

Mémoires pour servir à l'Explication
des Cartes Géologiques et Minières
de la Belgique
Mémoire N° 23

Toelichtende Verhandelingen
voor de Geologische en Mijnkaarten
van België
Verhandeling N° 23

**Lithogéochimie des sédiments de plate-forme
déposés au Sud du Massif du Brabant (Belgique)
pendant le Mésodévonien et le Frasnien**

par
L. DEJONGHE

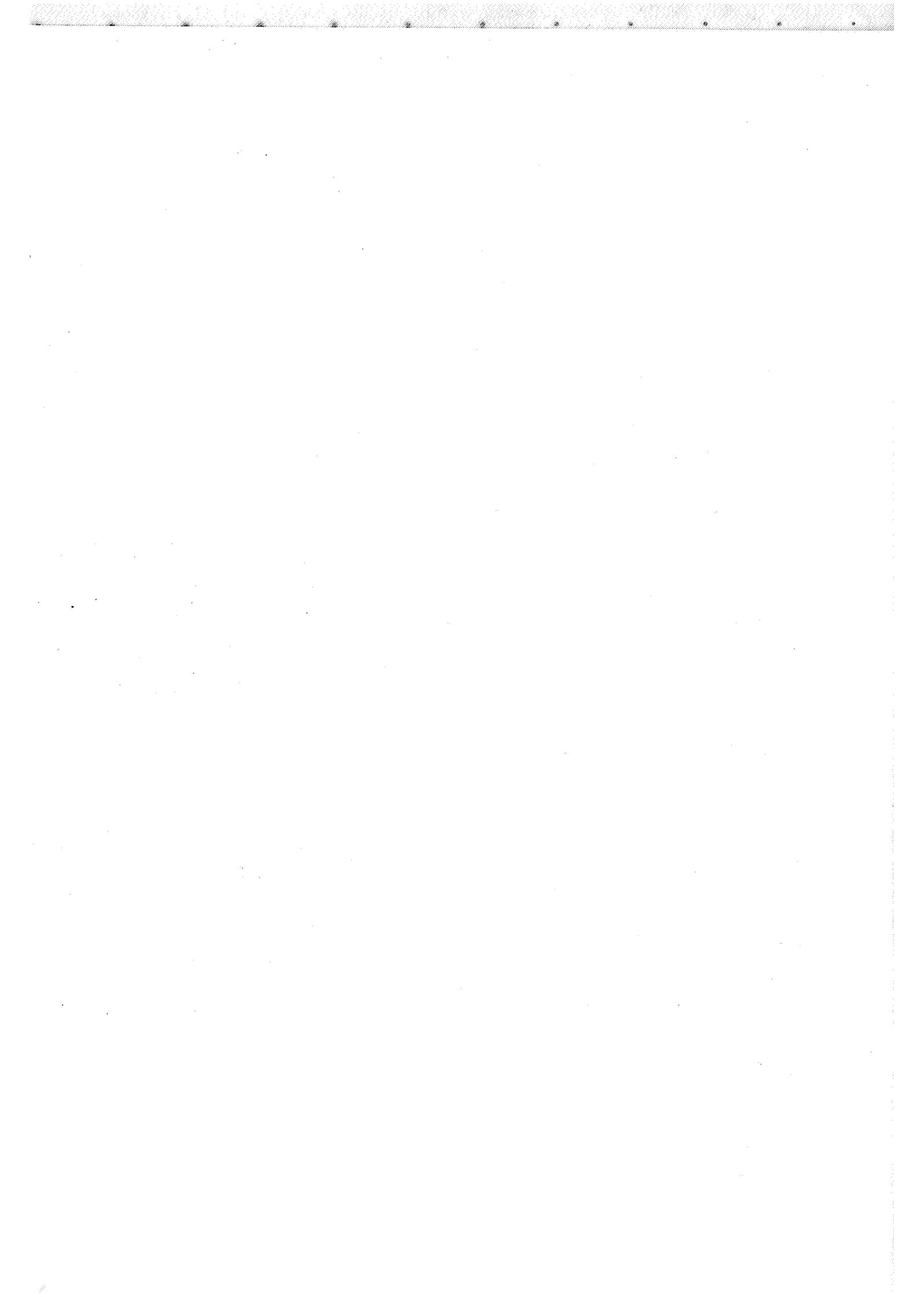
MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES
ADMINISTRATION DES MINES

Service Géologique de Belgique
13, rue Jenner
1040 BRUXELLES

MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN
BESTUUR VAN HET MIJNWEZEN

Belgische Geologische Dienst
13, Jennerstraat
1040 BRUSSEL

Mém. Expl. Cartes Géologiques et Minières de la Belgique	1987	N° 23	147 p. blz.	23 fig. 12 tabl.
Toelicht. Verhand. Geologische en Mijnkaarten van België				



A. Introduction	6
B. Description des formations échantillonnées	7
C. Présentation et dépouillement des données	9
<i>C.1. Mise en évidence des tendances géochimiques</i>	9
<i>C.2. Mise en évidence de niveaux stratigraphiques géochimiquement anormaux</i>	9
D. Repérage des anomalies d'origine anthropique	11
E. Traitement des données	15
<i>E.1. Contrôle lithologique des fonds géochimiques</i>	19
<i>E.2. Paramètres de distribution et matrices de coefficients de corrélation</i>	19
<i>E.3. Analyse factorielle</i>	27
<i>E.4. Mise en évidence de gradients géochimiques régionaux</i>	27
F. Conclusions	31
G. Annexes	32
<i>G.1. Profils géochimiques</i>	32
<i>G.1.a. Mode d'échantillonnage et d'analyse</i>	32
<i>G.1.b. Mode de représentation</i>	33
<i>G.2. Paramètres de distribution et matrices de coefficients de corrélation</i>	134
H. Bibliographie	146

TABLE DES FIGURES

- Figure 1. Localités citées dans le texte - Ensemble de la Belgique.
- Figure 2. Localités citées dans le texte - Synclinorium de Verviers.
- Figure 3. Synclinorium de Verviers. Formations lithostratigraphiques et assises chronostratigraphiques correspondantes.
- Figure 4. Reconstitution palinspastique des formations givéto-frasnienne dans le synclinorium de Verviers.
- Figure 5. Position et nature des principales anomalies lithogéochimiques.
- Figure 6. Prayon. Position d'un sondage court par rapport à la surface topographique.
- Figure 7. Prayon. Evolution des teneurs en Zn dans un sondage court.
- Figure 8. Trooz. Position d'un sondage court par rapport à la surface topographique.
- Figure 9. Trooz. Evolution des teneurs en CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃ et Zn dans un sondage court.
- Figure 10. Diagrammes de corrélations binaires. Représentation ponctuelle. Corrélations positives et fortes dans la plupart des cas.
- Figure 11. Diagrammes de corrélations binaires. Représentation ponctuelle. Corrélations faiblement positives ou nulles dans la plupart des cas.
- Figure 12. Diagrammes de corrélations binaires. Représentation linéaire, lissée.
- Figure 13. Evolution des teneurs en Ba en fonction de la lithologie.
- Figure 14. Evolution des teneurs en Fe en fonction de la lithologie.
- Figure 15. Evolution des teneurs en Mn en fonction de la lithologie.
- Figure 16. Evolution des teneurs en Sr en fonction de la lithologie.
- Figure 17. Evolution des teneurs en Pb en fonction de la lithologie.
- Figure 18. Evolution des teneurs en Cu en fonction de la lithologie.
- Figure 19. Evolution des teneurs en Zn en fonction de la lithologie.
- Figure 20. Représentation graphique des résultats des analyses factorielles en mode R et en composantes principales appliquées à 4 populations différentes.
- Figure 21. Variation géographique des fonds géochimiques (moyennes géométriques) dans les calcaires purs.
- Figure 22. Variation géographique des fonds géochimiques (moyennes géométriques) dans les dolomies et les shales.
- Figure 23. Symboles utilisés dans les colonnes lithostratigraphiques des profils géochimiques.

TABLE DES TABLEAUX

- Tableau 1. Extractions sélectives effectuées sur 3 échantillons de shales carbonatés.
- Tableau 2. Répartition lithologique des échantillons anomaux.
- Tableau 3. Coefficients de corrélation relatifs au Ba.
- Tableau 4. Coefficients de corrélation relatifs au Fe.
- Tableau 5. Coefficients de corrélation relatifs au Mn.
- Tableau 6. Coefficients de corrélation relatifs au Sr.
- Tableau 7. Coefficients de corrélation relatifs au Pb.
- Tableau 8. Coefficients de corrélation relatifs au Cu.
- Tableau 9. Coefficients de corrélation relatifs au Zn.
- Tableau 10. Limites de détection.
- Tableau 11. Liste des coupes et sondages échantillonnés pour profils géochimiques.
- Tableau 12. Seuils de coupure en Zn, Pb, Cu, Ba pour chaque population sélectionnée.

LITHOGEOCHIMIE DES SEDIMENTS DE PLATE-FORME DEPOSES AU SUD DU MASSIF DU BRABANT (BELGIQUE) PENDANT LE MESODEVONIEN ET LE FRASNIEN

par

L. DEJONGHE*

ABSTRACT.- In order to precise the geochemical evolution of the platform sediments deposited south of the Brabant massif during the Mesodevonian and the Frasnian, a lithogeochemical strategic prospection has been undertaken at the Geological Survey of Belgium. This one has been realized from 1980 to 1984, mainly into the Verviers synclinorium. On the whole, 1133 samples from 25 localities (outcrops and drillholes) have been analyzed for 27 elements. For each section, the results have been plotted against the stratigraphical column. It has permitted the visualization of the evolution of the geochemical background and the characterization of anomalous stratigraphical levels. Lastly, the establishment of diagrams of binary correlations has confirm the lithological control of some of the elements. Then, in the case of the background samples, and for some populations selected on the base of the age and the nature of the country rocks, various parameters of distribution have been calculated as well as the relevant matrix of correlation coefficient. A treatment of all the data by factor analysis has also been realized in complement of the others statistical treatments. Lastly, for all the lithostratigraphical formations and for the main types of rocks, the backgrounds (geometric means) have been calculated into each locality and mapped with the aim to define eventual regional geochemical gradients.

RESUME.- Dans le but de préciser l'évolution géochimique des sédiments de plate-forme déposés au S du massif de Brabant pendant le Mésodévonien et le Frasnien, une prospection lithogéochimique stratégique a été entreprise au Service géologique de Belgique. Elle a été conduite de 1980 à 1984, principalement dans le synclinorium de Verviers. Au total, 1133 échantillons répartis sur 25 coupes (affleurements et sondages) ont été analysés par fluorescence X pour 27 éléments. Pour chaque coupe, les résultats des analyses ont été reportés en regard de la colonne lithostratigraphique correspondante ce qui a permis la visualisation des tendances d'évolution du fond géochimique et la mise en évidence de niveaux stratigraphiques géochimiquement anomaux. En phase finale, toutes les données ont fait l'objet de traitements statistiques. Tout d'abord, l'établissement de diagrammes de corrélations binaires a confirmé le contrôle lithologique de certains éléments. Ensuite, dans les cas des échantillons de fond géochimique et pour certaines populations sélectionnées par l'âge et la nature des roches encaissantes, on a calculé divers paramètres de distribution et les coefficients de corrélations correspondants. Un traitement des données par analyse factorielle a aussi été utilisé en complément des autres traitements statistiques. Enfin, au sein de chaque formation lithostratigraphique et pour les types de roches les plus représentatifs, les fond géochimiques (moyennes géométriques) ont été calculés en chaque localité et cartographiés en vue de la mise en évidence de gradients géochimiques régionaux éventuels.

(*) Service géologique de Belgique, 13, rue Jenner, 1040 Bruxelles et Université libre de Bruxelles, Faculté des Sciences, 50 avenue F.D. Roosevelt, 1050 Bruxelles.

A.- INTRODUCTION

«Il semble que, dans le domaine sédimentaire, l'étude d'un étage déterminé et les liaisons éventuelles entre les caractères sédimentologiques et métallogéniques qui peuvent apparaître puissent permettre d'espérer définir des critères permettant d'établir des cartes prévisionnelles. C'est aussi dans le domaine sédimentaire, que la teneur en élément trace (généralement élément mineur) peut permettre de faire des corrélations parallèlement aux techniques usuelles pétrographiques, paléontologiques, palynologiques, etc.»

(Granier, 1973, p. 46).

Ces propos, à la fois prudents et chargés d'espoir, d'un spécialiste de la prospection géochimique des gîtes métallifères, traduisent le fait que les prospections géochimiques dans les roches en place n'ont été utilisées que récemment par rapport aux prospections géochimiques dans l'atmosphère, les eaux, les végétaux, les sols et les alluvions.

En Belgique, outre des thèses et des rapports à diffusion restreinte, les premières publications dans le domaine de la lithogéochimie des roches sédimentaires paléozoïques sont apparues vers 1980. Citons :

- pour le Dinantien : Van Orsmael *et al.* (1980); Swennen & Viaene (1981); Swennen *et al.* (1982a, b);
- pour le Famennien : Dreesen & Thorez (1982);
- pour le Frasnien : de Walque *et al.* (1977); Dejonghe & de Walque (1981);
- pour le Givetien : Herbosch *et al.* (1983); Préat *et al.* (1983).

Le présent travail montre les résultats d'une prospection lithogéochimique stratégique conduite de 1980 à 1984 en vue de préciser l'évolution géochimique des sédiments de plate-forme déposés au S du massif du Brabant pendant le Mésodévonien et le Frasnien. Les résultats ont été intégrés à une étude métallogénique du synclinorium de Verviers (1) effectuée dans le cadre d'une thèse de doctorat d'état ès sciences naturelles

(1) Pour la définition du synclinorium de Verviers, voir Graulich *et al.* (1984). Rappelons qu'il se compose de trois sous-unités tectoniques : le massif de Herve, le massif de la Vesdre et la fenêtre de Theux.



FIG. 1.- Localités citées dans le texte - Ensemble de la Belgique.

soutenue le 5 juillet 1985 à l'Université Pierre et Marie Curie - Paris 6 (Dejonghe, 1985). La prospection a été réalisée principalement dans le synclinorium de Verviers (une vingtaine de coupes, affleurements et sondages), mais également dans les synclinoria de Namur (4 coupes) et de Dinant (1 coupe) en se fixant les objectifs suivants :

1. mesurer les fonds géochimiques de roches de compositions lithologiques et d'âges différents;
2. rechercher des gradients géochimiques éventuels au sein des différentes formations;
3. vérifier si la minéralisation sédimentaire de Chaudfontaine (Dejonghe, 1979) se prolonge latéralement par une anomalie et, le cas échéant, en préciser l'ampleur et l'extension;
4. mettre en évidence les anomalies situées à d'autres niveaux stratigraphiques que celui de la minéralisation de Chaudfontaine.

Tous les noms de localités citées dans cette étude sont positionnés sur les figures 1 ou 2 selon qu'ils appartiennent (fig. 2) ou non (fig. 1) au synclinorium de Verviers.

B. DESCRIPTION DES FORMATIONS ECHANTILLONNEES

Les formations échantillonnées coïncident avec une grande transgression marine qui s'est établie pendant le Mésodévonien et le Frasnien en périphérie du massif du Brabant. Elle a succédé à une transgression éodévonienne au cours de laquelle se sont déposées des formations essentiellement détritiques grossières.

La stratigraphie du Mésodévonien et du Frasnien des synclinoria de Namur et de Verviers a été étudiée en détail par Lacroix (1972), Coen-Aubert (1974) et Coen-Aubert & Lacroix (1979).

Toutes les interprétations stratigraphiques des affleurements et sondages échantillonnés reposent sur les travaux de ces auteurs.

La minéralisation de Chaudfontaine étant située dans le synclinorium de Verviers, c'est à cet endroit que tout l'effort de prospection a été concentré. En outre, au flanc S du synclinorium de Namur, les affleurements sont rares et, en général, de mauvaise qualité. Par contre, dans le synclinorium de Verviers, on bénéficie d'affleurements de meilleure qualité, plus nombreux, ainsi que de sondages. Les meilleures conditions d'observation y permettent également une meilleure vision de l'évolution des dépôts qui a conduit Cnudde *in* Dejonghe *et al.* (1982) à proposer des modèles d'évolution paléogéographique pour les diverses formations mésodévoniennes et frasnien. La brève description lithologique des formations échantillonnées dans le synclinorium de Verviers qui est présentée ci-après est d'ailleurs inspirée de ce travail. En commençant par la formation la plus ancienne et en évoluant vers des formations de plus en plus jeunes, on distingue (fig. 3) :

1) Formation de Naninne

Elle se compose d'un conglomérat de base surmonté de shales rouges et parfois, verts. Cette formation n'existe pas au NW de Colonster ni dans les sondages de Soumagne et Bolland. Elle atteint 18 m à Sainval, environ 30 m à Prayon, 52 m à Trooz et 130 m dans le sondage d'Ensival.

2) Formation de Nèvremont

La lithologie de cette formation évolue d'W en E. Jusqu'à Prayon, elle est essentiellement terrigène (gréseuse avec des niveaux conglomératiques). A partir de Trooz, Hony et Tilff, une phase carbonatée surmonte la phase terrigène. Dès Goffontaine, la série carbonatée peut être subdivisée en une série basale à faciès lagunaire et une

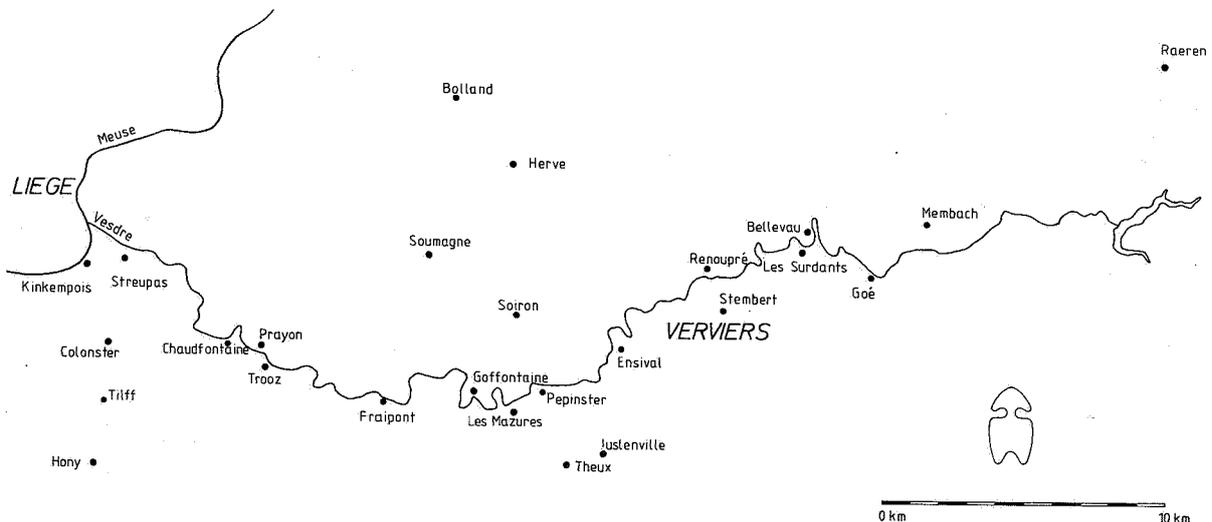


FIG. 2.- Localités citées dans le texte - Synclinorium de Verviers.

SYNCLINORIUM DE VERVIERS					
CHRONOSTRATIGRAPHIE		FORMATIONS			
	Sigles	Litho	Epaisseurs(m)		
Devonien supérieur	Famennien	Fafa		Famenne	
	Frasnien	F3		30-70	Matagne
		F2ij		40-120	Aisemont
		F2gh		0-140	Lustin
		F2ef			
		F2cd			
		F2ab		0-4	Presles
Devonien moyen	Givetien	F1b		0-90	Roux
		F1a		4-90	Nèvremont
	Gi bc				
	Gi a				
	Couvinien	Co		0-130	Naninne

FIG. 3.- Synclinorium de Verviers. Formations lithostratigraphiques et assises chronostratigraphiques correspondantes.

série sommitale à faciès biostromal localement envahie par de la dolomie. L'épaississement progressif d'W en E de la Formation de Nèvremont est essentiellement tributaire du développement de la phase carbonatée.

Cette formation atteint 4 m à Colonster, 23 m à Prayon, 40 m à Trooz, 60 m aux Mazures et environ 90 m à partir de Verviers.

3) Formation du Roux

Comme pour la Formation de Nèvremont, on constate que la Formation du Roux s'épaissit d'W en E. Elle est absente à Sainval et probablement à Colonster, Chaudfontaine et Prayon (à moins que les phases terrigènes des Formations de Nèvremont et du Roux ne soient confondues en ces localités). Elle apparaît nettement à Trooz et à Hony où elle est composée :

- d'une phase terrigène de base constituée de grès micacé, carbonaté, de plus en plus argileux vers l'E, avec passage au shale carbonaté (5 m à Trooz, 10 m à Hony, 4.5 m à Membach);

(2) Cette formation correspond à la formation dénommée «de Base» par Coen-Aubert & Coen (1975). En accord avec Coen-Aubert, j'ai remplacé ce terme par un autre (Presles) sans connotation génétique.

(3) Les termes biostrome et bioherme sont utilisés conformément aux définitions de Bissel & Chilingar (1967, p. 152): «*biostrome*: a term for stratiform deposits, such as shell beds, crinoid beds, and coral beds, consisting of, and built mainly by, organisms or fragments of organisms (mostly sedentary), and not swelling into mound like or lenslike form; *bioherm*: an organic reef or mound built by corals, stromatoporoids, gastropods, echinoderms, Foraminifera, pelecypods, brachiopods, Algae, and other organisms. It is a reef, bank, or mound that is reeflike, moundlike, lenslike or an otherwise circumscribed structure of strictly organic origin, embedded in rocks of different lithology».

- d'une série carbonatée, calcaire à la base et dolomitique au sommet jusqu'à Ensival, principalement dolomitique à Renoupré et aux Surdants, enfin, à alternances calcaires et dolomitiques à l'E des Surdants (11.5 m à Trooz, 85 m à Membach).

4) Formation de Presles (2)

Elle est partout présente dans le massif de la Vedre. Aux environs et à l'E des Mazures, elle débute par un banc de shale à hématite oolithique. A Trooz, un calcaire dolomitique à oolithes brisées se substitue au faciès argileux. Elle est souvent limitée à 2 m d'épaisseur (à Membach, où elle est la plus épaisse, elle atteint 4 m).

5) Formation de Lustin

Elle consiste en calcaire à débris récifaux (Stromatopores, Hexagonarias - faciès biostromal (3)) alternant avec des calcaires subnoduleux organoclastiques. Dans la partie supérieure, du calcaire finement grenu domine (faciès sublagunaire). Elle subit également une augmentation d'épaisseur vers l'E (n'existe pas dans le sondage de Bolland, 3 m dans le sondage de Soumagne, environ 35 m dans les sondages de Chaudfontaine, 55 m à Colonster, 60 m à Trooz, 70 m à Tilff, 80 m aux Surdants, environ 140 m à Goé et Membach).

6) Formation d'Aisemont

Cette formation est caractérisée par l'apparition de polypiers du genre *Phillipsastraea*. On distingue deux niveaux biostromaux à *Phillipsastraea*: l'un à la base, l'autre au sommet (respectivement dénommés premier et deuxième biostrome à *Phillipsastraea*). Les faunes de ces biostromes sont parfois en place, mais le plus souvent, elles sont remaniées. Ces biostromes sont bien individualisés à l'W du bassin. Ils deviennent très argileux vers l'E et leur caractère biostromal disparaît dans cette direction. Entre ces deux biostromes, s'intercalent des shales. Toutefois, très localement (sondages de Chaudfontaine 134 E 303, 134 E 310, 134 E 396), les shales sont remplacés par un bioherme (3) de calcaire rouge et gris (peut-être ne s'agit-il cependant pas d'un seul bioherme, mais de plusieurs biohermes voisins). La minéralisation de Chaudfontaine se situe au sommet du deuxième biostrome à *Phillipsastraea*. L'épaisseur de la Formation d'Aisemont augmente vers l'E, mais de façon significative seulement à partir de Pépinster. Elle est d'environ 40 m à Streupas et Kinkempois, 42 m à Soumagne, 55 m à Chaudfontaine, 75 m à Bellevau et plus de 120 m à Raeren.

7) Formation de Matagne

Le Frasnien est clôturé par une formation à caractère pélitique largement dominant. Vers la base, on trouve cependant un épisode corallien représenté par des calcaires noduleux rouges ou verts (troisième biostrome à *Phillipsastraea*). Celui-ci diffère sensiblement des deux premiers par son caractère argileux nettement plus marqué, par sa coloration rougeâtre fréquente jusqu'à Goé et par la présence de très gros crinoïdes. On ne le connaît pas dans le synclinorium de Namur. Par contre, il présente le faciès typique des récifs de marbre rouge F2j du bord S du synclinorium de Dinant (Coen-Aubert, 1974, p. 128). A l'extrémité occidentale du massif de la Vesdre, le troisième biostrome à *Phillipsastraea* repose directement sur le deuxième, mais à partir de Prayon, un niveau argileux les sépare et s'amplifie vers l'E. C'est dans la partie centrale du massif de la Vesdre, entre Pépinster et les Surdants, que ce troisième biostrome est le mieux individualisé. Dans le sondage de Soumagne, de l'anhydrite envahit irrégulièrement les trois biostromes à *Phillipsastraea*. Cet épisode évaporitique s'amplifie au début du Famennien. La formation de Matagne est épaisse de 12 m à Soumagne, 40 m dans les sondages de Chaudfontaine et Verviers, 55 m à Hony et environ 70 m aux Surdants et à Membach.

Dans le synclinorium de Verviers, toutes ces formations étant très peu diachrones, on peut leur assigner des limites chronostratigraphiques précises (fig. 3).

Une reconstitution palinspastique des formations giveto-frasnienues du synclinorium de Verviers a été réalisée par Cnudde *in* Dejonghe *et al.* (1982) (fig. 4). Ce bloc-diagramme montre que l'épaisseur de toutes les formations considérées diminue vers le NW. Ce biseautage par condensation des séries est dû, non pas à la proximité immédiate du continent (massif du Brabant), mais à celle d'une ride périphérique connue sous le nom de «ride de Booze - Le Val Dieu». Celle-ci a joué, durant le Dévonien et le Dinantien, tantôt le rôle haut-fond, tantôt le rôle d'île, tantôt le rôle de véritable barrière interrompant la communication entre les bassins ardennais et campinois (Kimpe *et al.*, 1978).

