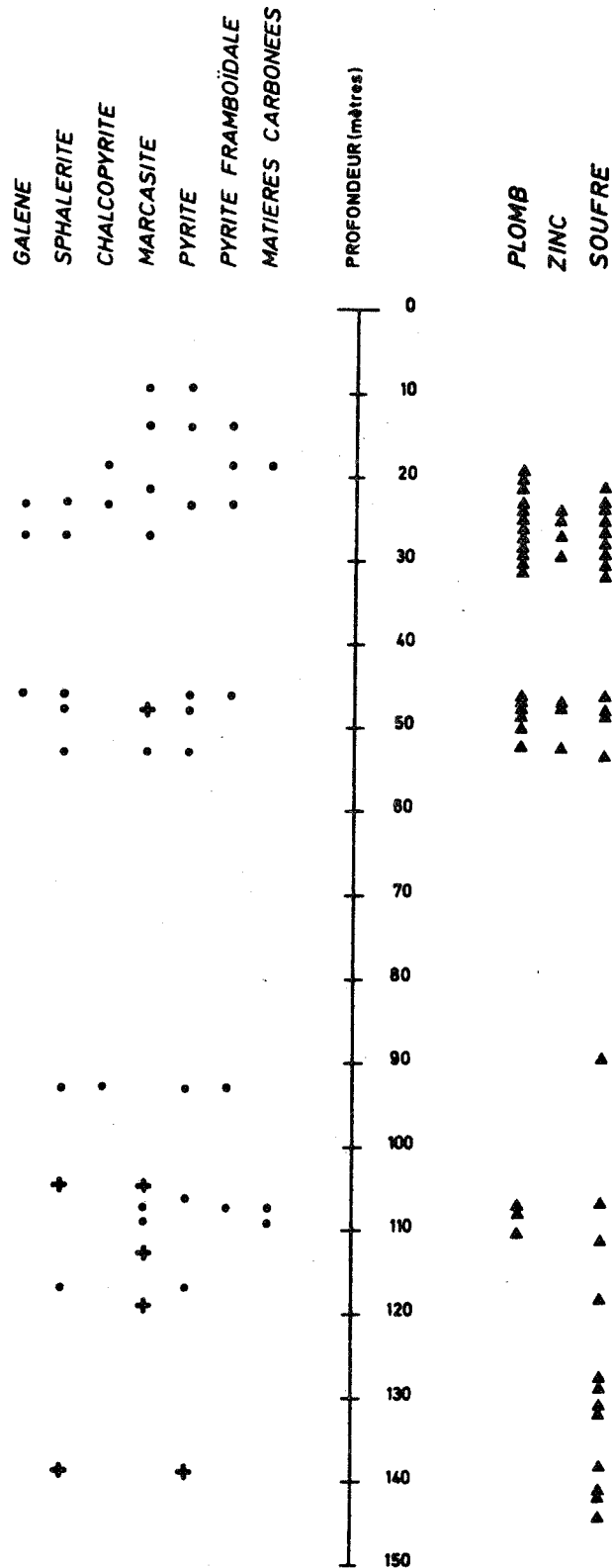
Fig. 4 Logs géochimiques (valeurs lissées)

SONDAGE DE NETTINNE

"LE POTEAU"

168W 225

P.P. I977/7
N° I44



- ▲ Anomalies géochimiques
- Minéraux dans roches sédimentaires
- ✦ Minéraux dans veinules de calcite

Figure 5 MINERALOGIE - GEOCHIMIE