C. PRESENTATION ET DEPOUILLEMENT DES DONNEES

Tous les détails relatifs au mode d'échantillonnage et d'analyse sont décrits en annexe (§ G.1.a.). Précisons brièvement que les coupes et

sondages ont été échantillonnés à raison d'environ 1 échantillon par mètre. Les analyses ont été effectuées au Service géologique de Suède, par fluorescence X, sur une installation Rigaku de type Simultix VI permettant l'analyse simultanée de 27 éléments (au total : 1133 analyses). La numérotation des affleurements et des sondages est celle en vigueur au Service géologique de Belgique.

Pour chaque coupe, au fur et à mesure où ils ont été disponibles, les résultats des analyses ont été reportés en regard de la colonne lithostratigraphique correspondante (annexe : § G.1.b.). Cette visualisation immédiate des résultats a permis à chaque stade de la prospection :

- d'estimer l'ordre de grandeur des fonds géochimiques des éléments mineurs ou des traces en parfaite connaissance de la nature de la roche support;
- d'épingler les véritables anomalies et de les distinguer des anomalies apparentes liées à la nature de la roche support;
- de repérer les éléments qui covarient et ceux qui s'opposent;
- d'augmenter le nombre d'analyses là où le besoin s'en est fait sentir.

C.1. MISE EN EVIDENCE DES TENDANCES GEOCHIMIQUES

Les tendances géochimiques qui se dégagent sont les suivantes :

- dans les shales, très importante augmentation des teneurs en Na₂O, K₂O, P, Y, Rb, Zr, V, Ti, Cr, Co, Fe et Ba. D'une façon moins contrastée, on observe aussi une augmentation des teneurs en Ni, Zn et Cu;
- dans les dolomies et les shales, forte diminution des teneurs en Sr par rapport aux calcaires;
- dans les dolomies, nette augmentation des teneurs en Cl et Mn;
- quelle que soit la nature de roche, comportement énigmatique du S dont les variations ne peuvent que très rarement être rattachées à celles d'autres éléments.

C.2. MISE EN EVIDENCE DES NIVEAUX STRATIGRAPHIQUES GEOCHIMIQUEMENT ANOMAX

Les principales anomalies sont positionnées schématiquement à la figure 5. D'une façon générale, les niveaux correspondant à des arrêts et reprises de sédimentation ou/et à des variations lithologiques sont géochimiquement anomaux.

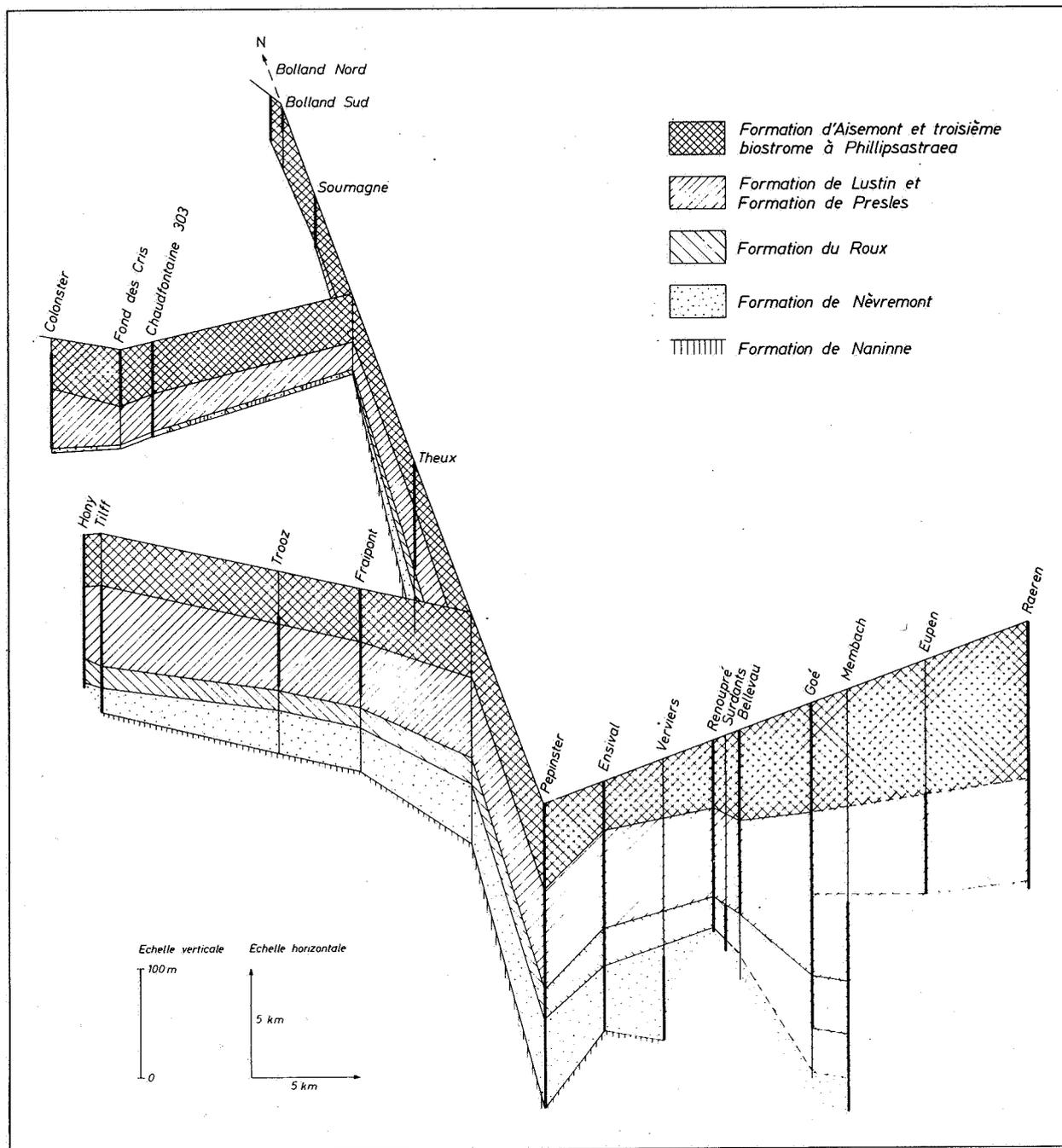


FIG. 4.- Reconstitution palinspastique des formations givéto-frasnienues dans le synclinorium de Verviers. Les traits verticaux épaissis correspondent aux coupes observées à l'affleurement ou en sondage (d'après Cnudde, in Dejonghe et al., 1982)

Parmi les plus caractéristiques, relevons :

- la formation de Presles et la base de la formation de Lustin :
 - à Colonster : fortes anomalies en Zn (jusqu'à 890 ppm) et en Pb (jusqu'à 2434 ppm);
 - à Trooz : fortes anomalies en Fe (jusqu'à 217600 ppm), Zn (jusqu'à 5335 ppm) et en Pb (jusqu'à 1260 ppm);
 - à Tilff : anomalies en Zn (709 ppm) et Ba (740 ppm);
 - quelle que soit la localité, dans la formation de Presles : anomalies en P.

- le sommet de la formation de Lustin et la base du premier biostrome à *Phillipsaeraea* :
 - à Chaudfontaine - sondage 134 E 303 : anomalie en Zn (190 ppm);
 - à Chaudfontaine - carrière du Fonds des Cris : fortes anomalies en Zn (jusqu'à 1360 ppm);
 - à Trooz : vers le sommet de la formation de Lustin, on note une tendance à l'augmentation des teneurs en Zn et Pb. A cet endroit, le premier biostrome est très peu épais (moins de 2 m). La distinction entre sa base et son sommet n'a pas beaucoup de sens. Il renferme une petite anomalie en Zn (350 ppm);
 - à Huccorgne : anomalies en Zn (382 ppm);
 - à Engis : anomalies en Zn (jusqu'à 469 ppm).
- le sommet du premier biostrome à *Phillipsaeraea* :
 - à Engis : anomalies en Ba (1085 ppm) et Zn (jusqu'à 568 ppm);
 - à Pépinster : anomalies en Zn (jusqu'à 1360 ppm);
 - à Trooz : sur une épaisseur stratigraphique de plus de 10 m, les shales qui surmontent le premier biostrome sont tous anomaux en Zn (jusqu'à 3210 ppm). La question d'une éventuelle pollution sera examinée au § D.;
 - à Fraipont : anomalies en Zn (1442 ppm), Pb (209 ppm) et Ba (750 ppm).
- le sommet du deuxième biostrome à *Phillipsaeraea* et la base du troisième biostrome à *Phillipsaeraea*, là où ils sont en contact ou séparés par un très faible intercalaire schisteux. Il s'agit du niveau qu'occupe la minéralisation des sondages 134 E 303, 134 E 310 et 134 E 396 de Chaudfontaine.
 - à Chaudfontaine - Les Thermes : anomalies en Cu (90 ppm), As (45 ppm), Pb (690 ppm) et Zn (2434 ppm);
 - à Chaudfontaine - Carrière du Fonds des Cris : anomalies en Zn (jusqu'à 430 ppm) et Pb (jusqu'à 330 ppm);
 - à Kinkempois : anomalies en Ba (jusqu'à 2041 ppm) et Cu (110 ppm) et augmentation du fond géochimique en Pb et Zn;
 - à Engis : anomalie en Zn (413 ppm);
 - à Colonster : anomalie en Zn (469 ppm);
 - à Hony : fond géochimique élevé en Pb (5 échantillons entre 80 et 150 ppm);
 - à Prayon : faibles anomalies en Pb (jusqu'à 120 ppm) et Zn (jusqu'à 333 ppm). En outre,

les shales qui surmontent le deuxième biostrome sont tous anomaux en Zn (jusqu'à 4683 ppm). La question d'une pollution sera examinée au § D.;

- aux Surdants - Renoupré : faible anomalie en Zn (320 ppm) dans le premier mètre qui surmonte le deuxième biostrome.

D. REPERAGE DES ANOMALIES D'ORIGINE ANTHROPIQUE

Le problème des fortes anomalies zincifères, éventuellement liées à une pollution industrielle, se pose à deux endroits : à Prayon, pour l'affleurement 135 W 406 situé à proximité immédiate d'une usine métallurgique et à Trooz, pour l'affleurement 135 W 295 situé à 2.5 km de la même usine. Rappelons qu'à Prayon, de fortes anomalies en Zn (jusqu'à 4683 ppm) ont été repérées dans les shales et calcaires noduleux qui surmontent le deuxième biostrome à *Phillipsaeraea*, tandis qu'à Trooz c'est dans les 10 m de shales qui surmontent le premier biostrome à *Phillipsaeraea* qu'abondent les anomalies en Zn (jusqu'à 3210 ppm). J'ai tenté de préciser l'origine de ces anomalies par des examens au microscope optique et à la microsonde, par des extractions chimiques sélectives et par des sondages courts.

Microscope optique

Dans les limites permises par le microscope optique, l'absence de sphalérite a été vérifiée tant en lumière transmise qu'en lumière réfléchie. En outre, aucun autre minéral porteur éventuel de Zn n'a été identifié.

Microsonde

Dans l'échantillon K24 (4683 ppm Zn) provenant de Prayon, à côté de faibles concentrations zincifères en taches diffuses, des concentrations plus importantes ont été repérées dans des structures linéaires, courtes (35 μm) et parallèles, correspondant probablement à des bâillements des feuillets de schistosité. Dans ceux-ci, la présence de Fe et Mn a été précisée par analyse spectrale. Les échantillons Z273 (1950 ppm Zn) et Z276 (3210 ppm Zn) prélevés à Trooz présentent des analogies avec celui de Prayon, mais celles-ci sont peu marquées.

Extractions sélectives

Cette méthode est basée sur l'extraction sélective de certaines phases minérales par des réactifs appropriés au cours d'une séquence analytique déterminée. La séquence utilisée dans ce travail est celle mise au point par Sondag (1981). Elle est rappelée ci-après :

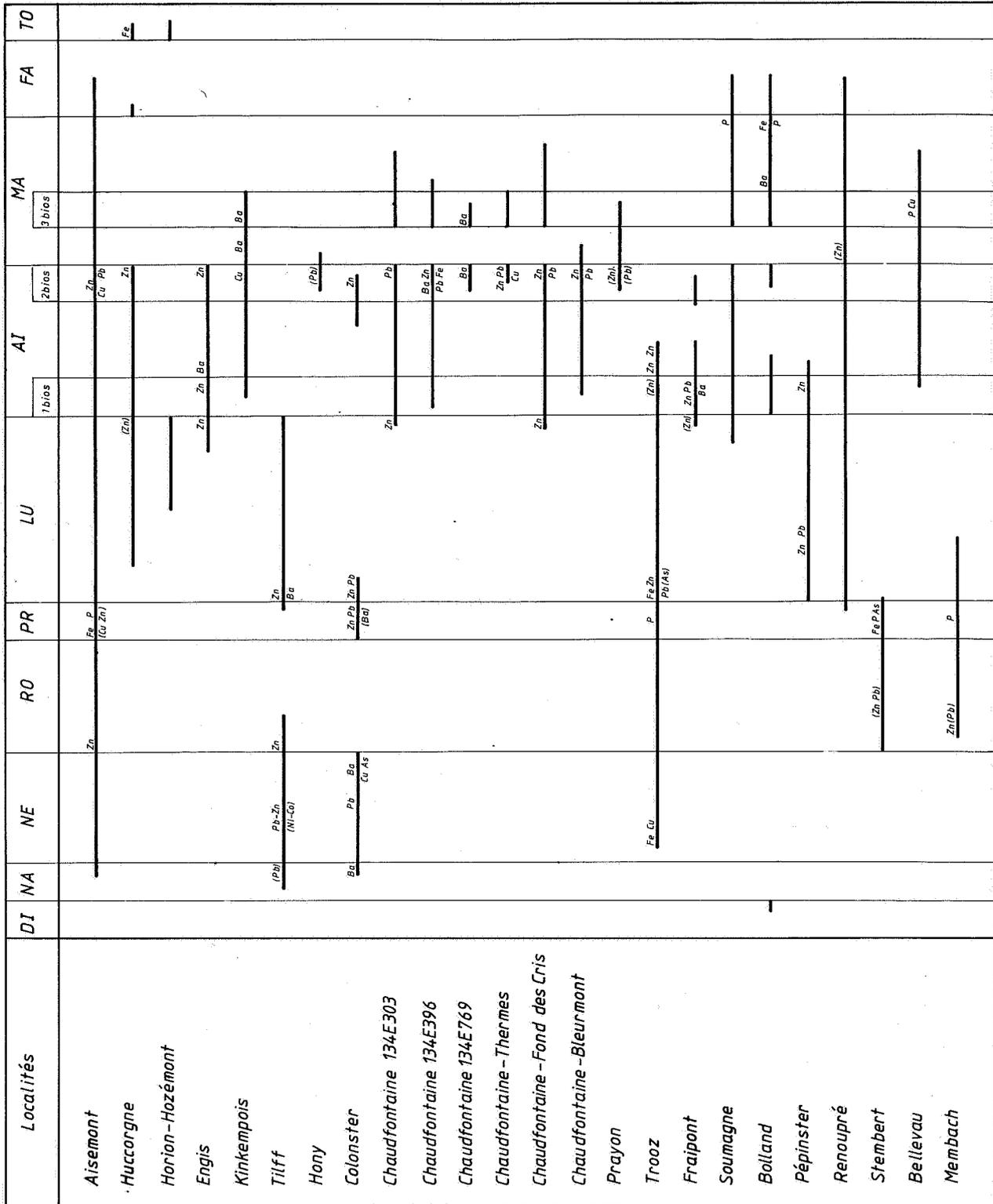


FIG. 5.- Position et nature des principales anomalies lithogéochimiques.

En trait plein, extension des coupes échantillonnées.

DI = Dévonien inférieur; NA = Naninne; NE = Nèvreumont; RO = Roux; PR = Presles; LU = Lustin; AI = Aisemont; MA = Matagne; FA = Famennien; TO = Tournaisien.

1. L'acétate d'ammonium (1M, pH 4.5) extrait les ions échangeables piégés entre les feuillets des argiles et dissout les carbonates, les phosphates et les sulfates formés en zone d'oxydation.
2. Le chlorhydrate d'hydroxylamine (0.1M, pH 4.5) dissout les oxydes de Mn.
3. Le peroxyde d'hydrogène (35 %) dissout les sulfures et la matière organique. A des pH 3-5, il dissout également des oxydes de Mn.
4. Le mélange d'oxalate d'ammonium (0.175 M, pH 3.3) et d'acide oxalique (0.1 M, pH 3.3) utilisé dans l'obscurité (réactif de Tamm, noir) dissout les oxydes de Fe amorphes.
5. Le mélange d'oxalate d'ammonium (0.175 M, pH 3.3) et d'acide oxalique (0.1 M, pH 3.3) utilisé sous un rayonnement ultra-violet (réactif de Tamm, U.V.) dissout les oxydes et hydroxydes de Fe et les oxydes de Mn qui n'ont pas été dissous par les réactifs précédents.
6. L'attaque triacide (HCl, HNO₃, HF) dans la proportion 3-2-1, dissout, outre les phases précédentes, les minéraux silicatés.

Les résultats des extractions sélectives effectuées sur trois échantillons dont deux en provenance de Prayon (K18 et K24) et un en provenance de Trooz (Z283) sont montrés au tableau 1. Le comportement des échantillons à ces traitements diffère nettement selon leur provenance. Echantillon Z283 : le Zn est très peu soluble (5 %) dans les extractions à l'acétate d'ammonium et au chlorhydrate d'hydroxylamine. Par contre, il est nettement plus soluble (67 %) dans les extractions au Tamm noir et au Tamm U.V. Echantillons K18 et K24 : une très grande partie de l'extraction du Zn (82 % pour K24 et 48 % pour K18) est réalisée dès les attaques à l'acétate d'ammonium et au chlorhydrate d'hydroxylamine.

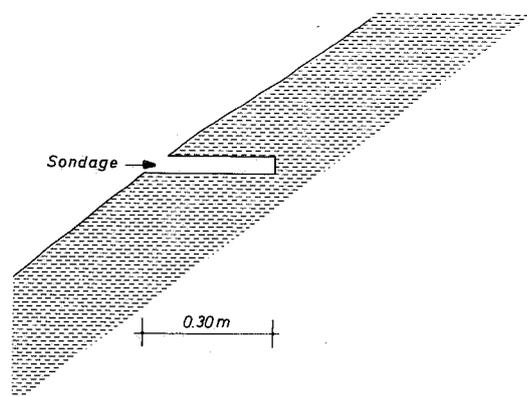


FIG. 6.- Prayon.
Position d'un sondage court par rapport à la surface topographique.

Sur ces bases, on peut conclure qu'à Prayon, le Zn se trouve sous une phase très soluble (peu fixée à l'échantillon ou carbonatée ou sulfatée) tandis qu'à Trooz, il est principalement lié aux oxydes et hydroxydes de Fe. Le Zn n'est donc pas piégé par les mêmes phases minérales dans les deux localités.

Sondages courts

Deux sondages courts ont été effectués sur chaque site à l'aide d'un matériel portatif.

Prayon : un sondage d'une trentaine de centimètres de profondeur a été effectué à flanc de coteau, dans une position subhorizontale, parallèlement à la stratification, dans les shales situés à environ deux mètres au-dessus du sommet du deuxième biostrome à *Phillipsastraea* (fig. 6).

Tableau 1.- Extractions sélectives effectuées sur 3 échantillons de shales carbonatés en provenance de Trooz (Z283) et de Prayon (K18 et K24). Les teneurs sont exprimées en % pour le Fe dans le Tamm noir, Tamm U.V., résidu et totaux, en ppm pour tous les autres éléments. Analyses effectuées au laboratoire de géochimie de l'Université de Louvain par H. Martin et F. Sondag.

Ech.	El.	Acet.	Hydr.	H ₂ O ₂	Tamm noir	Tamm U.V.	Résidu	Total extr.	Total acide
Z283	Zn	14	3	30	94	126	60	327	391
	Fe	475	341	1764	0.68	2.28	1.91	5.11	5.70
	Mn	261	< 1	3	15	54	124	457	574
K18	Zn	355	201	105	310	17	182	1170	1873
	Fe	174	596	1375	0.55	1.07	2.78	4.62	6.85
	Mn	103	613	4	20	12	139	891	1220
K24	Zn	2300	456	57	333	127	87	3360	3350
	Fe	910	397	1051	0.45	1.77	2.66	5.11	5.33
	Mn	833	508	3	18	43	127	1532	1965

La roche s'effritant et s'éboulant très facilement, ce sondage n'a pas pu être poussé plus profondément. Les résultats des analyses du Zn sont indiqués à la figure 7. On constate une nette et rapide décroissance des teneurs en Zn en fonction de la profondeur. En effet, à partir de 0.175 m de profondeur, c'est-à-dire à 10-15 cm sous la surface du sol, on retombe à des valeurs de fond géochimique. Le petit pic (427 ppm Zn) à 0.225 m de profondeur est probablement dû à une diaclase ayant permis une infiltration plus profonde des eaux de ruissellement. Dans le cas de Prayon, une pollution zincifère d'origine industrielle ne fait aucun doute.

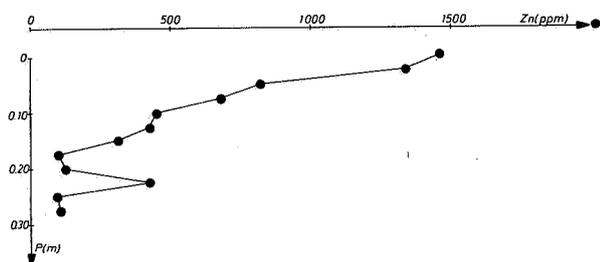


FIG. 7.- Prayon
Evolution des teneurs en Zn dans un sondage court.

Trooz : un sondage de 0.75 m de profondeur a été foré dans une paroi subverticale d'environ 2 m de haut bordant le ruisseau de Mosbeu. Ce sondage a été implanté dans une position subhorizontale, parallèlement à la stratification, à environ 2 m au-dessus du sommet du premier biostrome à *Phillipsastraea*, dans des shales parfaitement sains et cohérents qui ont autorisé un carottage de très bonne qualité jusqu'à la profondeur maximale (fig. 8). Cette fois, les teneurs en Zn, renseignées à la figure 9 à côté des teneurs en CaO, Al₂O₃ et Fe₂O₃, ne décroissent pas systématiquement avec la profondeur. Au contraire, elles évoluent en dents de scie, des valeurs nettement supérieures à celle de l'échantillon de surface apparaissant jusqu'à la profondeur de 0.725 m. Les variations des teneurs en CaO et Al₂O₃, d'ailleurs quasi symétriques, reflètent l'hétérogénéité du sédiment. L'origine du Fe des échantillons analysés est importante étant donné que les extractions sélectives montrent qu'à Trooz, le Zn est lié aux oxydes et hydroxydes de Fe. Les courbes de teneurs en Fe₂O₃ et Al₂O₃ variant systématiquement dans le même sens, il semble bien que ce Fe soit essentiellement d'origine lithologique. Mais les teneurs en Zn et en Fe n'évoluent pas toujours de la même façon, surtout pour les échantillons prélevés à plus de 0.60 m de profondeur.

A partir de ces observations, il est difficile de conclure à la présence d'une pollution industrielle à cet endroit. Je rappellerai que cette zone à anomalies zincifères ne correspond pas à un site d'accumulation des eaux de ruissellement. En outre, la figure 9 montre que les échantillons du fond du trou se situent en réalité à 1 m environ sous la véritable surface topographique, ce qui minimise d'autant plus les influences atmosphériques. Certes, dans des shales indurés, on ne peut

pas exclure la présence de diaclases profondes qui draineraient des eaux de ruissellement chargées en Zn. C'est pourquoi, on ne peut pas rejeter formellement l'hypothèse d'une pollution industrielle à cet endroit. Une étude des retombées en polluants métalliques et en fluor, conduite dans la région de Forêt - Prayon du 27.08.1979 au

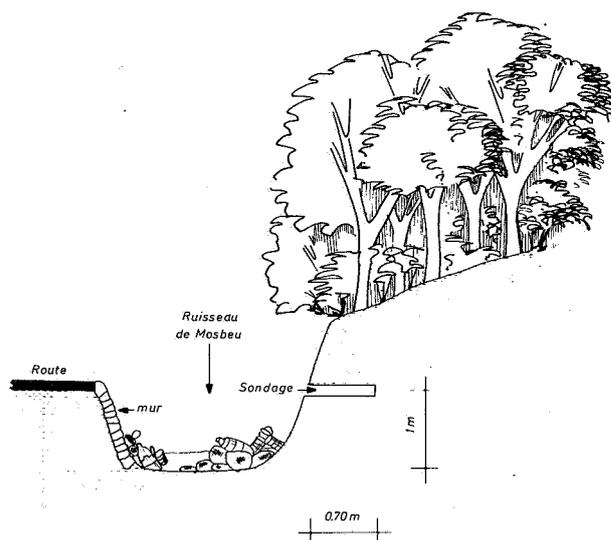


FIG. 8.- Trooz. Position d'un sondage court par rapport à la surface topographique (situation fortement schématisée).

28.07.1980 (Duhameau, non daté), a montré que pendant cette période toute la région de Forêt - Prayon était caractérisée par un faible niveau de retombées (en moyenne 130 mg/m³) qui est à peine plus élevé que celui observé aux stations blanches de l'Ardenne belge et, qu'en particulier, la pollution par Pb et Zn était strictement limitée aux environs immédiats de l'usine métallurgique. Cependant, les activités de cette usine ont varié en nature et en intensité dans le temps. Même si actuellement, l'affleurement de Trooz (135 W 295) se trouve en zone non polluée, il ne faut pas exclure l'hypothèse de sa situation en zone polluée dans le passé. Il est cependant étonnant de constater que les shales de l'affleurement d'Engis (133 E 96), qui eux se trouvent actuellement en zone polluée par Pb et Zn (Duhameau, non daté), ne sont absolument pas anormaux en ces éléments. Enfin, et c'est peut-être l'argument qui s'oppose le plus à l'idée d'une pollution zincifère à Trooz, Scheps & Friedrich (1981) ont signalé en Allemagne, exactement au même niveau stratigraphique, des anomalies zincifères atteignant 1000 ppm et se développant sur une épaisseur stratigraphique de 4 m.

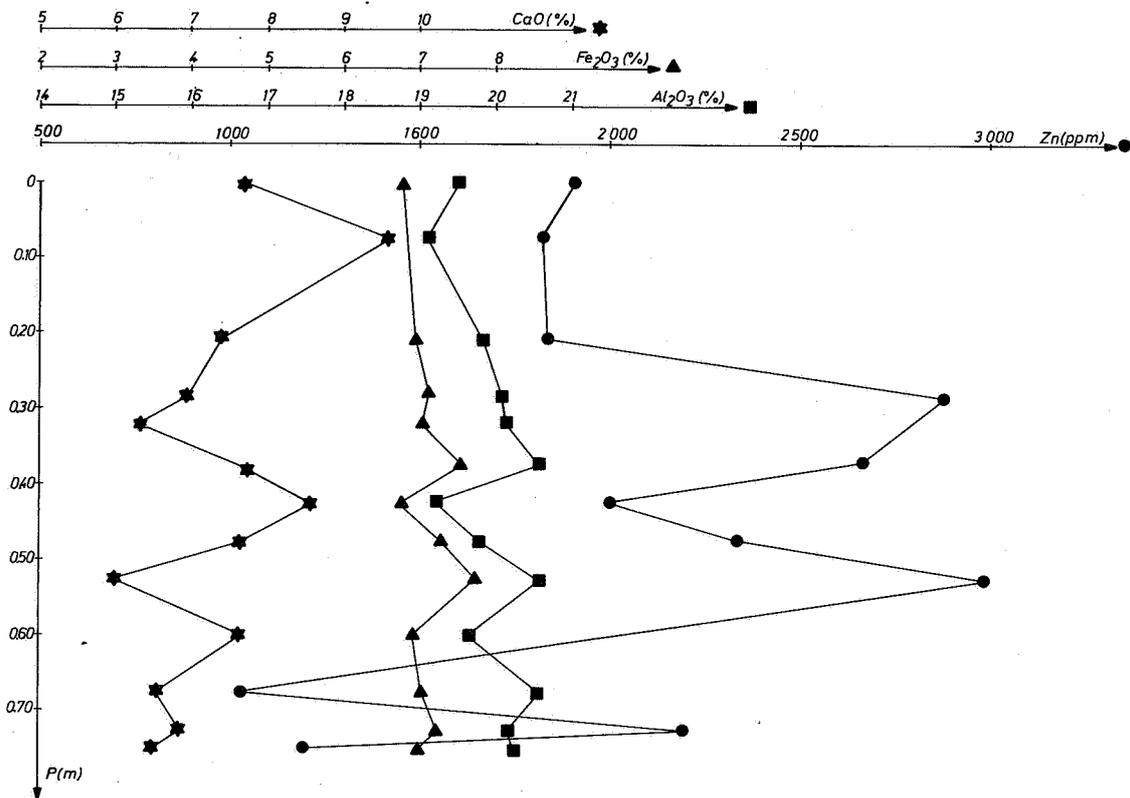


FIG. 9.- Trooz. Evolution des teneurs en CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃ et Zn dans un sondage court.

E. TRAITEMENT DES DONNEES

En phase finale, toutes les données, c'est-à-dire les 1133 échantillons analysés pour 25 éléments (4), moins les 12 échantillons pollués de Prayon soit 1121 échantillons, ont fait l'objet de divers traitements statistiques en vue d'établir pour chaque population sélectionnée :

1. des diagrammes de corrélations binaires
2. les paramètres de distribution de chaque élément chimique à savoir :
 - la moyenne arithmétique
 - l'écart-type
 - le coefficient de variation
 - la moyenne géométrique
 - la déviation géométrique
 - les valeurs extrêmes
3. les matrices de coefficients de corrélations interéléments
4. les facteurs les plus caractéristiques de la variance totale du système (analyse factorielle).

(4) Mo et W, systématiquement sous la limite de détection de 10 ppm, ont été écartés des traitements statistiques.

(5) Les études statistiques des points 1 et 4 ont été réalisées au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, à Orléans, celles des points 2 et 3, au Centre de Traitement de l'Information du Ministère des Affaires Economiques de Belgique.

Tant pour les coupes isolées que groupées, les études statistiques (5) ont été conduites sur des populations sélectionnées par leur composition et/ou leur âge.

Sur base de la composition, on a distingué :

- les grès : $75 \% \leq \text{SiO}_2 \leq 100 \%$
- les shales : $50 \% \leq \text{SiO}_2 \leq 75 \%$ et $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20 \%$
- les calcaires «impurs», c'est-à-dire argileux et/ou légèrement dolomitiques : $20 \% < \text{CaO} < 40 \%$ et $\text{MgO} < 10 \%$
- les calcaires «purs» : $\text{CaO} > 40 \%$
- les dolomies : $\text{MgO} > 10 \%$.

Sur base de l'âge, on a considéré les échantillons appartenant aux formations de Nèvrement (NE), Roux (RO), Presles (PR), Lustin (LU), Aisemont (AI) et Matagne (MA). Les quelques échantillons appartenant au Dévonien inférieur (DI), à la formation de Naninne (NA), au Famennien (FA) et au Tournaisien (TO) n'ont pas été pris en considération. D'autre part, la sélection par la composition a également écarté un certain nombre d'échantillons de compositions intermédiaires aux 5 classes envisagées. Pour ces deux raisons, l'étude statistique a été effectuée sur un nombre d'échantillons légèrement inférieur au nombre total des échantillons analysés (1018 au lieu de 1121).

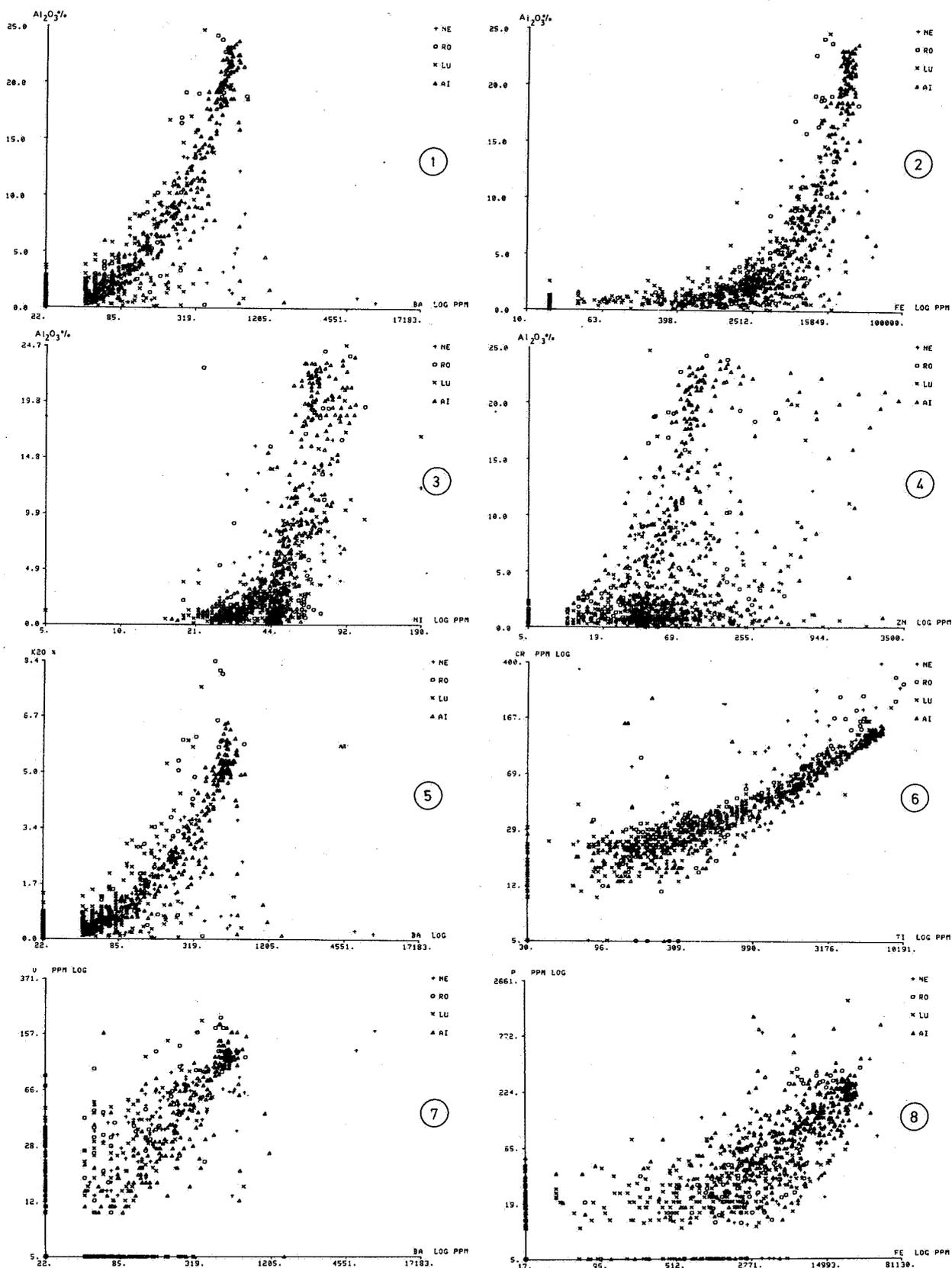


FIG. 10.- Diagrammes de corrélations binaires. Représentation ponctuelle. Corrélations positives et fortes dans la plupart des cas.
 1. Al_2O_3 - Ba, 2. Al_2O_3 - Fe, 3. Al_2O_3 - Ni, 4. Al_2O_3 - Zn, 5. K_2O - Ba, 6. Cr - Ti, 7. V - Ba - 8. P - Fe.

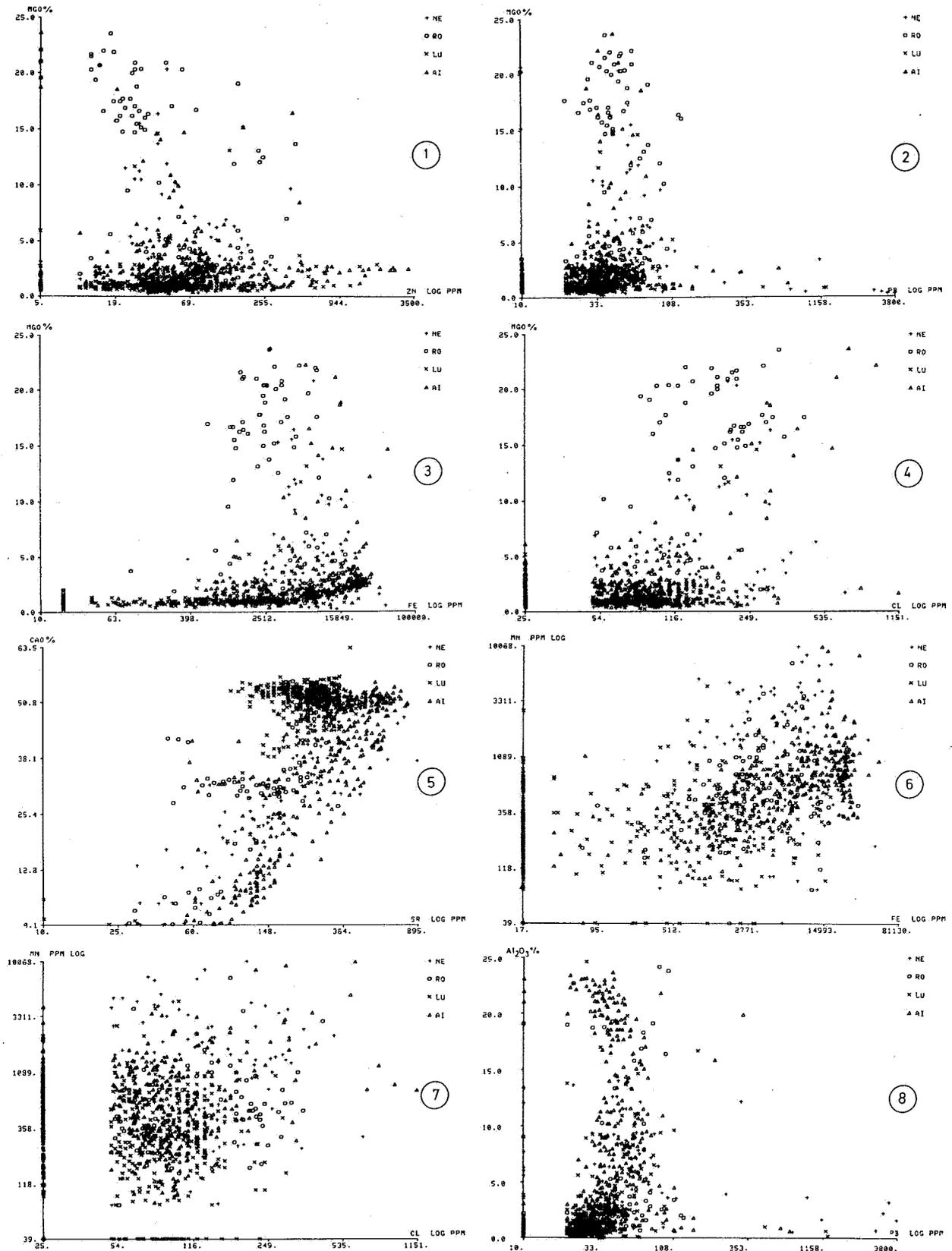


FIG. 11.- Diagrammes de corrélations binaires. Représentation ponctuelle.
 Corrélations faiblement positives ou nulles dans la plupart des cas.
 1. MgO - Zn, 2. MgO - Pb, 3. MgO - Fe, 4. MgO - Cl, 5. CaO - Sr, 6. Mn - Fe, 7. Mn -Cl, 8. Al₂O₃ - Pb.

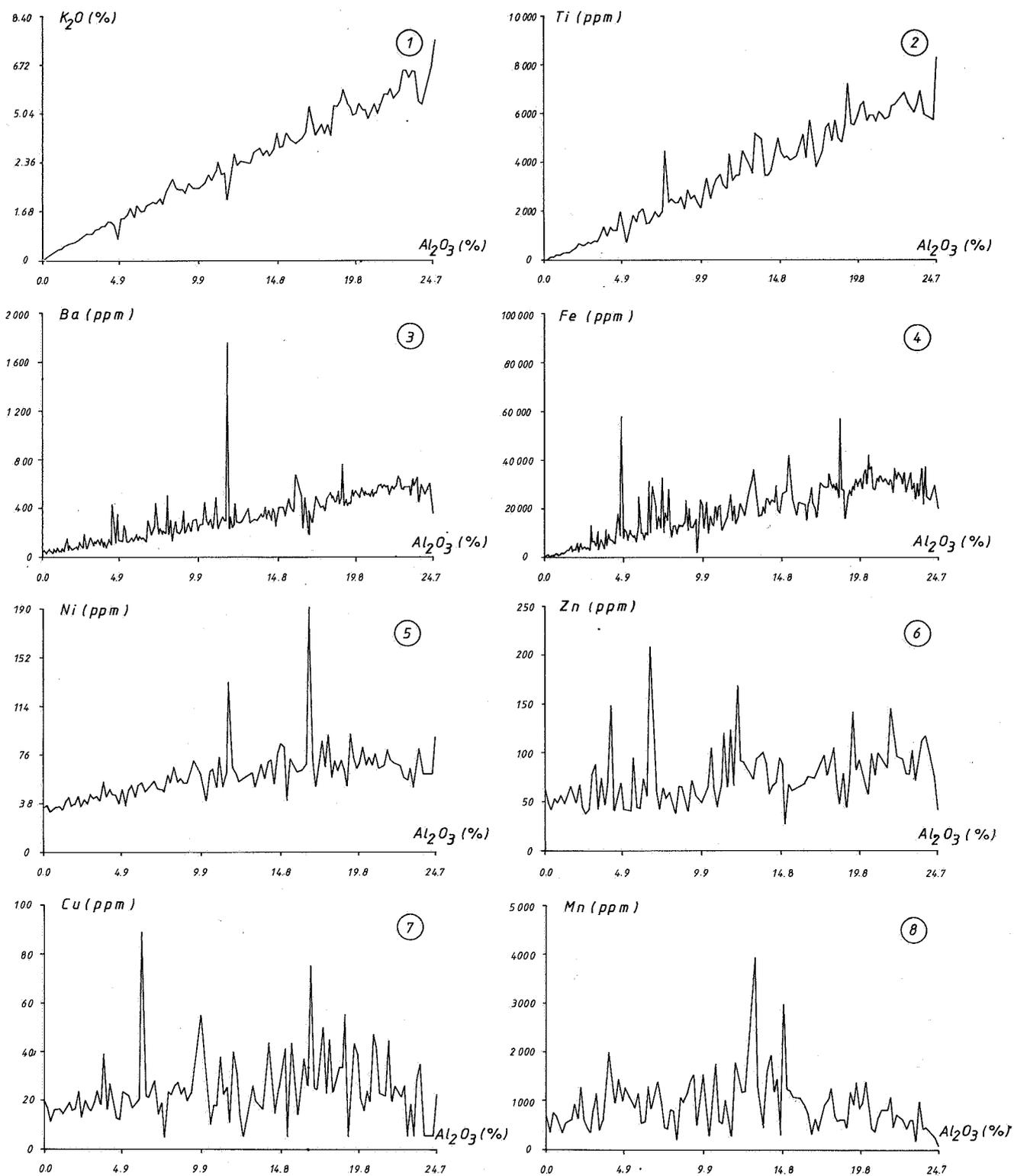


FIG. 12.- Diagrammes de corrélations binaires. Représentation linéaire, lissée.

E.1. CONTROLE LITHOLOGIQUE DES FONDS GEOCHIMIQUES

Le contrôle lithologique de certains éléments, déduit au § C.1. de l'examen des profils géochimiques, a été confirmé par l'établissement de diagrammes de corrélations binaires (éléments traces et mineurs en fonction des majeurs). Deux types de diagrammes ont été utilisés :

1. des diagrammes dans lesquels les échantillons sont représentés ponctuellement et par des sigles particuliers selon qu'ils appartiennent aux formations de Nèvreumont, Roux, Lustin ou Aisemont (fig. 10 et 11). Rappelons qu'à côté d'un terme lithologique commun (les calcaires), ces formations se caractérisent par un terme lithologique qui leur est propre (les grès pour Nèvreumont, les dolomies pour le Roux, les calcaires pour Lustin et les shales pour Aisemont);
2. des diagrammes dans lesquels les points à teneurs en Al_2O_3 les plus voisines ont été reliés comme s'il s'agissait d'un profil de sondage dans lequel la profondeur serait remplacée par la teneur en Al_2O_3 . Les courbes résultantes ont ensuite été lissées (fig. 12). Les diagrammes de Ba, Fe, Ni et Zn en fonction de Al_2O_3 ont été dessinés selon les deux représentations afin d'en comparer les avantages respectifs.

De nombreux éléments montrent une corrélation positive avec Al_2O_3 . Elle est très forte pour SiO_2 , K_2O (fig. 12.1), Ba (fig. 10.1 et 12.3), Fe (fig. 10.2 et 12.4), Ti (fig. 12.2), Cr et V. Elle est forte pour Na_2O , MgO, P, Co, Y, Rb et Zr. La corrélation Ba- Al_2O_3 est linéaire en valeurs naturelles (65 ppm Ba à 0 % Al_2O_3 ; 600 ppm Ba à 25 % Al_2O_3). Dans le cas de Fe, il semble bien d'après la figure 12.4 que, dès 20 % Al_2O_3 , on atteigne la saturation (30.000 ppm Fe). Pour Ni (fig. 10.3 et 12.5) et Zn (fig. 10.4 et 12.6), la liaison à Al_2O_3 , tout en étant nette, est cependant moins marquée. Les valeurs de fond géochimique passent néanmoins du simple au double entre 0 et 25 % Al_2O_3 . Pour Cu (fig. 12.7), une faible corrélation positive existe entre 0 et 15 % Al_2O_3 tandis qu'une corrélation négative apparaît entre 15 et 25 % Al_2O_3 . Il y a absence de corrélation par rapport à Al_2O_3 pour Pb (fig. 11.8) et Mn (fig. 12.8). Cl et Sr présentent une corrélation négative avec Al_2O_3 .

Tous les diagrammes de corrélations avec MgO illustrent bien que c'est dans la formation du Roux que le phénomène de dolomitisation est le plus marqué. Si les dolomies sont parfois anormales en Zn (fig. 11.1), par contre, elles ne le sont jamais en Pb (fig. 11.2). Les anomalies les plus élevées en Zn se situent dans les roches non magnésiennes des formations d'Aisemont et de Lustin (fig. 11.1); les

anomalies les plus fortes en Pb, dans les roches non magnésiennes des formations de Nèvreumont et de Lustin (fig. 11.2). La figure 11.3 indique en outre que la teneur en Fe des dolomies est toujours élevée. Ceci étant, il ne se dégage pas de corrélation avec MgO en dehors de Sr (fortement négative), Mn et Cl (fig. 11.4) (faiblement positives). Sr est d'ailleurs le seul élément qui corréle positivement avec CaO (fig. 11.5).

Si on examine les corrélations entre certains couples d'éléments traces et mineurs, on constate qu'elles sont positives et fortes pour Cr-Ti (fig. 10.6), V-Ba (fig. 10.7), K_2O -Ba (fig. 10.5), Y-Rb, Zr-Rb, Ni-Co, positives et moyennes pour Fe-P (fig. 10.8), positives et faibles pour Fe-Mn (fig. 11.6). En outre, il y a absence de corrélation pour les couples Ba-S, Ba-Sr, Zn-Pb, Cu-Pb et Mn-Cl (fig. 11.7).

E.2. PARAMETRES DE DISTRIBUTION ET MATRICES DE COEFFICIENTS DE CORRELATION

L'étude statistique d'une population implique en premier lieu de connaître le type de distribution auquel elle se rapporte. En géochimie, on restreint généralement ce choix à l'alternative distribution normale ou distribution lognormale. Ce test a été effectué pour les éléments Pb, Zn, Cu, Ba par l'établissement des graphiques de probabilités (Lepeltier, 1969; Sinclair, 1974). En outre, il a permis de vérifier si la population sélectionnée (par exemple, les teneurs en Zn des calcaires) était unimodale. Dans la plupart des cas, il s'agissait bien d'une distribution unimodale de type lognormal. Cette conclusion s'est vérifiée systématiquement pour Ba et très fréquemment pour Pb et Zn. Par contre, dans le cas du Cu, des distributions plus complexes (ni franchement normales, ni franchement lognormales) étaient plus fréquentes. Néanmoins, les cas de distributions parfaitement normales n'ont jamais été rencontrés. Les travaux antérieurs (par exemple, Till, 1974, pp. 43-44) ont d'ailleurs précisé le rôle prépondérant de la distribution lognormale dans la répartition statistique des éléments traces. Ce préambule justifie le choix de la moyenne géométrique (notée mg) comme estimateur des fonds géochimiques des éléments traces et mineurs.

L'établissement des fonds géochimiques (moyennes) nécessite le rejet des échantillons anormaux. Ont été considérés comme échantillons géochimiquement anormaux, ceux dont la teneur en l'un ou plusieurs des éléments Pb, Zn, Cu, Ba dépassait un seuil (t), déterminé à partir de la formule suivante :

$$t = \text{antilog} (\mu_n + 2 \sigma_n)$$

avec μ_n = moyenne arithmétique des logarithmes des valeurs

σ_n = écart type des logarithmes.

Les seuils de coupure choisis pour chaque population sélectionnée sont indiqués en annexe (§ G.2, tabl. 12). Sur les 1018 échantillons sélectionnés pour l'étude statistique, 165 d'entre eux soit 16 % ont été considérés comme anomaux. Ceux-ci se répartissent comme suit parmi les différentes lithologies considérées (tabl. 2) :

Tableau 2.- Répartition lithologique des échantillons anomaux

	échantillons anomaux	population totale
grès	5	12
shales	22	96
calcaires impurs	35	143
calcaires purs	89	680
dolomies	14	87
total	165	1018

Le calcul des fonds géochimiques soulève aussi le problème des données situées sous la limite de détection. Celles-ci ont été affichées à la moitié de la limite de détection.

Pour chaque population sélectionnée par sa composition et son âge (par exemple, les calcaires de la formation de Lustin), les tableaux des paramètres de distribution des 25 éléments considérés et les matrices de coefficients de corrélation correspondantes ont été déterminés. Un certain nombre d'entre eux, relatifs à l'ensemble des formations de Nèvreumont à Matagne, sont joints en annexe (§ G.2).

Dans une étape suivante, le comportement des fonds géochimiques de 7 éléments (Pb, Zn, Cu, Ba, Fe, Mn et Sr) a été analysé en fonction de l'âge et de la nature des roches encaissantes. Dans ce but, des courbes de teneurs de ces 7 éléments en fonction de la nature de la roche support (grès, shales, calcaires impurs, calcaires purs, dolomies) ont été tracées pour un certain nombre de formations ou de couples de formations (Nèvreumont-Roux, Lustin, Aisemont-Matagne et

de Nèvreumont à Matagne). Ces courbes sont montrées aux figures 13 à 19. La formation de Presles a été rejetée car géochimiquement trop anormale (formation de faible épaisseur, à lithologie extrêmement variable et localement à hématite oolithique). Néanmoins, dans le calcul des moyennes relatives à l'ensemble des formations de Nèvreumont à Matagne, cette fois, la formation de Presles a été prise en considération. Les formations de Naninne et de Nèvreumont, d'une part, d'Aisemont et de Matagne, d'autre part, ont été groupées pour obtenir des populations à nombre d'individus significatif, ce couplage rejoignant d'ailleurs des considérations d'ordre paléogéographique (Dejonghe, 1985).

Il faut être également conscient du fait que les différents points de ces courbes ne portent pas le même poids : certains correspondent à un petit nombre d'échantillons, d'autres à un très grand nombre. Néanmoins, même dans le cas d'une population très restreinte, le point représentatif possède une réelle signification car tous les échantillons anomaux ont été exclus des calculs de moyenne.

Etant donné la présence de beaucoup d'anomalies dans les calcaires impurs, ceux-ci ont fait l'objet d'une attention toute particulière.

Le baryum (fig. 13 et tabl. 3)

Les courbes d'évolution du Ba en fonction de la nature de la roche encaissante présentent la même allure quelle que soit la formation considérée. En outre, quelle que soit la nature de la roche, c'est toujours dans le couple Aisemont-Matagne que les fonds géochimiques en Ba sont le plus élevé. La figure 13 montre nettement que le Ba est environ 10 fois plus abondant dans les shales ($500 \text{ ppm} < m_g < 600 \text{ ppm}$) que dans les calcaires purs et les dolomies ($25 \text{ ppm} < m_g < 75 \text{ ppm}$). Les teneurs en Ba des calcaires impurs ($150 \text{ ppm} < m_g < 275 \text{ ppm}$) sont intermédiaires entre celles des shales et celles des autres carbonates. Etant donné les faibles teneurs en Ba des calcaires purs et des dolomies, c'est donc bien à la fraction argileuse des calcaires impurs que le Ba se trouve associé. Ces conclusions sont confirmées par les valeurs élevées des coefficients de corrélation des couple Ba-Al et Ba-Si dans les différentes roches.

Le Fer (fig. 14 et tabl. 4)

Le Fe présente une évolution semblable à celle du Ba, sauf dans les dolomies. En effet, alors que dans les shales le Fe atteint des teneurs élevées ($11000 \text{ ppm} < m_g < 26000 \text{ ppm}$) et que les calcaires purs se caractérisent par des teneurs en Fe très groupées et inférieures à 2000 ppm, les

Tableau 3.- Coefficients de corrélation relatifs au Ba, extraits des matrices de coefficients de corrélation figurant en annexe (§ G.2).

Populations	Coefficients de corrélation				Seuil de signification à 99 %
	Ba-Al	Ba-Si	Ba-Mg	Ba-Ca	
tous les shales (n = 74)	0.24	0.39	0.03	0.14	0.27
tous les calcaires impurs (n = 108)	0.89	0.49	- 0.21	- 0.34	0.22
tous les calcaires purs (n = 591)	0.67	0.49	0.23	- 0.63	0.10
toutes les dolomies (n = 73)	0.70	0.35	- 0.35	- 0.47	0.22

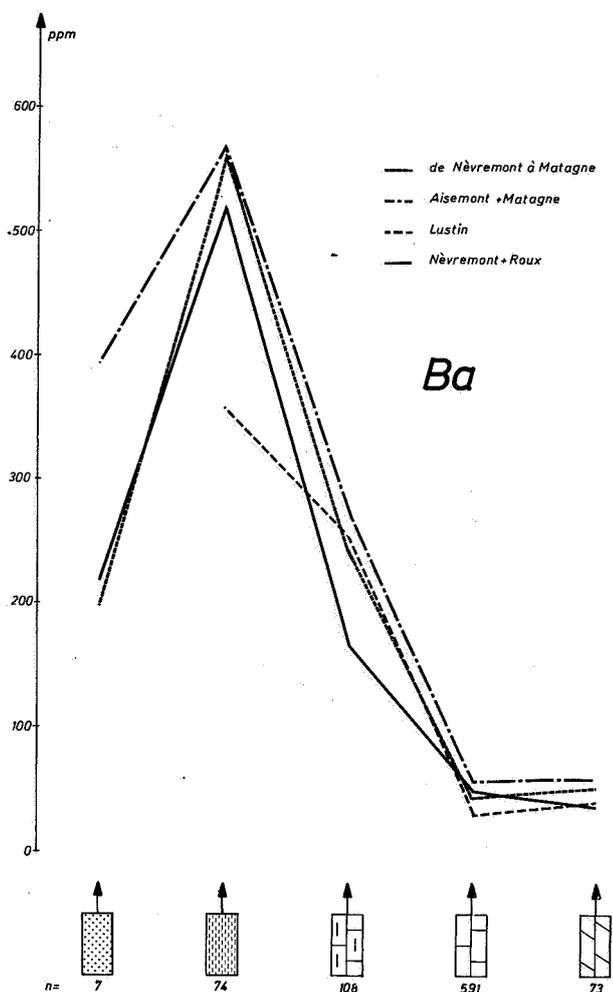


FIG. 13.- Evolution des teneurs en Ba en fonction de la lithologie.

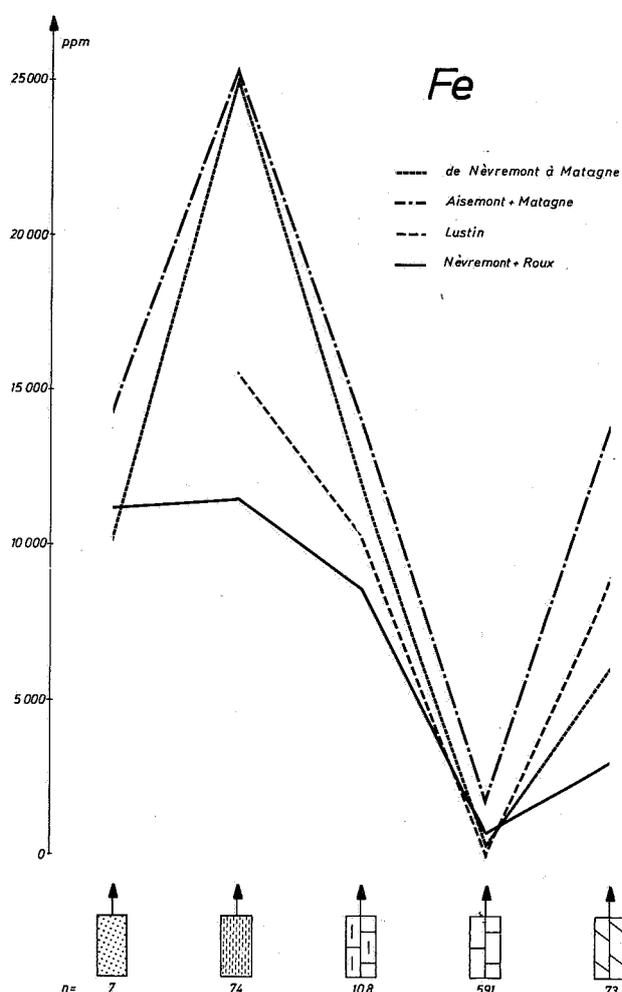


FIG. 14.- Evolution des teneurs en Fe en fonction de la lithologie.

dolomies présentent un étalement des valeurs entre 3000 et 14000 ppm. En raisonnant uniquement à partir de la figure 14, on est forcé de conclure que dans les calcaires impurs, le Fe est lié soit à la fraction argileuse, soit à la fraction dolomitique, soit aux deux. Néanmoins, dans ces calcaires impurs, le coefficient de corrélation du couple Fe-Mg est faiblement négatif et sans réelle signification alors que le coefficient de corrélation du couple Fe-Al est positif et élevé. Bref, comme pour le Ba, dans toutes les roches considérées, le Fe est bien lié à la fraction argileuse. Notons encore que les teneurs en Fe sont toujours plus élevées dans les formations d'Aisement et de Matagne que dans les autres formations.

Le manganèse (fig. 15 et tabl. 5)

Parmi les 7 éléments discutés, il s'agit du seul dont les teneurs sont presque systématiquement plus élevées dans les dolomies ($900 \text{ ppm} < m_g < 2400 \text{ ppm}$) que dans les autres roches et, en particulier, dans les calcaires purs ($200 \text{ ppm} < m_g < 600 \text{ ppm}$). La dolomitisation des calcaires contribue donc à un apport de Mn et c'est probablement aussi à ce phénomène qu'il faut attribuer les teneurs relativement élevées en Mn des calcaires impurs ($400 \text{ ppm} < m_g < 1100 \text{ ppm}$). Néanmoins, les coefficients de corrélation (tabl. 5) ne confirment pas cette tendance de façon très marquée.

Tableau 4.- Coefficients de corrélation relatifs au Fe, extraits des matrices de coefficients de corrélation figurant en annexe (§ G.2.).

Populations	Coefficients de corrélation				Seuil de signification à 99 %
	Fe-Al	Fe-Si	Fe-Mg	Fe-Ca	
tous les shales (n = 74)	- 0.18	- 0.04	- 0.14	- 0.01	0.27
tous les calcaires impurs (n = 108)	0.68	0.28	- 0.02	- 0.43	0.22
tous les calcaires purs (n = 591)	0.74	0.64	0.53	- 0.63	0.10
toutes les dolomies (n = 73)	0.51	0.38	- 0.38	- 0.42	0.27

Tableau 5.- Coefficients de corrélation relatifs au Mn, extraits des matrices de coefficients de corrélation figurant en annexe (§ G.2.).

Populations	Coefficients de corrélation				Seuil de signification à 99 %
	Mn-Al	Mn-Si	Mn-Mg	Mn-Ca	
tous les shales (n = 74)	- 0.46	- 0.19	- 0.15	0.55	0.27
tous les calcaires impurs (n = 108)	- 0.12	0.07	0.15	- 0.13	0.22
tous les calcaires purs (n = 591)	0.32	0.34	0.33	- 0.37	0.10
toutes les dolomies (n = 73)	- 0.12	0.11	- 0.22	- 0.08	0.27

Tableau 6.- Coefficients de corrélation relatifs au Sr, extraits des matrices de coefficients de corrélation figurant en annexe (§ G.2.).

Populations	Coefficients de corrélation				Seuil de signification à 99 %
	Sr-Al	Sr-Si	Sr-Mg	Sr-Ca	
tous les shales (n = 74)	- 0.40	- 0.39	0.13	0.68	0.27
tous les calcaires impurs (n = 108)	0.04	- 0.37	- 0.31	0.53	0.22
tous les calcaires purs (n = 591)	0.25	0.25	0.20	- 0.17	0.10
toutes les dolomies (n = 73)	0.20	0.09	- 0.34	0.17	0.27

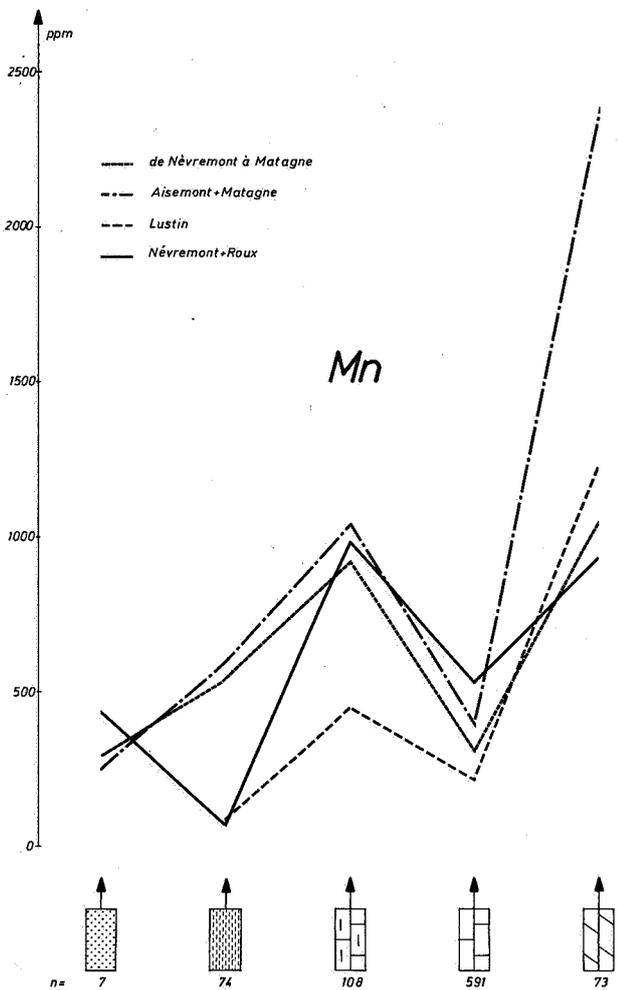


FIG. 15.- Evolution des teneurs en Mn en fonction de la lithologie.

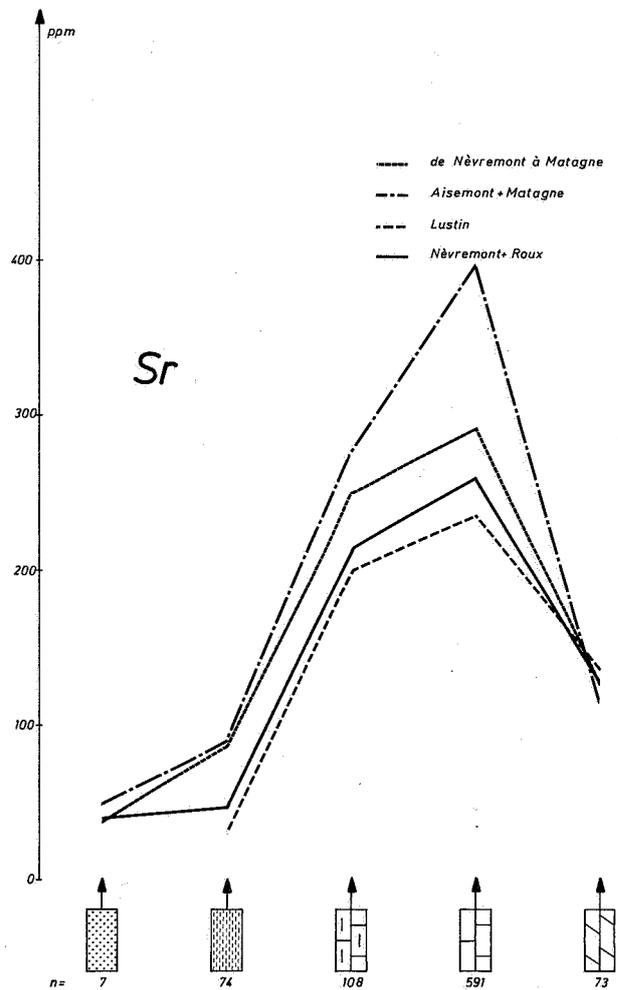


FIG. 16.- Evolution des teneurs en Sr en fonction de la lithologie.

Le strontium (fig. 16 et tabl. 6)

A l'opposé du Ba et du Fe, le Sr est plus riche dans les calcaires purs ($230 \text{ ppm} < m_g < 400 \text{ ppm}$) que dans les autres roches. Dans les dolomies ($110 \text{ ppm} < m_g < 130 \text{ ppm}$), les teneurs en Sr sont très comparables quel que soit leur âge et nettement plus faibles que dans les calcaires. Barbier (1979) a abordé le problème de la teneur en Sr des dolomies en précisant que pour certains auteurs, ce paramètre dépendait de la salinité du milieu lors de la dernière recristallisation des dolomies. Celles formées en milieu hypersalin seraient riches en Sr tandis que celles recristallisées en milieu saumâtre ou d'eau douce en seraient pauvres. Barbier (1979) remet cependant cette idée en question en envisageant la possibilité d'autres phénomènes tels que la formation des dolomies dans un milieu salin mais pauvre en Sr (suite à la précipitation de sulfates par exemple) ou encore leur lessivage postérieurement à la dernière recristallisation. C'est cette dernière hypothèse qui paraît la plus vraisemblable dans le cas des dolomies mésodévonniennes et frasniennes de Belgique dont le caractère épigénétique, certes relativement précoce, est toujours nettement affirmé (présence de nombreux fantômes de fossiles). Dans le cas considéré, la dolomitisation libérerait donc plus de la moitié du Sr des calcaires.

Le plomb (fig. 17 et tabl. 7)

La figure 17 montre que les dolomies (36 ppm

$< m_g < 48 \text{ ppm}$) sont presque deux fois plus riches en Pb que les shales ($21 \text{ ppm} < m_g < 28 \text{ ppm}$), alors que les calcaires purs ($24 \text{ ppm} < m_g < 48 \text{ ppm}$) ne sont que très faiblement enrichis en Pb par rapport à ces derniers. Tandis que la dolomitisation des calcaires les appauvrit en Sr, elle semble au contraire les enrichir en Pb. A l'opposé de Ba et Fe, les teneurs en Pb, particulièrement élevées dans les calcaires impurs ($39 \text{ ppm} < m < 50 \text{ ppm}$), semblent bien plus tributaires de leur dolomitisation que de leur fraction argileuse. Effectivement, dans les calcaires impurs, le coefficient de corrélation Pb-Mg est relativement élevé (0.49), alors que ceux des couples Pb-Al et Pb-Si ne sont pas significatifs. Dans les calcaires purs et les dolomies, les coefficients de corrélation Pb-Al (respectivement 0.46 et 0.44) et Pb-Si (respectivement 0.32 et 0.40) montrent cependant qu'on ne peut pas négliger une certaine liaison du Pb à leur fraction argileuse. Bref, dans le cas du Pb, on se trouve en présence de deux origines possibles qui, séparément, acquièrent plus ou moins d'importance en fonction de la nature de la roche support et qui, dans le cas de calcaires impurs, ont des effets cumulatifs. Notons aussi qu'en définitive, voir un apport de Pb par un phénomène de dolomitisation, c'est admettre plus ou moins implicitement l'origine épigénétique de cet élément. Origine épigénétique certes, mais familière dans le cas considéré.

Tableau 7.- Coefficients de corrélation relatifs au Pb, extraits des matrices de coefficient de corrélation figurant en annexe (§ G.2).

Populations	Coefficients de corrélation				Seuil de signification à 99 %
	Pb-Al	Pb-Si	Pb-Mg	Pb-Ca	
tous les shales (n = 74)	- 0.21	0.10	0.28	0.42	0.27
tous les calcaires impurs (n = 108)	0.09	0.15	0.49	- 0.06	0.22
tous les calcaires purs (n = 591)	0.46	0.32	0.24	- 0.34	0.10
toutes les dolomies (n = 73)	0.44	0.40	- 0.22	- 0.21	0.27

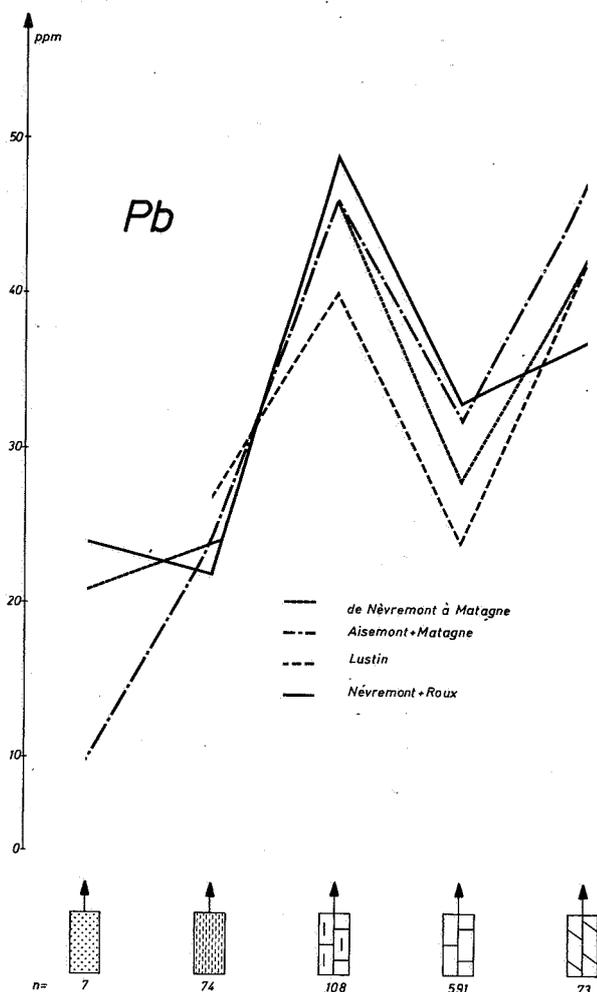


FIG. 17.- Evolution des teneurs en Pb en fonction de la lithologie.

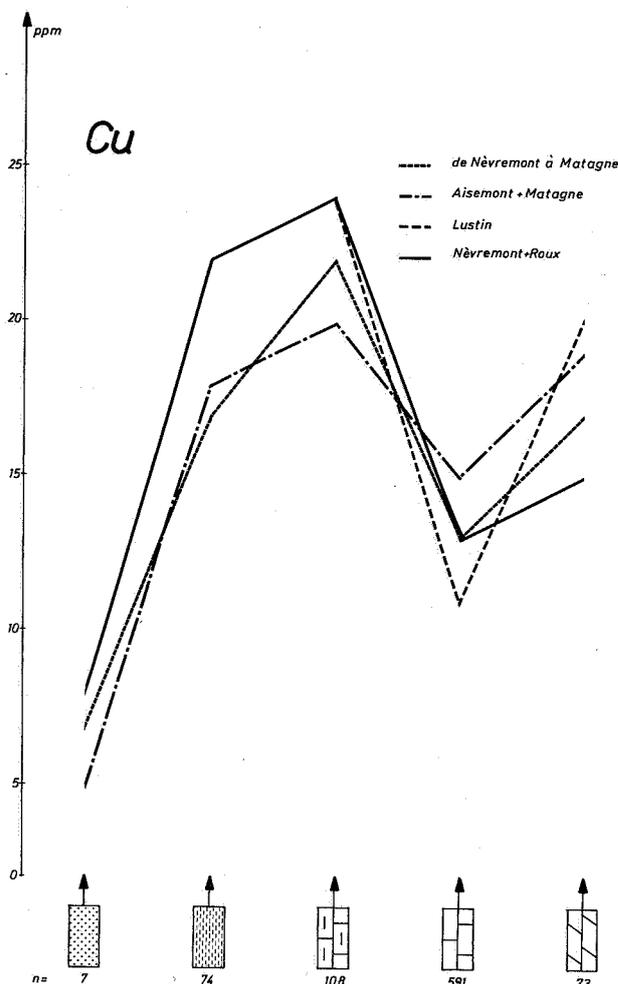


FIG. 18.- Evolution des teneurs en Cu en fonction de la lithologie.

Le cuivre (fig. 18 et tabl. 8)

Bien que les différences entre les fonds géochimiques des différents termes lithologiques considérés soient relativement faibles (de 5 à 25 ppm), on retrouve des allures comparables dans les allures du Cu et du Pb (teneurs les plus fortes dans les calcaires impurs). Néanmoins, les teneurs en Cu des shales ($17 \text{ ppm} < m_g < 22 \text{ ppm}$) sont légèrement supérieures à celles des dolomies ($15 \text{ ppm} < m_g < 20 \text{ ppm}$) alors que des tendances opposées se dégagent dans le cas du Pb. Il semble donc que dans les calcaires impurs, les minéraux argileux jouent un rôle prédominant dans la fixation du Cu. Cependant, les coefficients de corrélation Cu-Al, Cu-Si et Cu-Mg sont cette fois moins parlants que précédemment. En effet, ils ne sont pas ou peu significatifs. Comme pour le Pb, on peut toutefois conclure que, dans les calcaires impurs, les teneurs élevées en Cu sont dues aux apports combinés de la dolomitisation et des minéraux argileux.

Le zinc (fig. 19 et tabl. 9)

Le Zn présente un comportement plus complexe que celui des autres éléments examinés jusqu'à présent. En effet, alors que l'allure de la courbe du Zn (fig. 19) est identique dans les couples de formations Nèvrement-Roux et Aisemont-Matagne, elle diffère dans la formation de Lustin. Toutefois, l'importance des points singuliers de la courbe Lustin doit être pondérée car ces points ne concernent qu'un très petit nombre d'échantillons. En excluant ces points singuliers, on aboutit aux conclusions suivantes :

1. les teneurs en Zn des shales ($70 \text{ ppm} < m_g < 100 \text{ ppm}$) sont nettement supérieures à celles des calcaires purs et des dolomies ($m_g < 45 \text{ ppm}$) mais aussi plus étalées;
2. les calcaires impurs ($55 \text{ ppm} < m_g < 75 \text{ ppm}$) renferment des teneurs en Zn situées à mi-chemin entre celles des shales et des calcaires purs. Les coefficients de corrélation

Tableau 8.- Coefficients de corrélation relatifs au Cu, extraits des matrices de corrélation figurant en annexe (§ G.2).

Populations	Coefficients de corrélation				Seuil de signification à 99 %
	Cu-Al	Cu-Si	Cu-Mg	Cu-Ca	
tous les shales (n = 74)	- 0.27	- 0.25	0.06	0.05	0.27
tous les calcaires impurs (n = 108)	0.01	0.05	0.12	0.06	0.22
tous les calcaires purs (n = 591)	0.19	0.01	0.07	- 0.31	0.10
toutes les dolomies (n = 73)	0.32	0.23	- 0.42	- 0.14	0.27

Zn-Al (0.29) et Zn-Si (0.17) confirment la liaison du Zn à la fraction argileuse, mais de façon peu marquée, ces valeurs étant voisines du seuil de signification (0.22);

3. dans les dolomies ($20 \text{ ppm} < \text{mg} < 25 \text{ ppm}$), les teneurs en Zn sont nettement plus faibles que dans les calcaires purs ($35 \text{ ppm} < \text{mg} < 45 \text{ ppm}$). Comme la dolomitisation s'effectue à partir d'un calcaire préexistant, on doit admettre que le Zn est remobilisé au cours de ce phénomène. Effectivement, quelle que soit la nature de la roche support, les coefficients de corrélation Zn-Mg sont toujours négatifs,

quoique, pour la plupart, sans réelle signification.

Bref, le comportement du Zn s'apparente plus à celui du Ba et du Fe qu'à celui du Pb et du Cu. En définitive, le comportement du Zn dans la formation de Lustin n'est pas aussi singulier qu'on pourrait le penser. En effet, comme la dolomitisation remobilise Zn, par la même occasion, celui-ci sera concentré au front de dolomitisation. Les dolomies de la formation de Lustin, d'ailleurs peu abondantes, correspondent peut-être à cette situation particulière.

Tableau 9.- Coefficients de corrélation relatifs au Zn, extraits des matrices de coefficients de corrélation figurant en annexe (§ G.2).

Populations	Coefficients de corrélation				Seuil de signification à 99 %
	Zn-Al	Zn-Si	Zn-Mg	Zn-Ca	
tous les shales (n = 74)	0.08	0.17	- 0.20	- 0.20	0.27
tous les calcaires impurs (n = 108)	0.29	0.17	- 0.20	- 0.12	0.22
tous les calcaires purs (n = 591)	0.20	0.10	- 0.02	- 0.21	0.10
toutes les dolomies (n = 73)	0.25	0.22	- 0.53	- 0.24	0.27

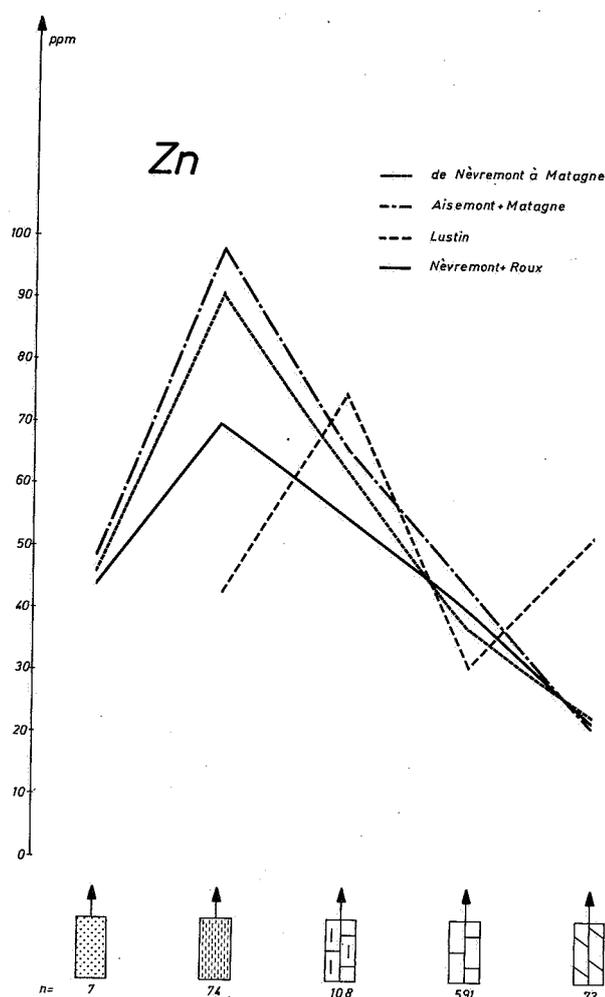


FIG. 19.- Evolution des teneurs en Zn en fonction de la lithologie.

E.3. ANALYSE FACTORIELLE

Un traitement des données par analyse factorielle en mode R et en composantes principales a été utilisé en complément des autres traitements statistiques. Conscient de toutes les réserves que l'on peut formuler à propos de cette technique, je ne l'ai appliquée que pour vérifier si elle confirmait les tendances dégagées précédemment et pour repérer d'éventuelles corrélations nouvelles. Le traitement a été appliqué à 4 populations d'échantillons (toutes les formations; les formations d'Aisemont et de Matagne; la formation de Lustin; les formation de Nèvremon et du Roux). Les résultats obtenus après rotation orthogonale de la matrice factorielle (méthode Varimax) sont indiqués à la figure 20.

Le facteur qui contribue le plus à la variance totale possède la même signification dans chacune des 4 populations sélectionnées : il

oppose les calcaires (CaO) aux roches détritiques (groupe SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O). Si aucun élément particulier autre que Sr n'est associé à CaO, par contre au groupe SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O se rattachent les éléments suivants : Rb, Ti, Cr, Co, Fe, Ni, V et Zr. C'est dans les formations d'Aisemont et de Matagne que ce facteur est le plus élevé (48.93 %).

Le facteur qui occupe le deuxième rang varie selon les formations considérées. Dans Aisemont-Matagne, c'est le facteur dolomitisation (8.56 % : MgO, Mn, Cl opposés à Sr); dans Lustin, c'est le facteur sulfures (12.17 % : S, Pb, As, Zn) et dans Nèvremon-Roux, c'est le facteur grès (11.78 % : SiO_2 , Cu, Pb, Zr, Cr opposés à CaO). L'interprétation naturaliste des facteurs inférieurs à 10 % est souvent difficile. Notons cependant la présence dans les formations d'Aisemont et de Matagne d'un facteur Ba (5 %) vers lequel tend le V.

En conclusion, l'analyse factorielle confirme toutes les tendances dégagées au § C. et n'apporte aucune indication nouvelle.

E.4. MISE EN EVIDENCE DE GRADIENTS GEOCHIMIQUES REGIONAUX

Au sein de chaque formation, et pour les types de roche les plus représentatifs, les fonds géochimiques (moyennes géométriques) en Pb, Zn, Cu, Ba et Mn ont été calculés en chaque localité et cartographiés en vue de la mise en évidence de gradients géochimiques régionaux éventuels.

- Calcaires purs de la formation de Nèvremon (fig. 21) : absence de gradient significatif. A signaler toutefois des teneurs élevées en Mn à Tilff (1537 ppm) et à Trooz (1084 ppm).
- Calcaires purs de la formation de Lustin (fig. 21) : absence de gradient pour Pb, Cu et Ba. Zn présente cependant des teneurs plus élevées dans la région de Trooz-Chaufontaine et à Aisemont. Si à Trooz, une pollution industrielle (usine de Prayon) n'est pas à exclure, celle-ci est tout à fait improbable à Aisemont. Dans le cas du Mn, les plus hautes teneurs se situant à Trooz, Tilff et Chaufontaine, un gradient semble également se dessiner autour du haut-fond de Chaufontaine.
- Calcaires purs des formations d'Aisemont et de Matagne (fig. 21) : la situation se présente de façon tout à fait différente dans les sondages de Bolland et Soumagne par rapport à toutes les autres localités. En effet, dans ces sondages, les teneurs en Zn sont faibles et les teneurs en Pb élevées, alors que dans toutes les autres localités, ce rapport est inversé. Pour le reste, on ne relève pas de gradient significatif. Les gradients en Zn et Mn qui, dans la formation de

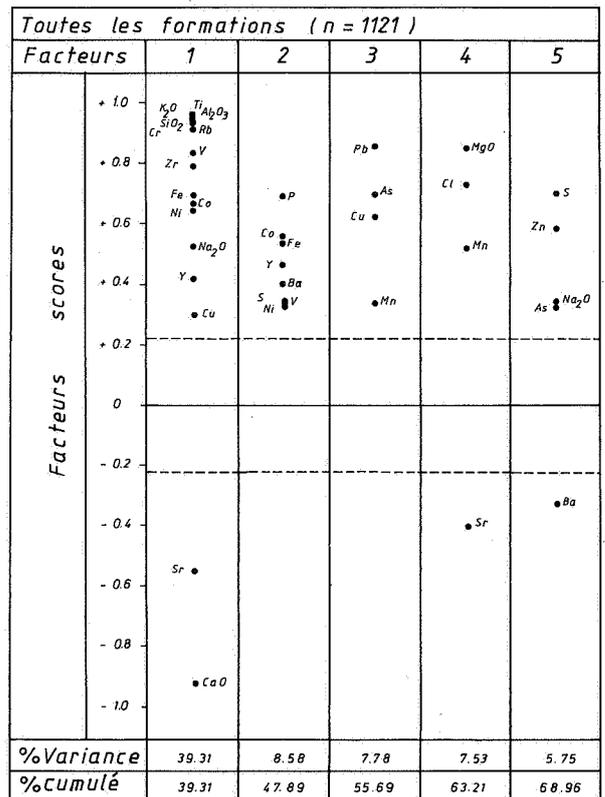
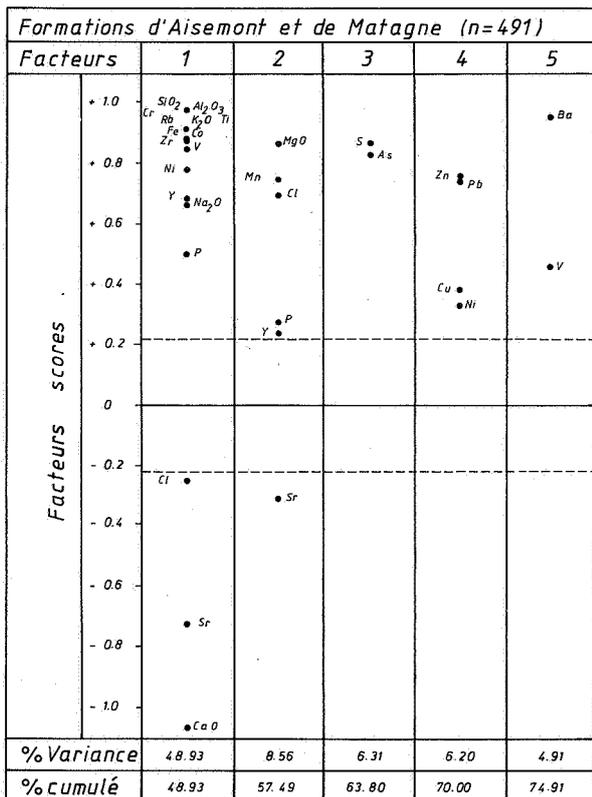
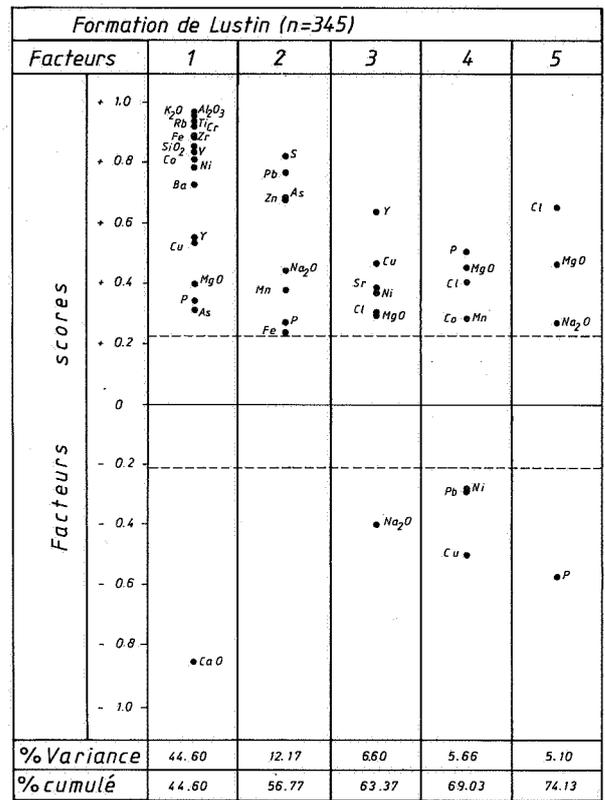
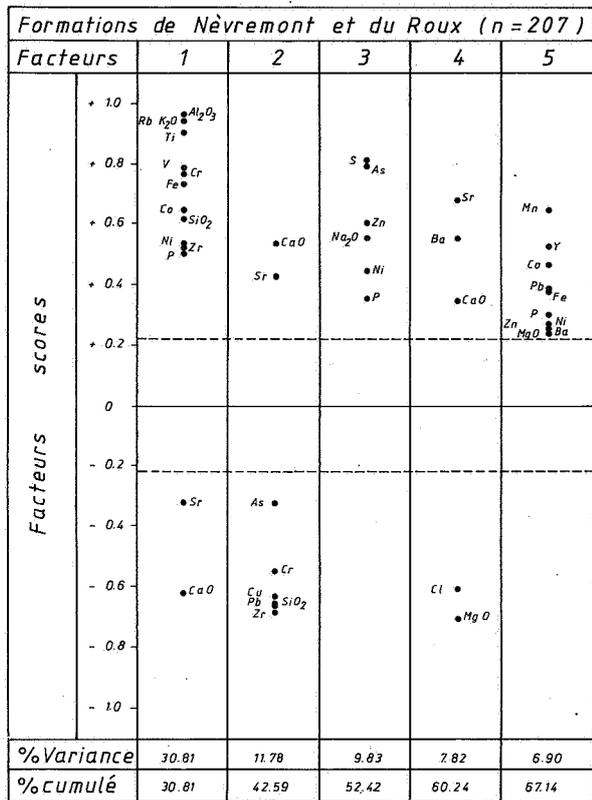
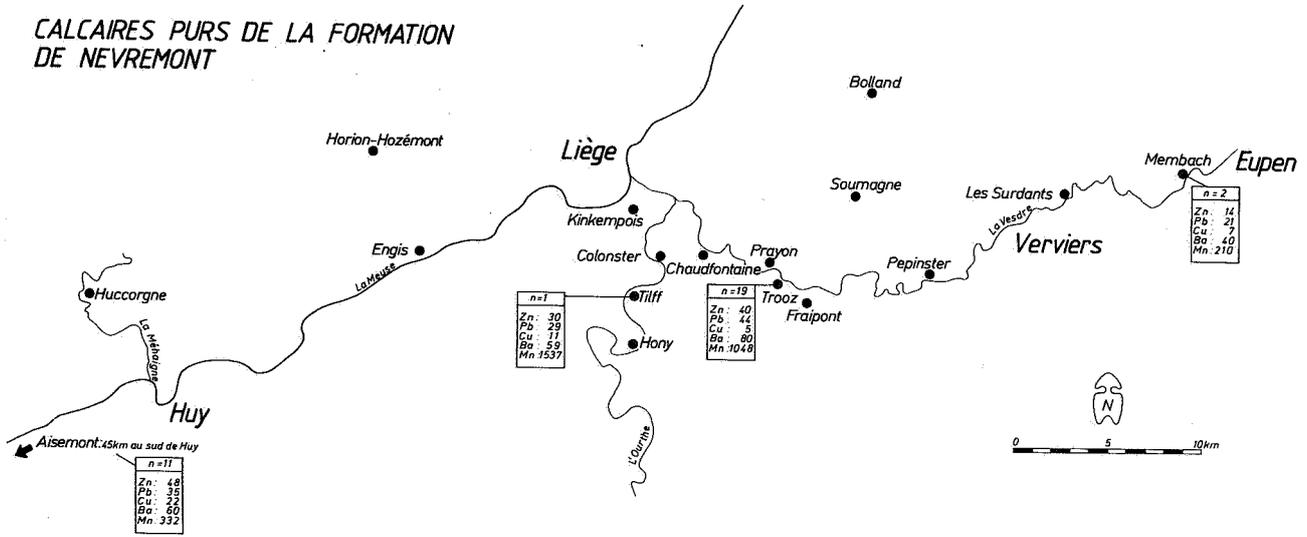
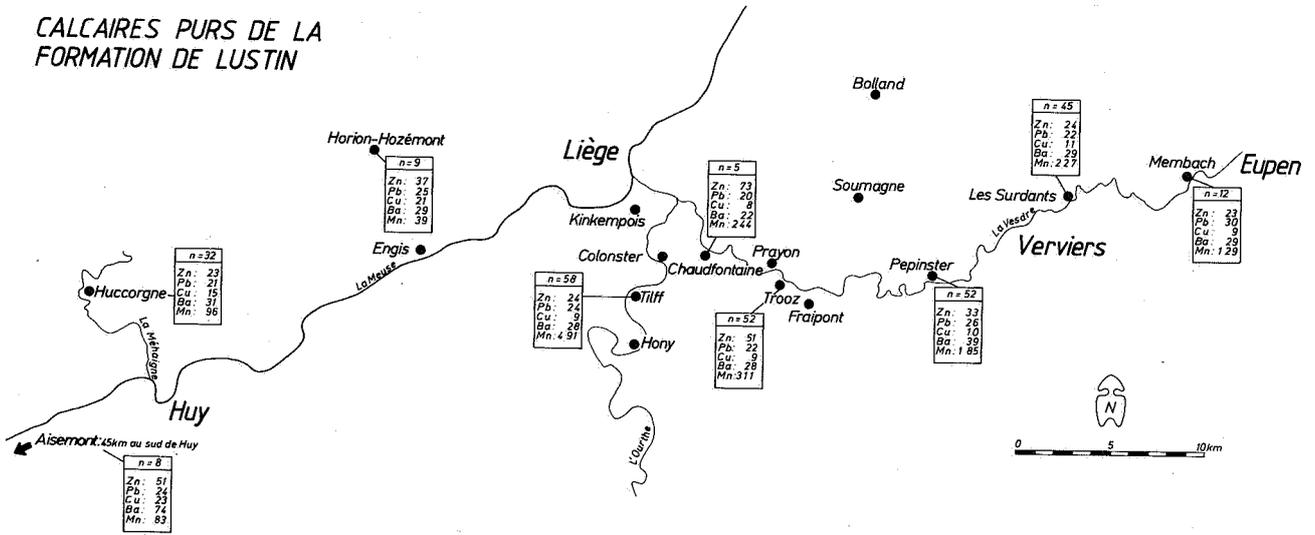


FIG. 20.- Représentation graphique des résultats des analyses factorielles en mode R et en composantes principales appliquées à 4 populations différentes. Les facteurs scores inférieurs au seuil de signification (0.22, Harmann, 1967) n'ont pas été représentés.

CALCAIRES PURS DE LA FORMATION DE NEVREMONT



CALCAIRES PURS DE LA FORMATION DE LUSTIN



CALCAIRES PURS DES FORMATIONS D'AISEMONT ET DE MATAGNE

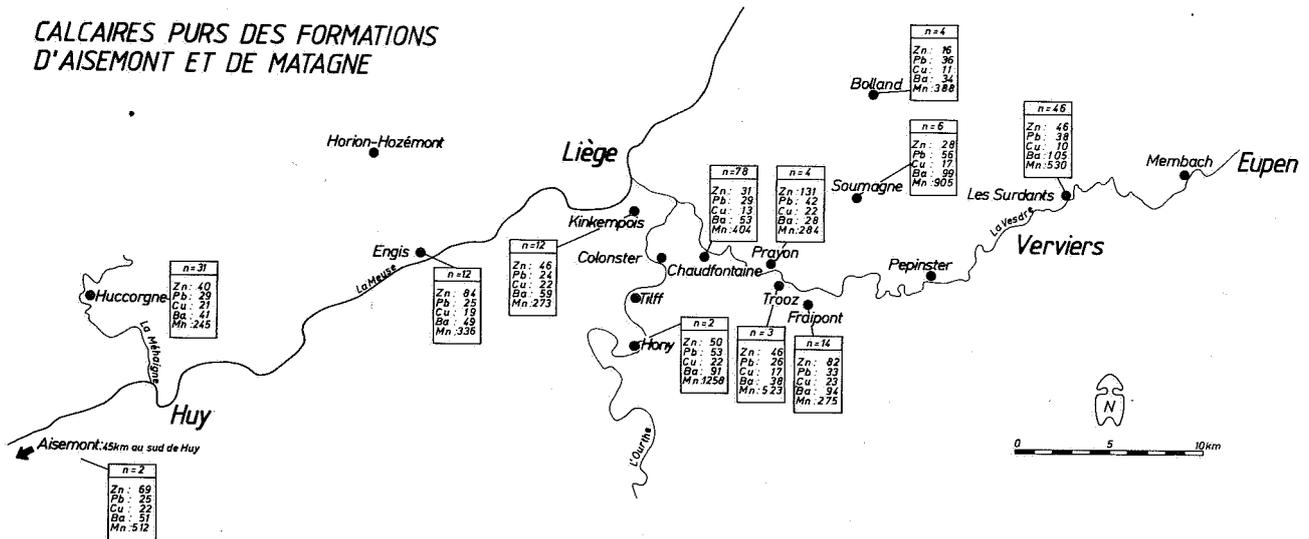
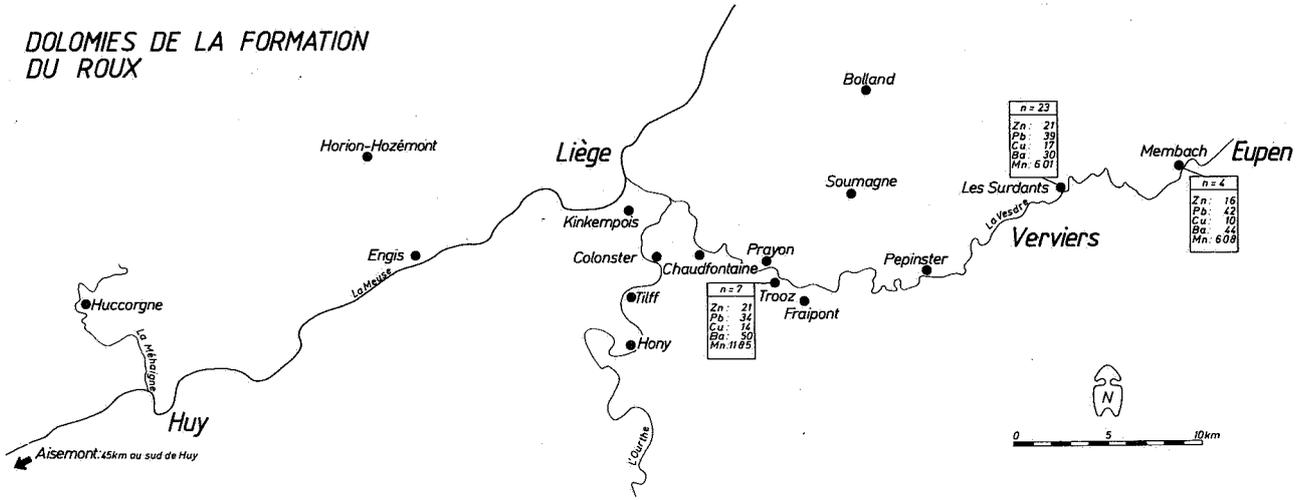
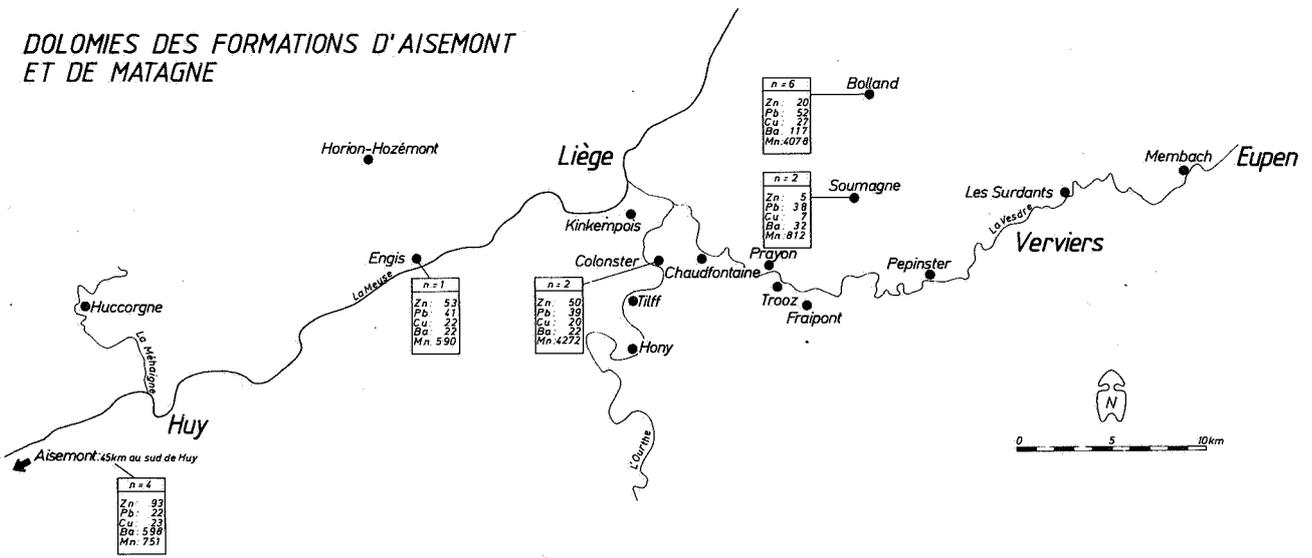


FIG. 21.- Variation géographique des fonds géochimiques (moyennes géométriques) dans les calcaires purs.

DOLOMIES DE LA FORMATION DU ROUX



DOLOMIES DES FORMATIONS D'AISEMONT ET DE MATAGNE



SHALES DES FORMATIONS D'AISEMONT ET DE MATAGNE

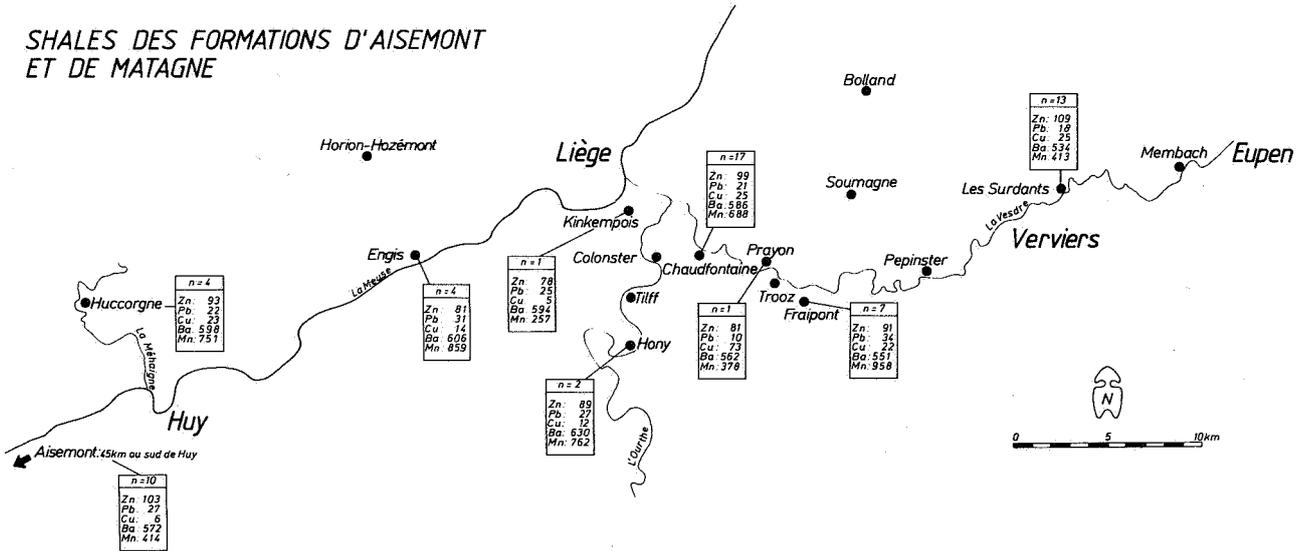


FIG. 22.- Variation géographique des fonds géochimiques (moyennes géométriques) dans les dolomies et les shales.

Lustin, semblaient se dessiner autour du haut-fond de Chaudfontaine, ne se confirme pas dans les formations d'Aisemont et de Matagne. Le Mn suscite cependant une remarque. En effet, par rapport aux calcaires de la formation de Lustin, les calcaires des formations d'Aisemont et de Matagne présentent des teneurs en Mn nettement plus élevées, en particulier à Hony (1258 ppm) et à Soumagne (905 ppm).

- Dolomies de la formation du Roux (fig. 22) : pas de gradient significatif. Une particularité se dégage cependant : alors que dans le cas des autres formations, le fond géochimique en Zn est très souvent supérieur au fond géochimique en Pb, dans les dolomies de la formation du Roux, c'est l'inverse qui est de règle.
- Dolomies des formations d'Aisemont et de Matagne (fig. 22) : de nouveau, Bolland et Soumagne se distinguent des autres localités par de faibles valeurs en Zn (respectivement 20 et 5 ppm). A Aisemont, par contre, les teneurs en Zn (93 ppm) et en Ba (598 ppm) sont élevées. Dans le cas du Zn, il semblerait donc exister un gradient positif E-W, mais celui-ci ne se vérifie pas pour les autres éléments. A signaler aussi des teneurs en Mn très élevées à Bolland (4078 ppm) et à Colonster (4272 ppm).
- Shales des formations d'Aisemont et de Matagne (fig. 22) : aucun gradient pour aucun des éléments. En outre, absence totale de corrélation entre les teneurs en Ba et Mn.

F.- CONCLUSIONS

Par rapport aux objectifs précisés au début de cette étude, les conclusions suivantes peuvent être dégagées :

A PROPOS DES FONDS GEOCHIMIQUES

Parmi les 5 classes lithologiques considérées, les calcaires purs sont les plus pauvres en Ba et Fe et parmi les plus pauvres en Mn, Pb, Cu et Zn. En outre, la plupart des coefficients de corrélation entre ces éléments et Ca sont négatifs. L'introduction de ces éléments au cours d'une sédimentation calcaire totalement dépourvue d'éléments détritiques est donc tout à fait accessoire. Si des gisements sont interstratifiés dans de telles roches, c'est qu'au phénomène de sédimentation calcaire se superposent d'autres événements générateurs de solutions minéralisantes.

Par contre, de nombreux éléments sont étroitement liés soit à la fraction argileuse (cas notamment de Ba, Fe et Zn) soit à la dolomitisation (cas de Mn et Pb). Les conditions de fixation de ces éléments s'intègrent donc dans un schéma classique rappelé par Barbier (1979, p. 8) en ce qui

concerne la liaison à la fraction argileuse : «*Depuis longtemps l'on sait que beaucoup d'éléments en trace présents dans les roches carbonatées sont contenus dans la fraction argileuse de ces roches*». Les shales constituent en effet les sédiments les plus riches en Zn et Cu. Comme les shales subissent des transformations importantes au cours de la diagénèse, dont la libération d'une grande partie des métaux adsorbés, il y a tout lieu de penser que ces tendances étaient encore plus marquées dans le sédiment fraîchement déposé. Ces derniers constituent donc une source potentielle importante de métaux.

Le rôle de la dolomitisation est également important. Dans tous les cas de cette étude, il s'agit de dolomies liées aux strates. Elles se sont développées au détriment de calcaires dès les premiers stades de la diagénèse et ont subi tout au long de leur histoire des transformations qui ont oblitéré progressivement les structures originales. Si la dolomitisation a fortement lessivé le Sr et en partie, le Zn des calcaires, elle ne semble pas avoir eu d'influence sur le Ba. Par contre, elle a introduit des quantités importantes de Mn, des quantités moyennes de Fe et des quantités non négligeables de Pb.

Bref, cette analyse des fonds géochimiques de diverses roches sédimentaires souligne le rôle passif des calcaires en tant que source de Ba, Fe, Mn, Pb, Zn et Cu. Au niveau des gisements stratiformes, le rôle des calcaires se limite donc à celui de Piège. Enfin, c'est toujours dans les formations d'Aisemont et de Matagne que les fonds géochimiques en Ba, Fe, Zn, Mn et Sr sont le plus élevés.

A PROPOS DES GRADIENTS GEOCHIMIQUES

Tant au sein du synclinorium de Verviers que dans les parties des synclinaires de Namur et de Dinant qui ont été prises en considération, il ne semble pas se dégager de gradients régionaux significatifs. La seule exception concerne le Zn dans les calcaires de la formation de Lustin dont les teneurs augmentent dans la région du haut-fond de Chaudfontaine.

A PROPOS DES ANOMALIES GEOCHIMIQUES

Les formations de Naninne, de Nèvreumont et du Roux n'ont pas été échantillonnées en un nombre suffisant de localités pour permettre de tirer des conclusions générales sur la répartition des anomalies qu'elles renferment. Néanmoins, à Colonster et à Tilff, le caractère anomal de la formation de Nèvreumont est très net pour Pb, Zn, Cu, Ni, Ba et As.

Par contre, les formations de Presles, Lustin, Aisemont et Matagne ont été étudiées en de

nombreux points, principalement localisés dans le synclinorium de Verviers, mais également en quelques points des synclinoria de Namur et de Dinant. Dans ces formations, les anomalies se localisent préférentiellement à des ruptures sédimentologiques caractérisées soit par des régressions-transgressions, soit par des variations lithologiques importantes. En outre, les anomalies situées au sein des formations carbonatées sont très souvent associées à des joints plus argileux traduisant également des variations lithologiques, cette fois, mineures.

Parmi les éléments anomaux, Zn est omniprésent et parfois solitaire. Cette dernière caractéristique est systématique au sommet de la formation de Lustin et à la base du premier biostrome à *Phillipsastraea*. Dans les formations d'Aisemont et de Matagne, Ba est fréquemment associé à d'autres métaux. As est un bon indicateur d'anomalie. Là où son caractère anomal s'affirme, il en est de même de celui d'un ou plusieurs autres métaux.

Dans la formation de Presles, où les faciès changent considérablement d'une localité à l'autre, les anomalies sont fréquentes et extrêmement diversifiées. Rappelons qu'il s'agit d'une formation de faible épaisseur (maximum 4 m), déposée en phase transgressive extrêmement rapide. Aux environs et à l'E des Mazures, elle débute par un banc de shales à hématite oolithique. Aux Surdants, on passe d'oolithes calcaires à des oolithes d'hématite et de chamosite, le tout voisinant avec des mouchetures de sulfures de fer. A Trooz, un calcaire dolomitique à oolithes brisées se substitue totalement au faciès argileux. A Colonster, la formation de Presles débute par des calcaires noduleux et se termine par des schistes noirs à nodules calcaires, l'ensemble renfermant çà et là des mouchetures de galène et de sphalérite. En Allemagne, cette formation dénommée «Grenzschiefer» est épaisse de 3 à 5 m et est légèrement enrichie en Zn (300 ppm) et Cu (180 ppm) (Scheps & Friedrich, 1983). Enfin, dans toutes les localités du synclinorium de Verviers, la formation de Presles se signale par une anomalie en P.

Dans les formations de Lustin, d'Aisemont et de Matagne, quelle que soit la localité, les anomalies se rencontrent principalement à la base et au sommet des séries carbonatées. Les anomalies essentiellement zincifères situées à Trooz et Prayon dans les shales de la formation d'Aisemont posent problème. Si à Prayon, une pollution par les fumées de l'usine métallurgique est prouvée, il n'en est pas de même dans le cas de Trooz. Quoiqu'il en soit, il faut signaler qu'en Allemagne, dans le synclinal d'Inde, équivalent oriental du synclinorium de Verviers, Scheps &

Friedrich (1983) mentionnent, exactement au même niveau stratigraphique, des anomalies en Zn qui se développent sur 4 m d'épaisseur et atteignent 1000 ppm.

Scheps & Friedrich (1983, p. 415) ont émis l'opinion que les calcaires des formations de Nèvremont, du Roux et de Lustin ne leur paraissaient pas favorables à l'individualisation d'une minéralisation sulfurée par manque de «sulphide traps». Les perspectives seraient toutes différentes dans les formations d'Aisemont et de Matagne. En effet, pour ces auteurs (Ibid., p. 420) : «*The black shales and nodular limestones were deposited in a restricted environment of a swell and basin facies on top of an irregular subsiding platform. This sedimentary environment is favourable for sulphide mineralization*».

La minéralisation de Chaudfontaine n'est pas annoncée ni suivie par des roches à fond géochimique anomal. Par contre, la surface-temps qui porte cette minéralisation est régionalement anormale. Toutefois, les anomalies sont d'intensité très variable et concernent des assemblages d'éléments différents selon les endroits. La situation diffère donc de celle des gîtes stratiformes de la bordure méridionale du Massif Central français (Barbier, 1979; Aubage *et al.*, 1982). Par ailleurs, la minéralisation de Chaudfontaine ne semble pas entourée par un halo géochimique d'extension locale et certainement pas par un halo en Mn qui entoure certains gîtes d'origine exhalative synsédimentaire comme cela a été signalé notamment à Tynagh (Irlande) par Russel (1974) et Meggen (RFA) par Gwosdz & Krebs (1977).

G. ANNEXES

G.1. PROFILS GEOCHIMIQUES

G.1.a. Mode d'échantillonnage et d'analyse

Les coupes ont été levées et échantillonnées selon la technique du banc par banc. Des échantillons ont été prélevés environ tous les mètres. Dans les zones à lithologie très variable, l'échantillonnage a été resserré. Les sondages ont en général été échantillonnés avec une densité plus faible, fonction des témoins conservés dans les collections du Service géologique de Belgique. Les échantillons débarrassés de la partie superficielle soumise à l'altération atmosphérique pesaient entre 1 et 2 kg. Le prélèvement ponctuel a été préféré au prélèvement par rainurage car si ce dernier a l'avantage de refléter de façon plus précise l'homogénéité du banc, il présente l'inconvénient d'être très sensible aux effets de surface (altération météorique, enduits calcitiques

ou ferrugineux, pollution, etc.). En outre, un témoin de chaque échantillon a été gardé en vue d'études pétrographiques complémentaires soit pour le contrôle des résultats géochimiques, soit pour l'interprétation des microfaciès.

En laboratoire, après prélèvement du témoin pour étude pétrographique, les échantillons ont été lavés, séchés, puis réduits en morceaux centimétriques à la presse hydraulique. Une sélection de ces morceaux dépourvus de fossiles, veinules ou minéralisations, pesant 100 à 200 gr, a été broyée dans un mortier en agate dans le cas de roches non gréseuses et dans un mortier en carbure de tungstène dans le cas de grès. Une prise de 20 à 30 gr de poudre a ensuite été utilisée pour l'analyse par fluorescence X. Ces analyses ont été effectuées au Service géologique de Suède sur une installation Rigaku de type Simultix VI permettant l'analyse simultanée de 27 éléments. Ceux-ci et les limites de détection correspondantes sont présentées au tableau 10. 1133 échantillons ont été analysés. Les analyses ont été doublées pour 5 % d'entre eux.

Tableau 10.- Limites de détection.
Oxydes exprimés en %; éléments en ppm.

Eléments	Limites de détection	Eléments	Limites de détection	Eléments	Limites de détection
CaO	0.01	MgO	0.01	Al ₂ O ₃	0.01
SiO ₂	0.01	Na ₂ O	0.01	K ₂ O	0.01
P	10	Y	10	Rb	10
Zr	10	As	20	Sr	20
V	10	Ti	60	Cr	10
Ni	10	Co	10	Mn	80
Fe	35	Cl	50	S	50
Ba	45	Cu	10	Pb	20
Zn	10	Mo	10	W	10

G.1.b. Mode de représentation

Les profils géochimiques sont présentés par paires : sur la page de gauche, 12 éléments parmi lesquels les majeurs; sur la page de droite, 13 éléments parmi lesquels Ba, Cu, Pb et Zn regroupés sur le côté droit. Deux éléments, Mo et W, ont été omis des reports graphiques car systématiquement situés sous la limite de détection.

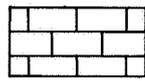
Les symboles utilisés dans les colonnes lithostratigraphiques des profils géochimiques sont décrits à la figure 23.

Aussi bien dans le cas des affleurements que dans le cas des sondages les épaisseurs des colonnes lithostratigraphiques sont des épaisseurs vraies. Dans le cas des sondages, il faut donc être attentif au fait que la position des repères de profondeur est tributaire du calcul de conversion en épaisseurs vraie.

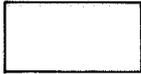
Une liste des coupes et sondages échantillonnés pour profils géochimiques est mentionnée au tableau 11. Dans le texte, les coupes sont généralement désignées par un lieu-dit. Le nom de la commune correspondante est cependant précisé en premier lieu dans le titre du profil géochimique.

Tableau 11.- Liste des coupes et sondages échantillonnés pour profils géochimiques.

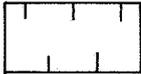
	pp.
Aisemont - 154 W 114 et 154 W 226	35
Bellevau - 136 W 274	49
Renoupré - 135 E 163 et 136 W 1615	54
Stembert - 136 W 1614	62
Bolland - sondage 122 W 260	66
Kinkempois - 134 E 493	69
Chaufontaine - sondage 134 E 303	72
- sondage 134 E 396	74
- sondage 134 E 769	76
- Bleurmout - 134 E 138	78
- Fonds des Cris - 134 E 203	79
- Les Thermes - 134 E 150	86
Colonster - 134 E 159	87
Engis - 133 E 96	90
Hony - 147 E 277	91
Trooz - 135 W 295	96
Fraipont - 135 W 295	97
Prayon - 135 W 406	106
Horion-Hozémont - 133 E 716	108
Huccorgne - Carrière - 132 E 38	110
- Chemin de la Famelette -	
132 E 292	110
Pepinster - 135 E 94	111
Soumagne - sondage 135 W 349	120
Membach - sondages 136 W 1613, 1616	
et 1617	122
Tilff - 134 E 160	123

LITHOLOGIE

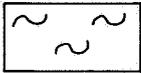
Calcaires



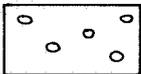
Calcaires argileux



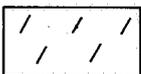
Calcaires subnoduleux



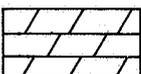
Calcaires noduleux



Dolomies



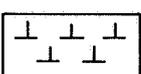
Shales dolomitiques



Shales



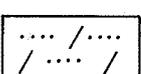
Shales carbonatés



Grès



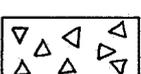
Grès dolomitiques



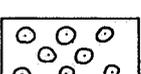
Conglomérat



Brèche



Oolithe

MACROFAUNEStromatopores lamellaires
et branchus

Stromatopores massifs

Tabulés lamellaires et
branchus

Tabulés massifs



Rugueux solitaires



Rugueux massifs



Phillipsastraea



Brachiopodes



Lamellibranches



Gastéropodes



Ostracodes



Bryozoaires



Crinoïdes



Echinoïdes



Oncoïdes



Végétaux



Fossiles remaniés

FIG. 23.- Symboles utilisés dans les colonnes lithostratigraphiques des profils géochimiques.

AISEMONT - 154 W 114 et 154 W 226

Localisation

- carte topographique IGN 47/6
- le village d'Aisemont est localisé à une dizaine de km à l'E de Charleroi. Les coupes sont situées à proximité de l'ancienne gare d'Aisemont (154 W 114 = tranchée de chemin de fer et flanc S de la carrière Moreau; 154 W 226 = flancs E et N de la carrière Moreau).

Références

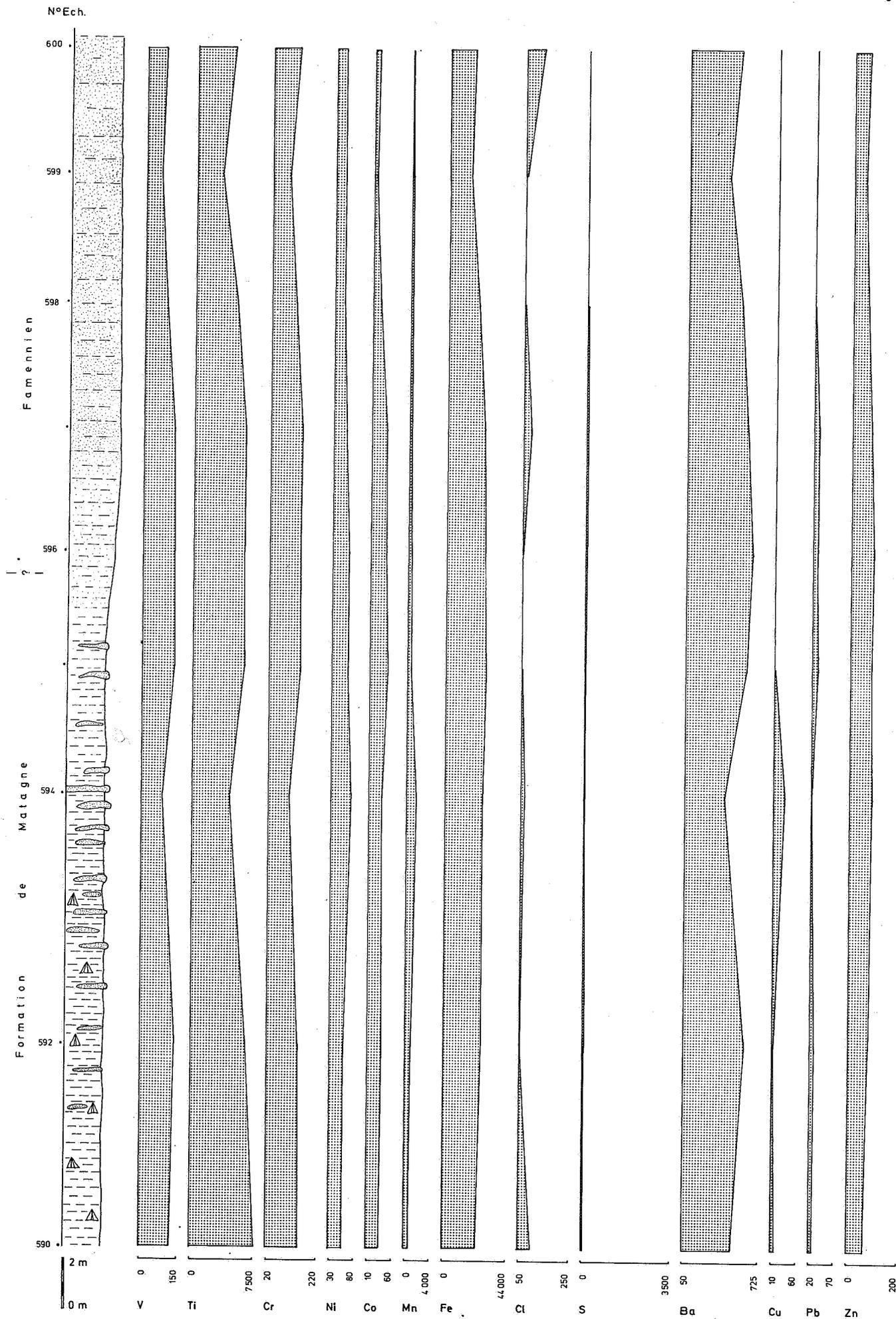
Lacroix (1972, 1974); Coen-Aubert & Lacroix (1979).

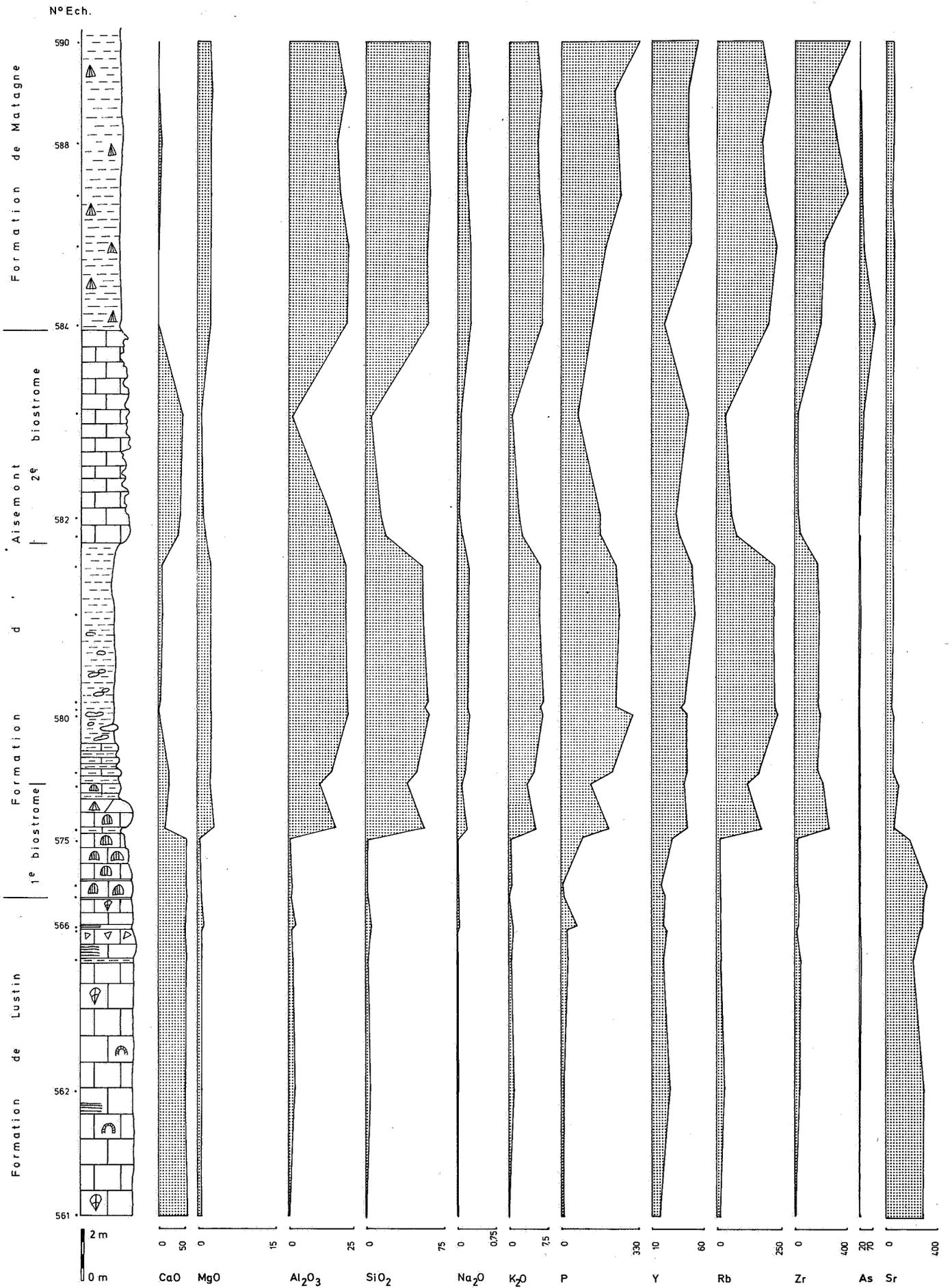
Géologie

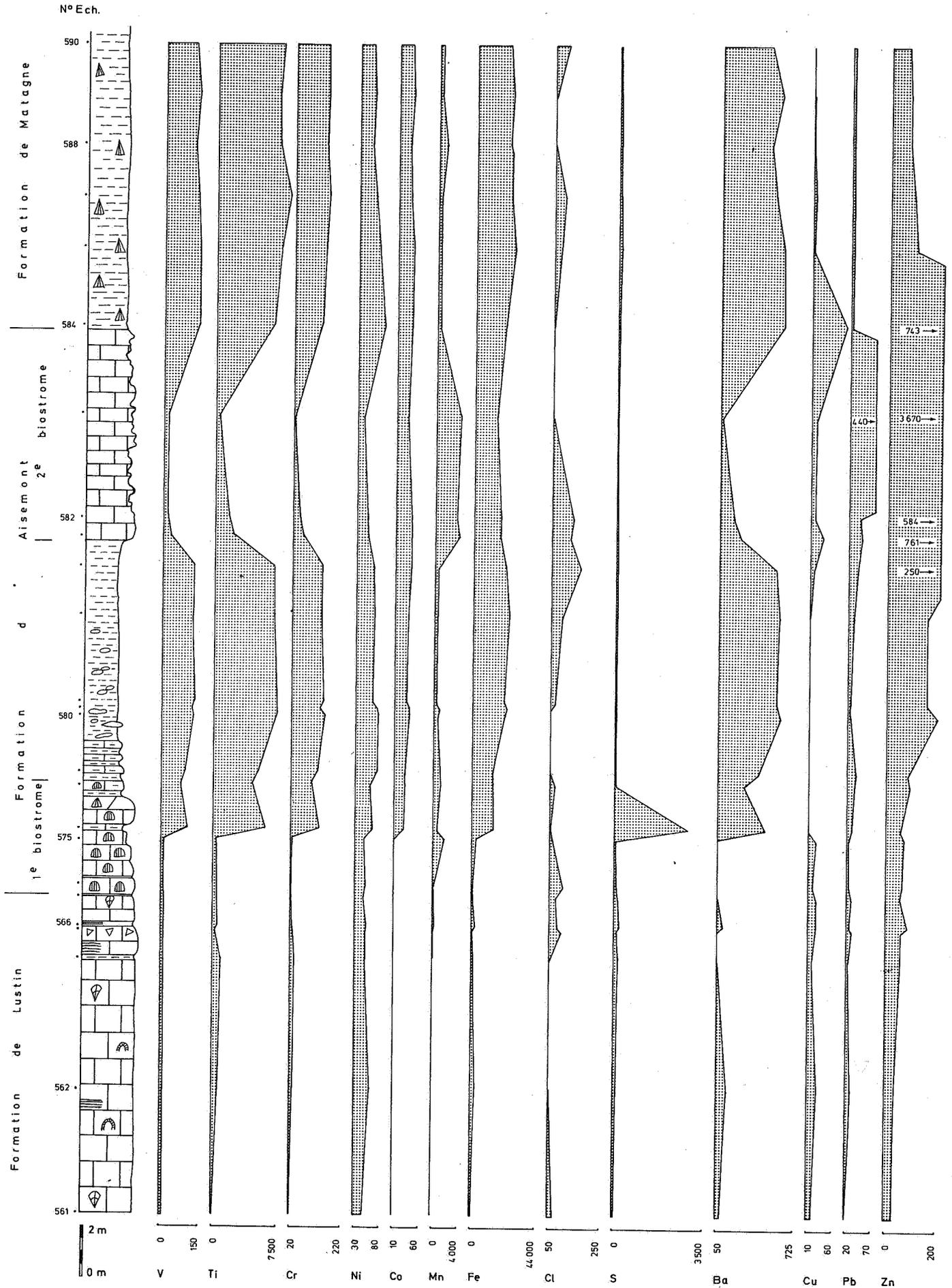
Ces deux coupes permettent d'observer une série presque continue de la formation de Naninne au Famennien, dont les couches gardent une direction (N70°E) et un pendage (70°S) quasi constants. Dans la carrière, on peut cependant reconnaître des failles transversales à déplacement dextre.

Géochimie

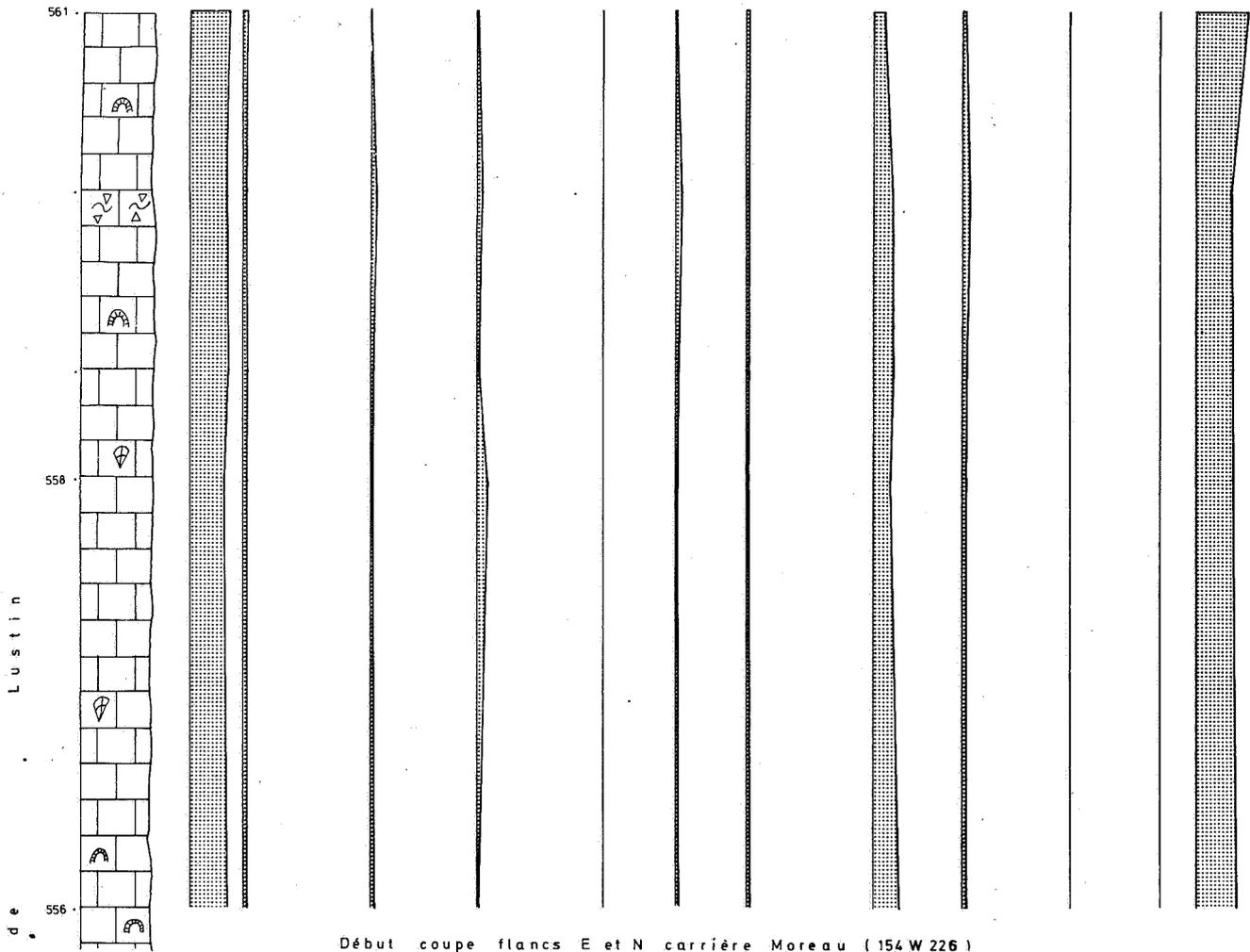
La formation de Nèvremont se caractérise localement par des anomalies en S (jusqu'à 10277 ppm), tellement abondantes qu'il est peut-être plus correct de parler à cet endroit de fond géochimique anomalement élevé. Cette zone ne renferme pourtant qu'une faible anomalie en Zn (260 ppm). A la base de la formation du Roux, faible anomalie en Zn (170 ppm) coïncidant avec une anomalie en S (5588 ppm). Le comportement géochimique de la formation de Presles est bien contrasté par rapport aux formations voisines. Dans la partie carbonatée de base, fortes anomalies en Fe (jusqu'à 44000 ppm : niveau à hématite oolithique) et très nette augmentation des teneurs en Co. Dans un banc carbonaté intercalé dans la partie argileuse du sommet, fortes anomalies en P (2662 ppm) et faibles anomalies en Cu (139 ppm) et Zn (190 ppm). La formation de Lustin est dépourvue d'anomalies. Toutefois, dans la partie inférieure, on relève la présence de deux niveaux de shales noirs, dont l'un fortement anomal en S (jusqu'à 36289 ppm) et P (1644 ppm) et légèrement enrichi en Fe, As, Co et Ni. Le deuxième biostrome à *Phillipsastraea* est particulièrement intéressant sur le plan géochimique. A l'affleurement, il présente l'aspect de dolomie cariée mais l'analyse ne révèle que de faibles teneurs en MgO (1 à 2.5 %) et Sr (60 ppm). Sur le plan géochimique, on retrouve tous les caractères d'une dolomie dédolomitisée. Les 4 échantillons prélevés à cet endroit sont anomaux en Zn (jusqu'à 3670 ppm), un est anomal en Pb (440 ppm) et un autre, légèrement anomal en Cu (75 ppm).



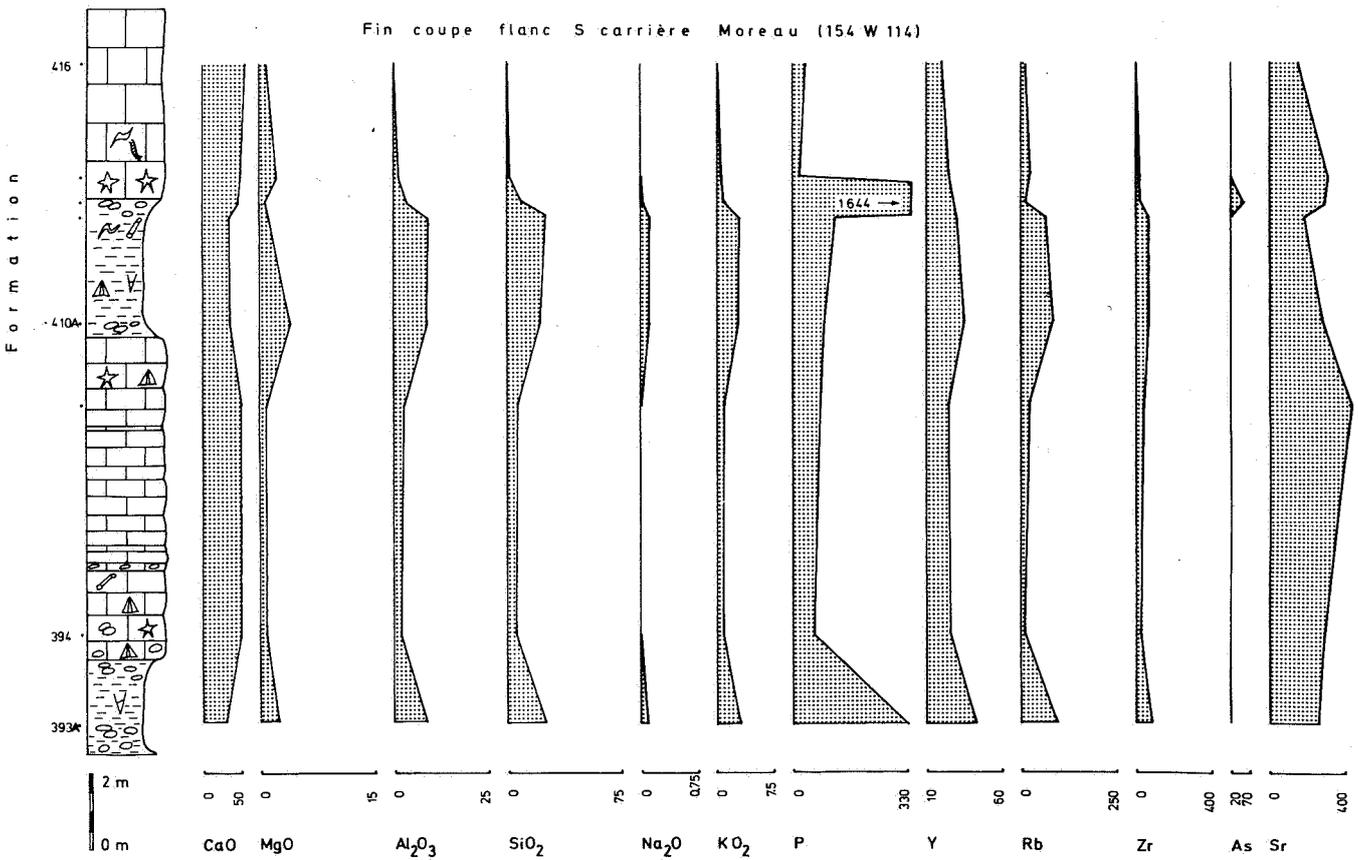




N° Ech.



Début coupe flancs E et N carrière Moreau (154 W 226)



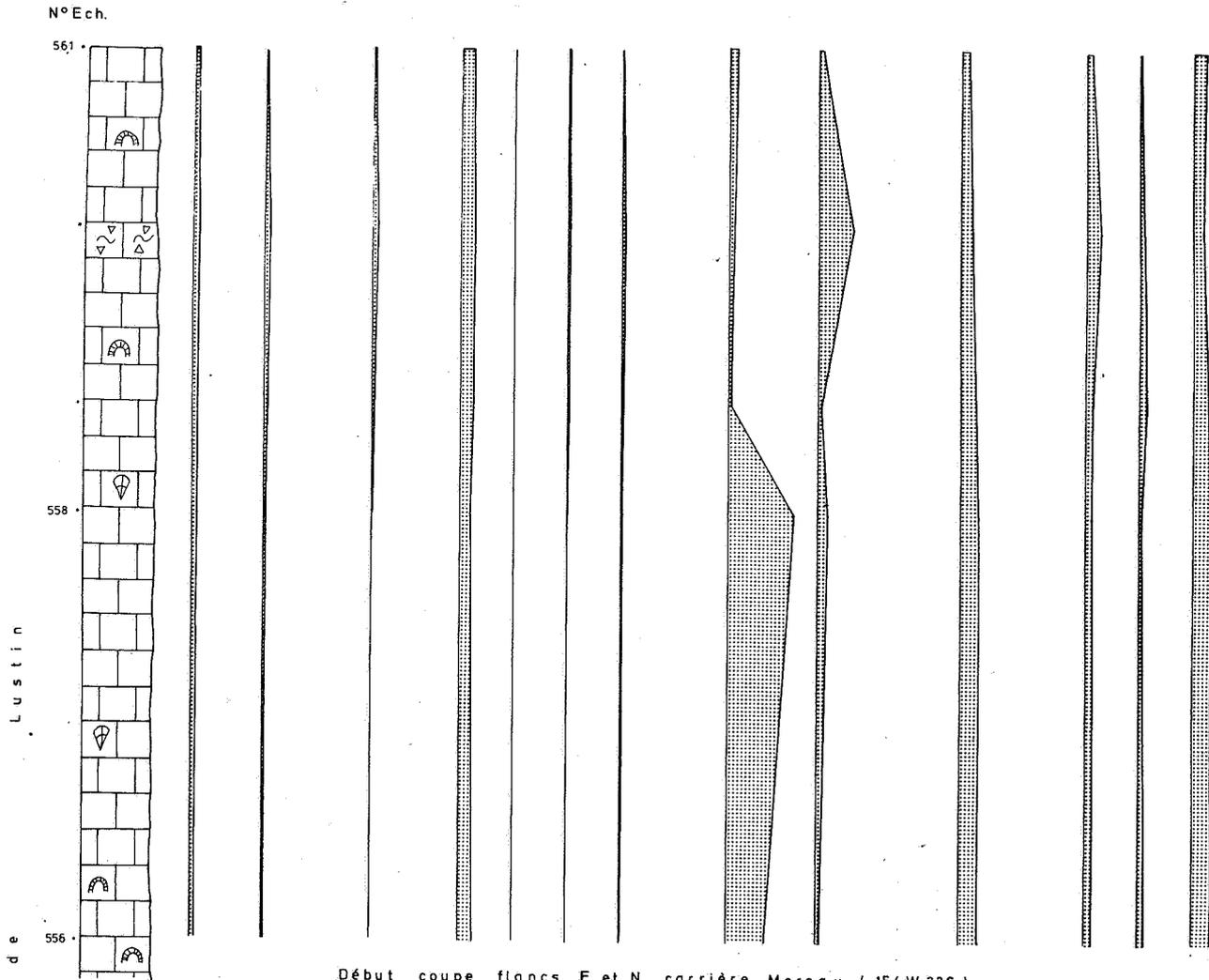
Fin coupe flanc S carrière Moreau (154 W 114)

2 m
0 m

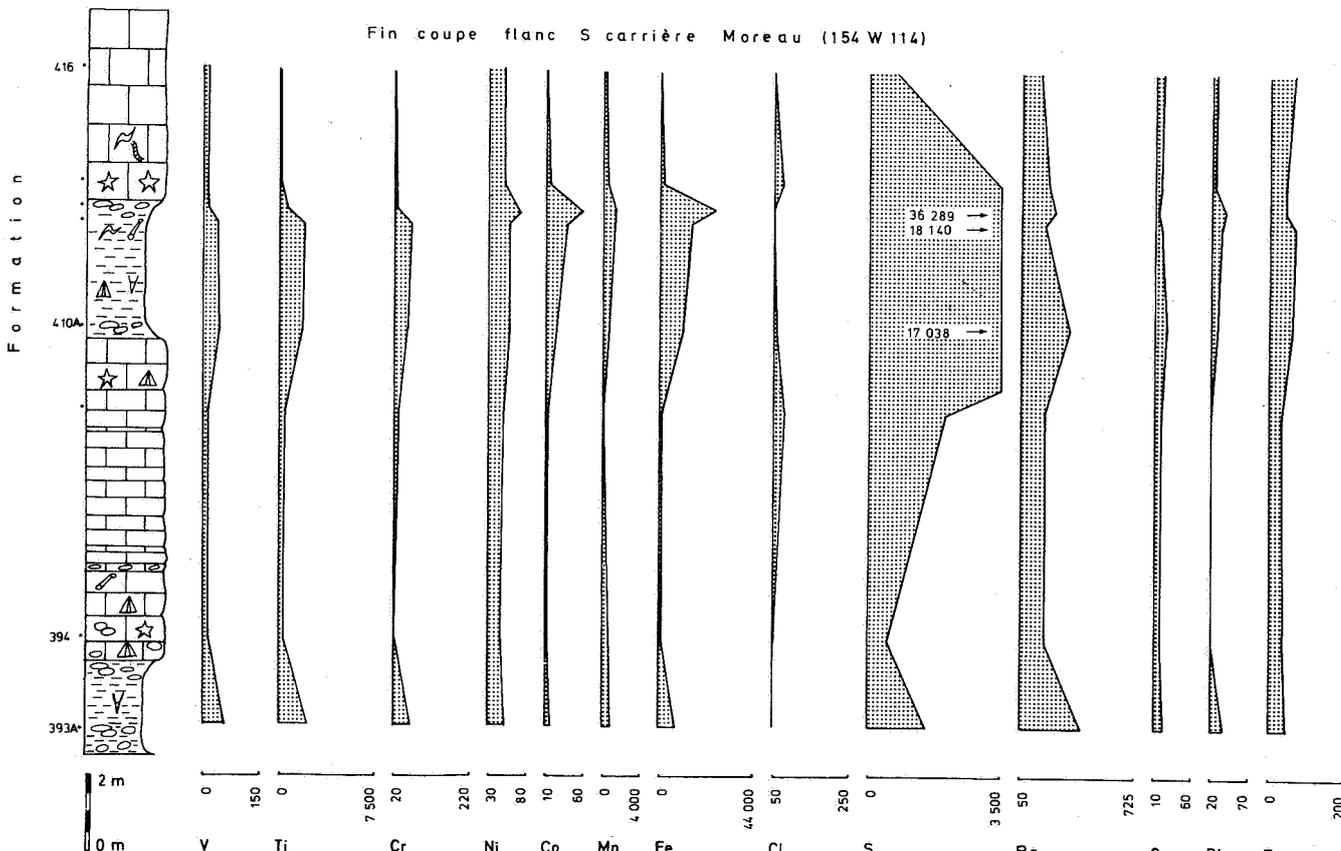
0 50 0 15 0 25 0 75 0 0.75 0 75 0 330 10 60 0 250 0 400 20 0 400

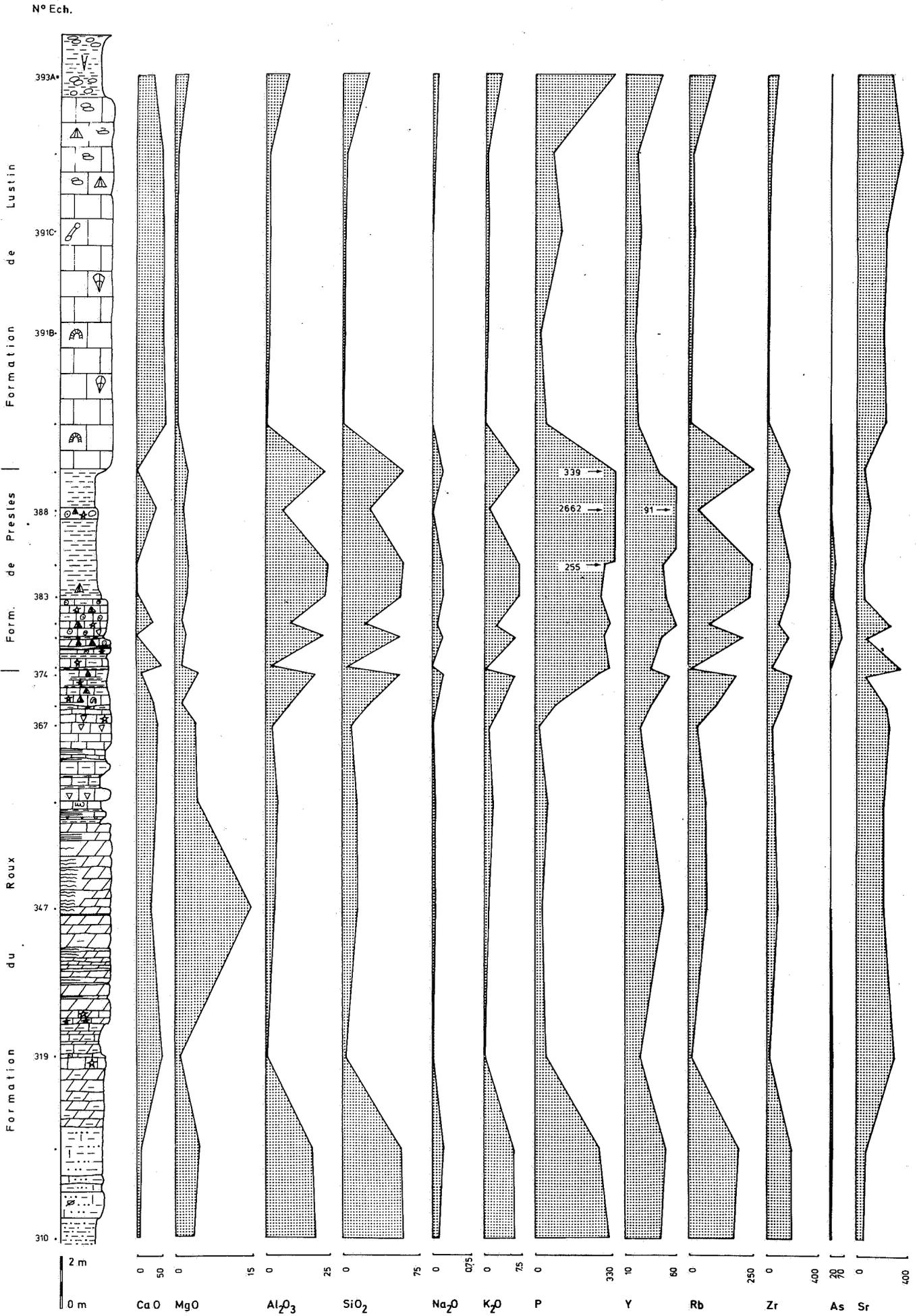
CaO MgO Al₂O₃ SiO₂ Na₂O KO₂ P Y Rb Zr As Sr

AISEMONT - 154 W 114 et 154 W 226

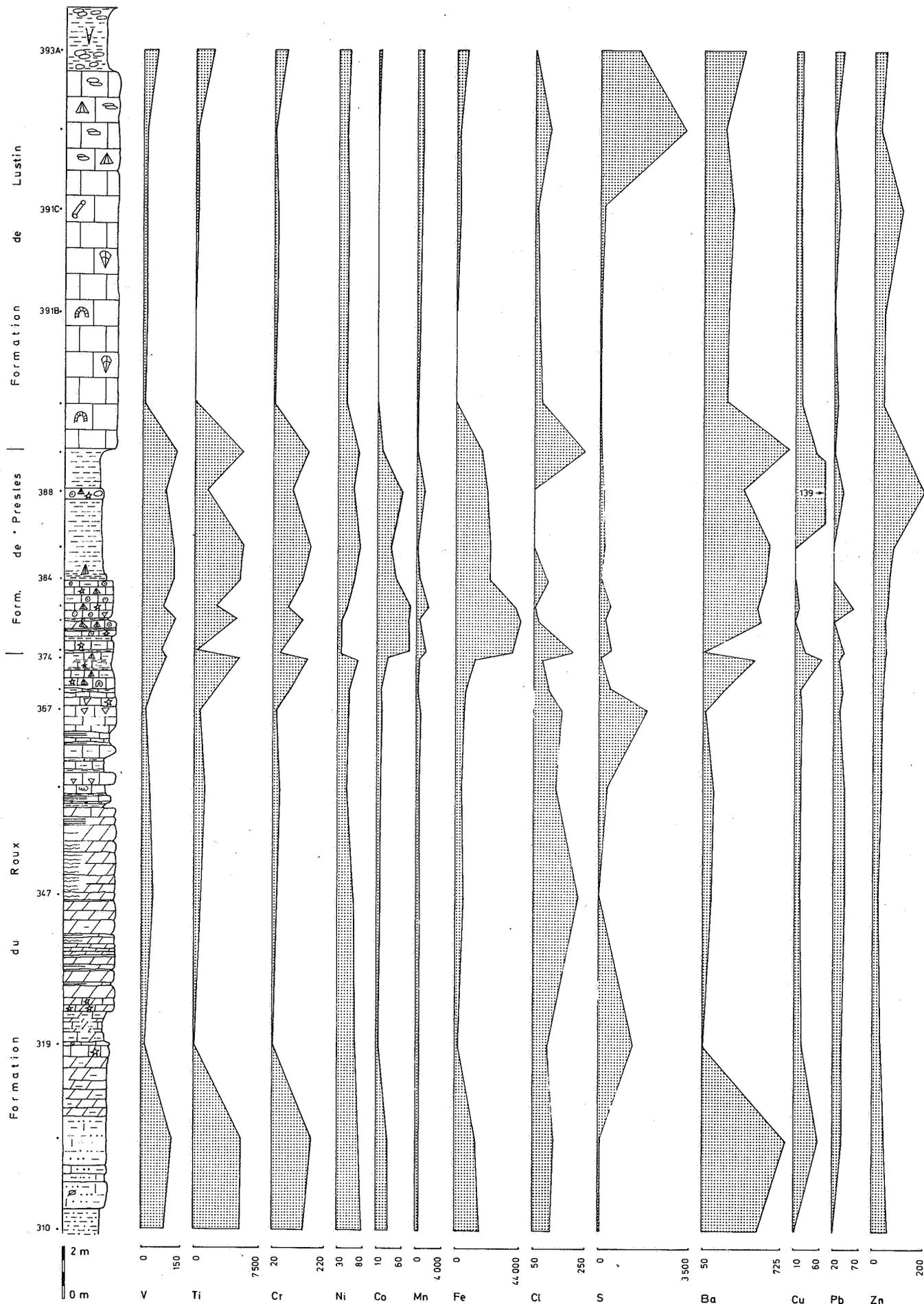


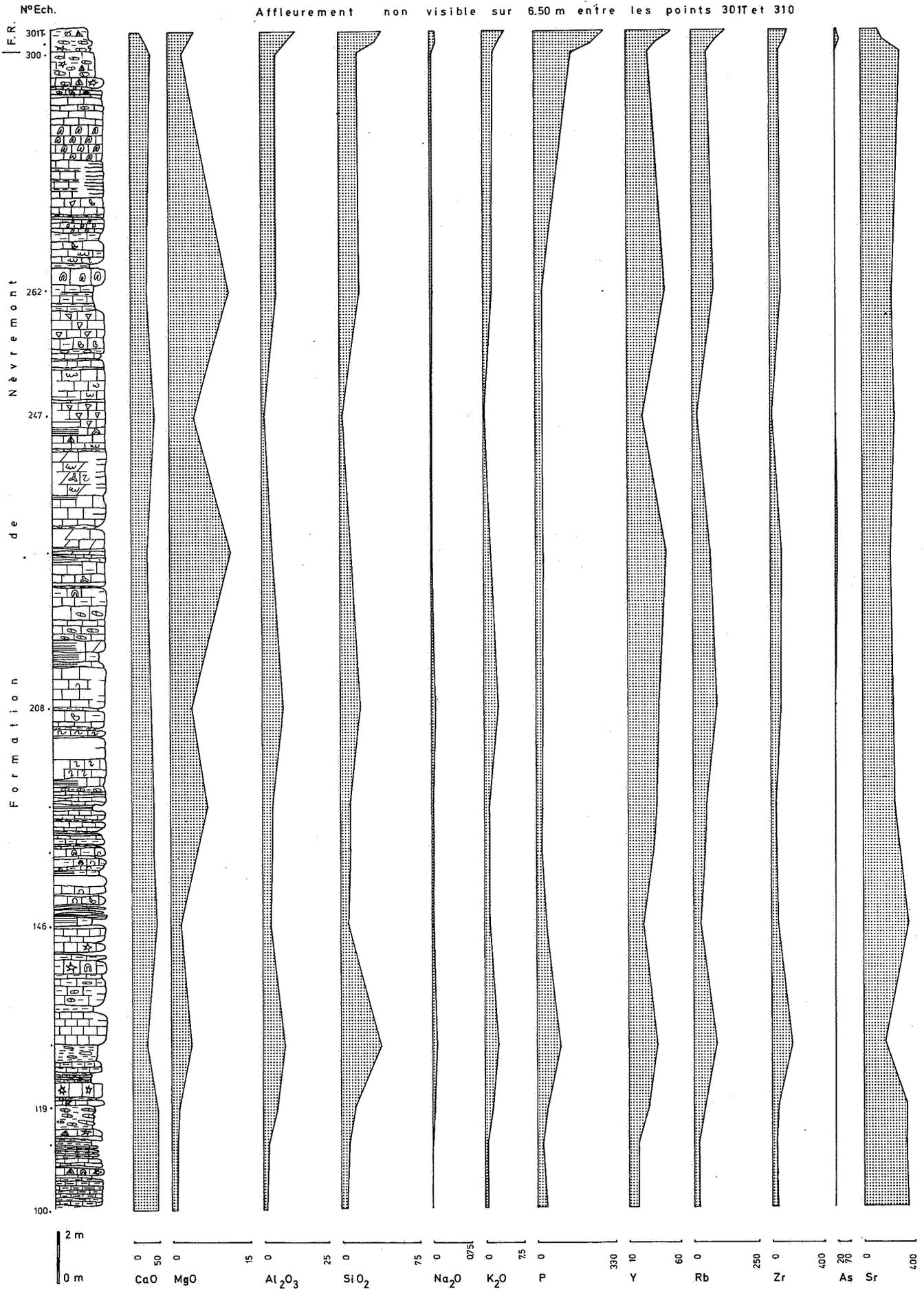
Début coupe flanc E et N carrière Moreau (154 W 226)





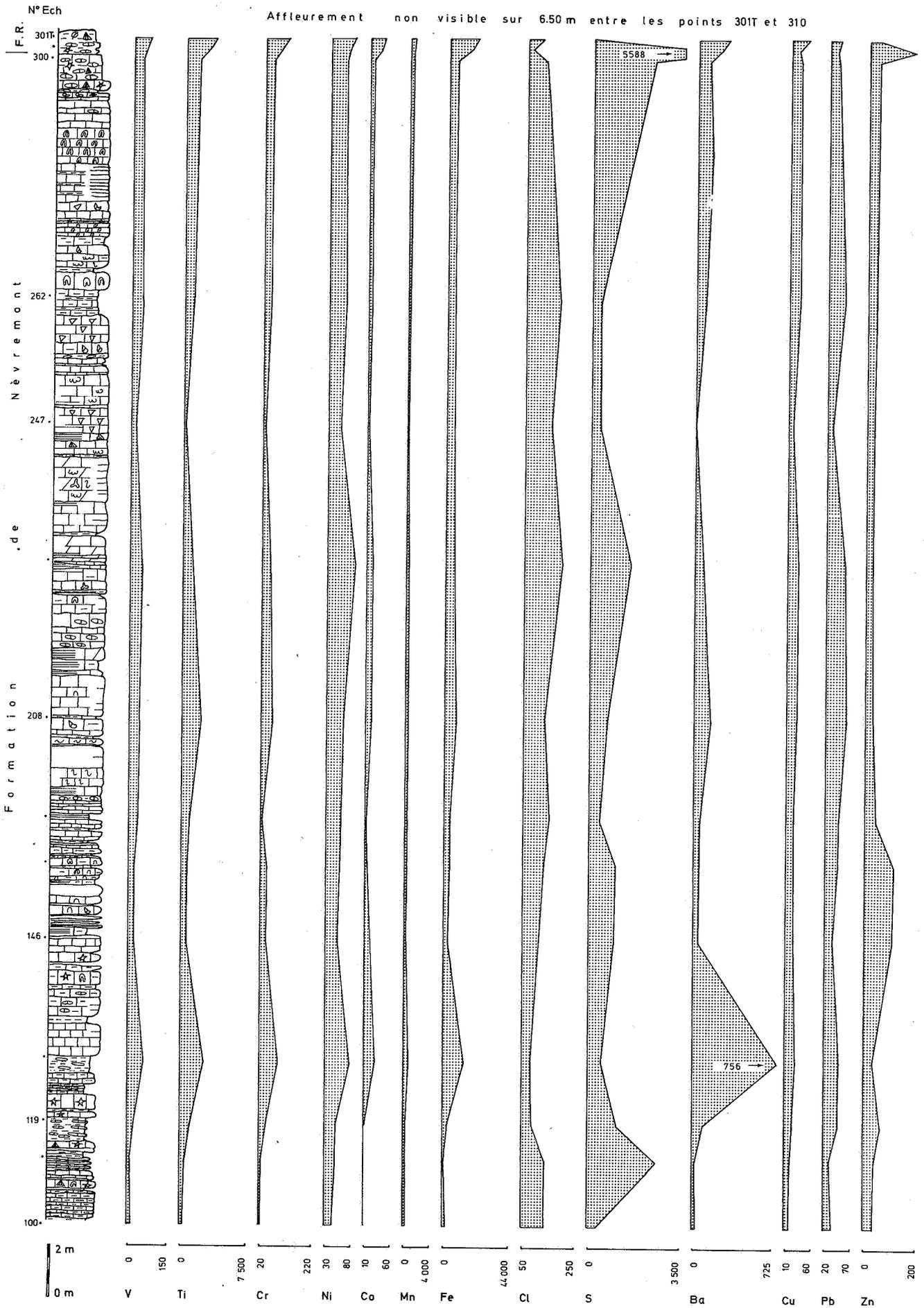
N° Ech.

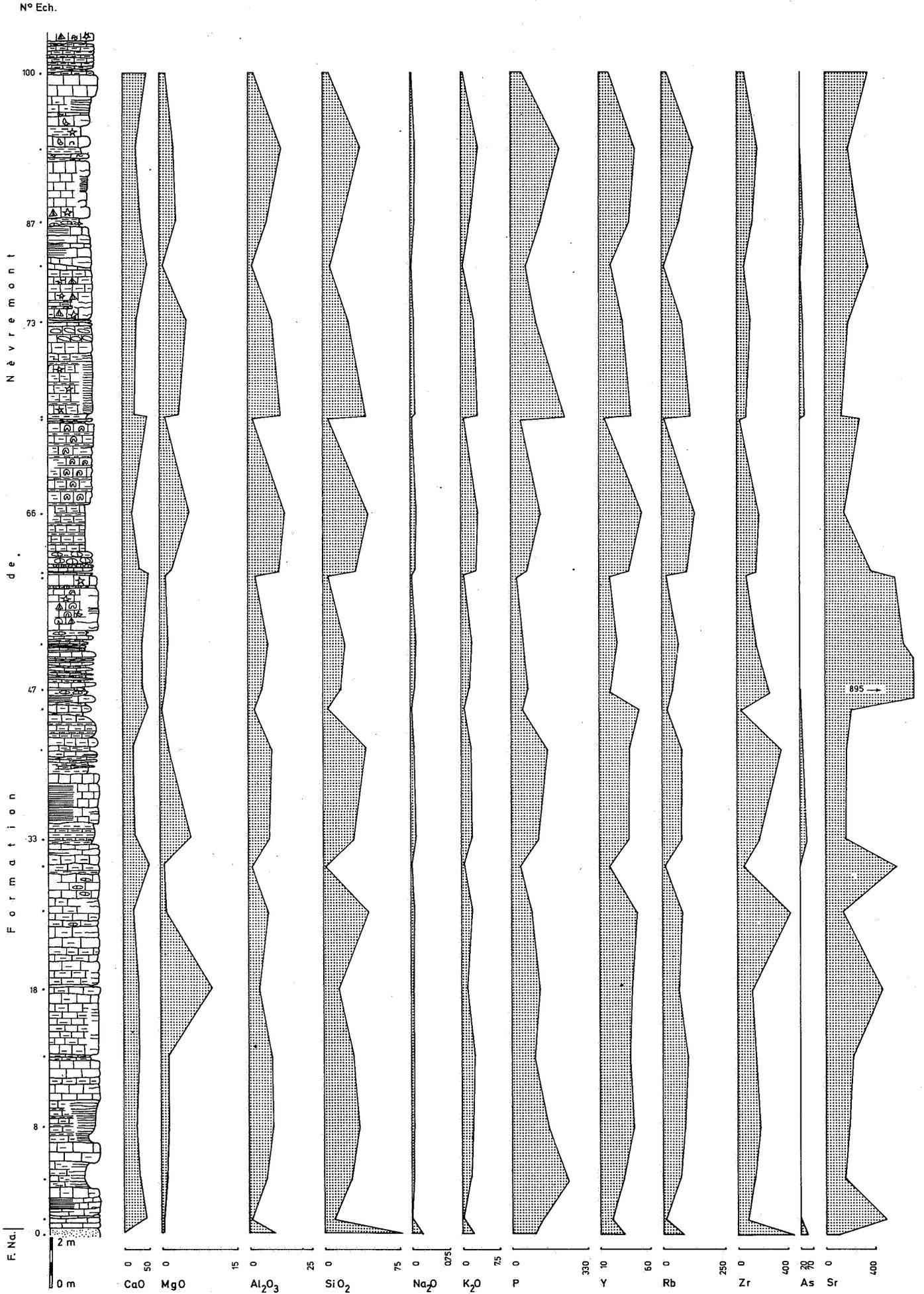


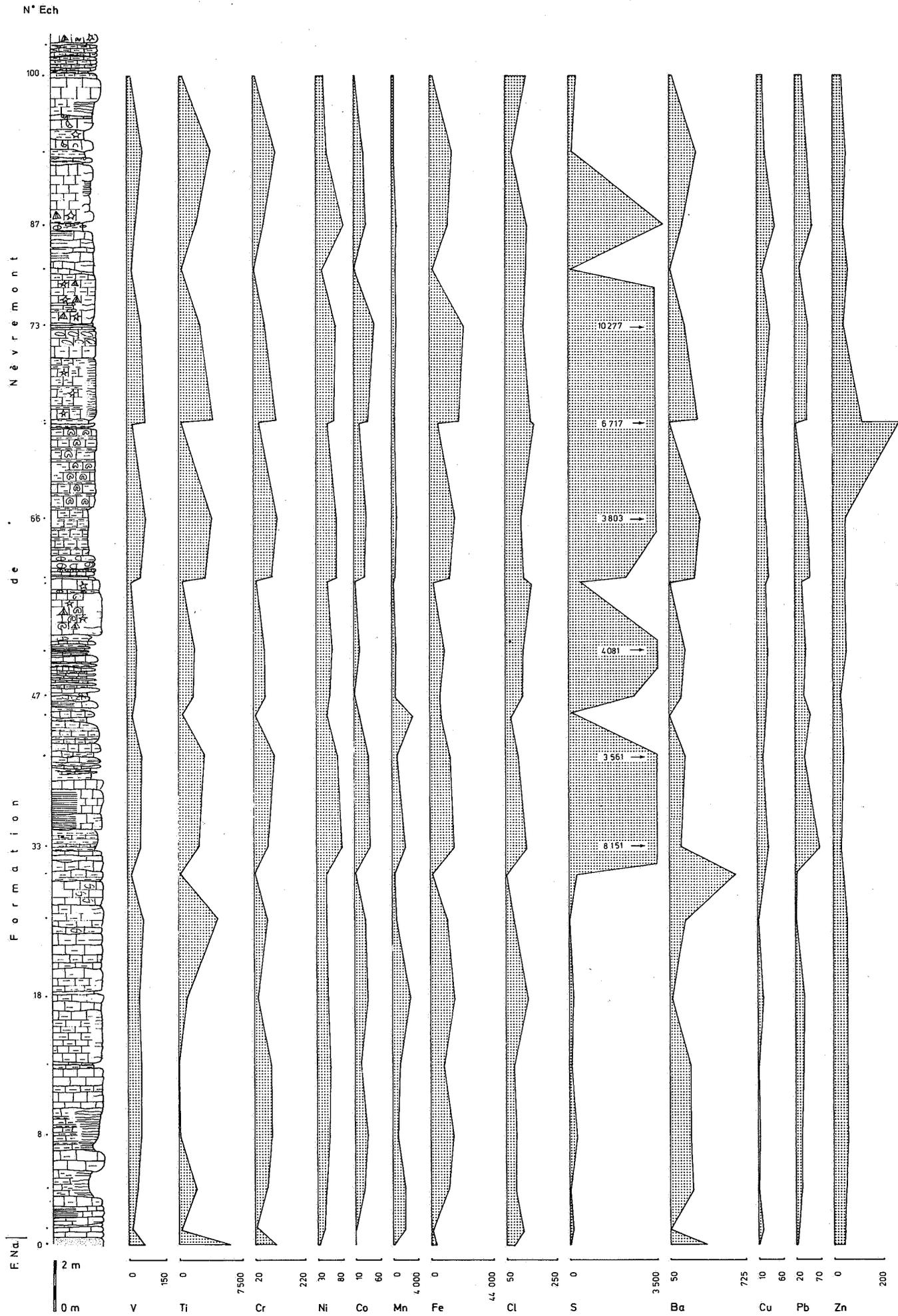


AISEMONT - 154 W 114

V







LES SURDANTS

La région des Surdants (aussi orthographié Surdents) se situe à la limite des communes d'Andrimont, de Stembert et de Limbourg. Quatre coupes y ont été levées :

- le long de la Vesdre, au lieu-dit Bellevau : 136 W 274;
- le long de la Vesdre, au lieu-dit Renoupré : 136 W 1615;
- dans la rue de Renoupré : 135 E 163;
- le long du chemin de fer : 136 W 1614.

A cet endroit, certes en regroupant plusieurs coupes, on peut observer la totalité des formations du Roux à Matagne.

ANDRIMONT - LES SURDANTS - BELLEVAU - 136 W 274**Localisation**

- carte topographique IGN 45/3
- route N31 Verviers-Eupen. A mi-distance entre les bornes K29 et K30, emprunter le pont qui traverse la Vesdre et suivre sur 500 m environ une route se dirigeant vers le lieu-dit Neuville. L'affleurement est situé en contrebas de cette route, au bord de la Vesdre, immédiatement au N du chemin de fer. Bellevau est aussi orthographié Bellevaux.

Références

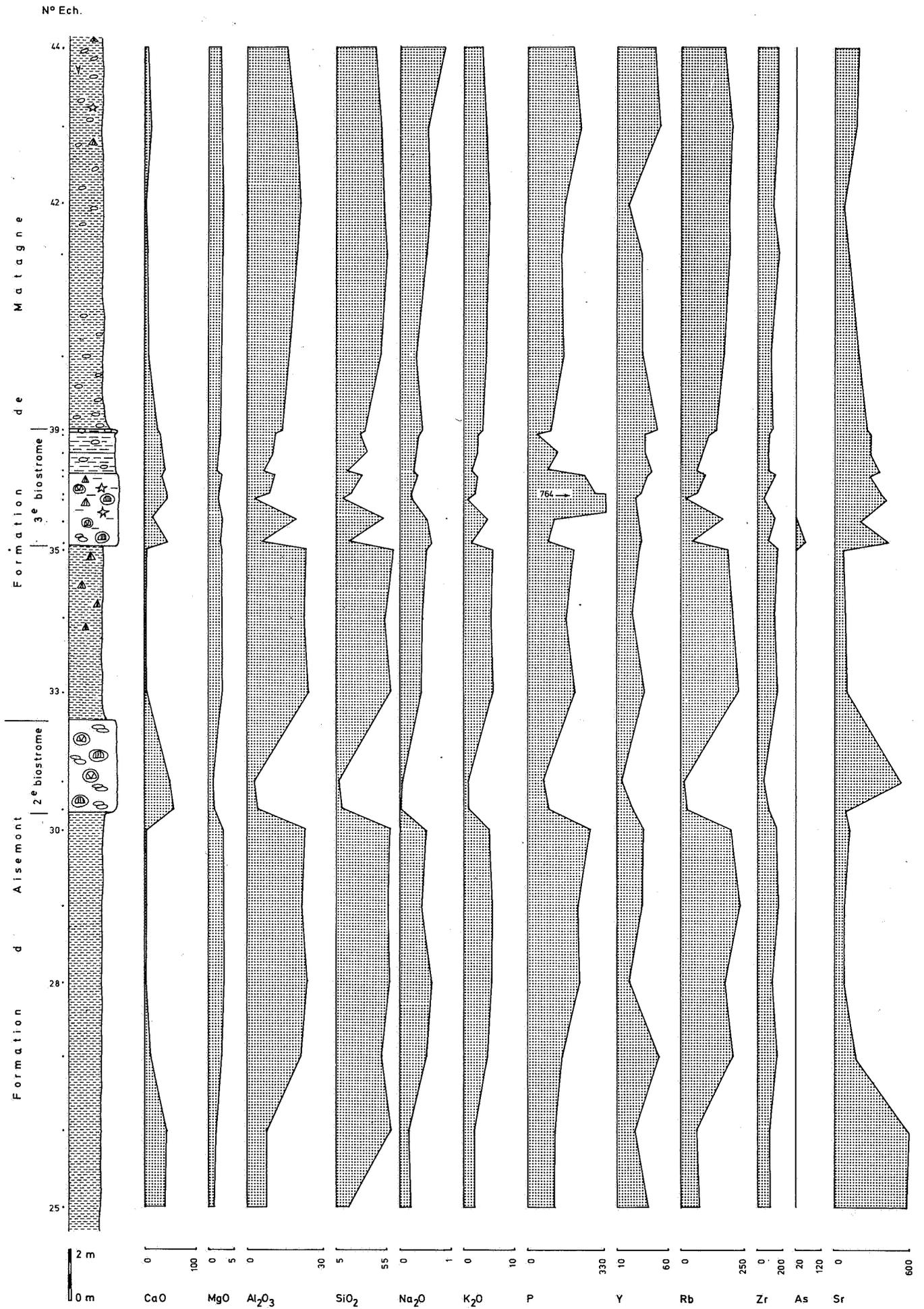
Coen-Aubert (1970, 1974); D'Heur (1970).

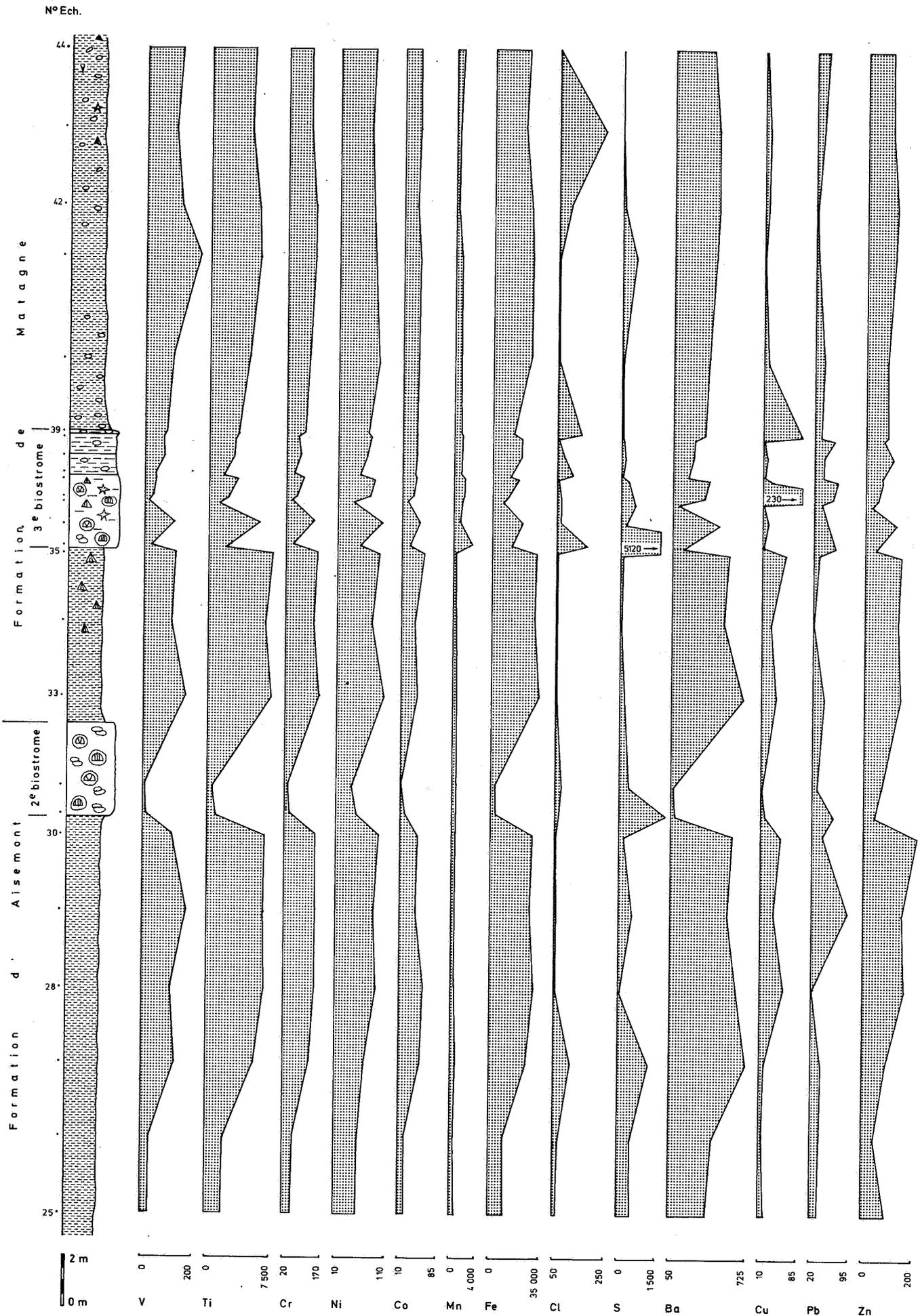
Géologie

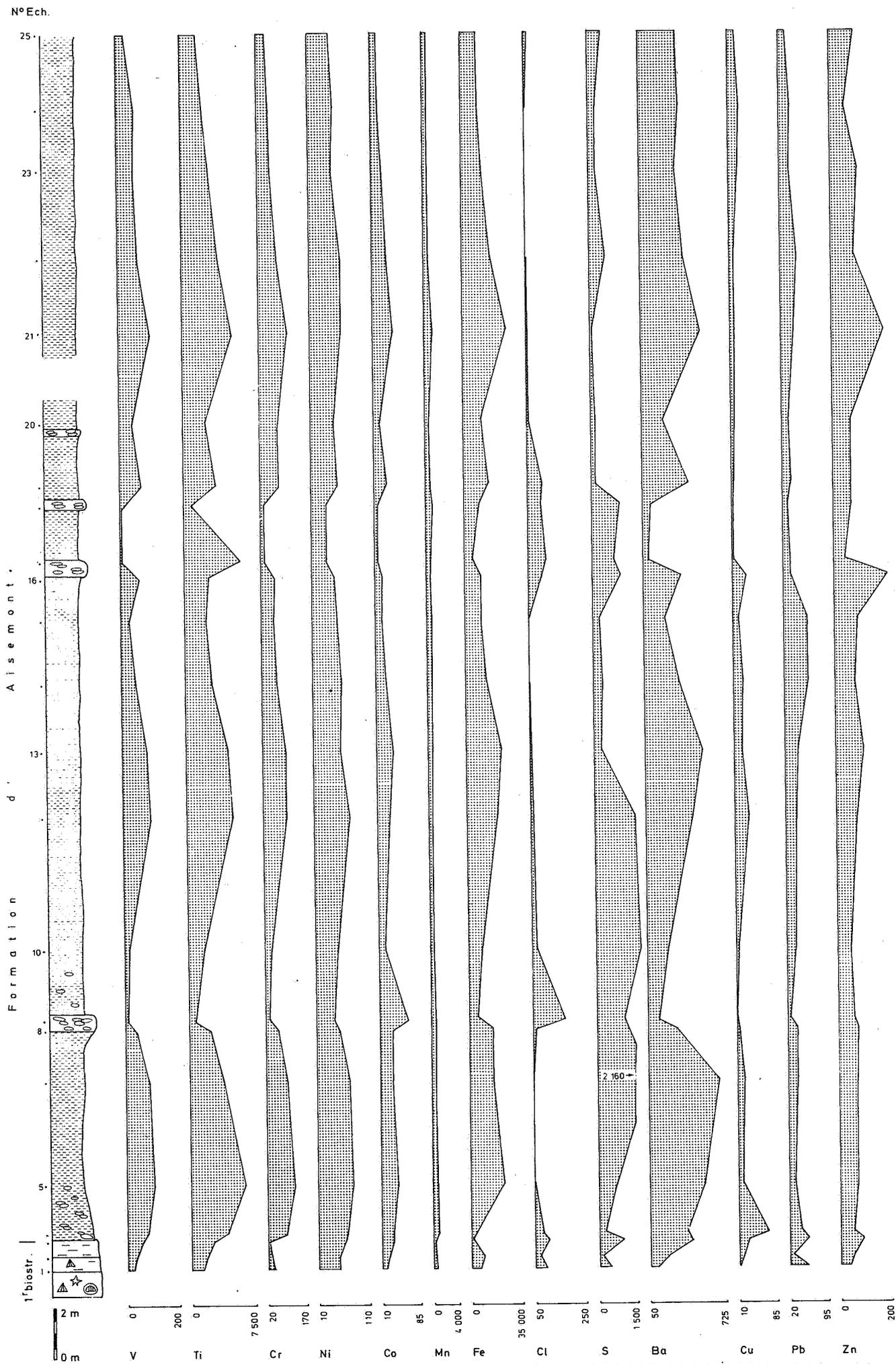
La coupe est située au flanc N d'un anticlinal s'ennoyant vers l'E. La partie terminale correspondant aux formations d'Aisemont et de Matagne y a été échantillonnée parce que, alors qu'à Renoupré, ces formations n'affleurent que de façon discontinue, à Bellevau, au contraire, elles sont exposées de façon quasi continue.

Géochimie

Dans le troisième biostrome : anomalies en P (764 ppm) et Cu (230 ppm). Egalement, légère augmentation de l'As, par ailleurs pratiquement toujours sous la limite de détection.







ANDRIMONT - LES SURDANTS - RENOUPRE - 135 E 163 et 136 W 1615

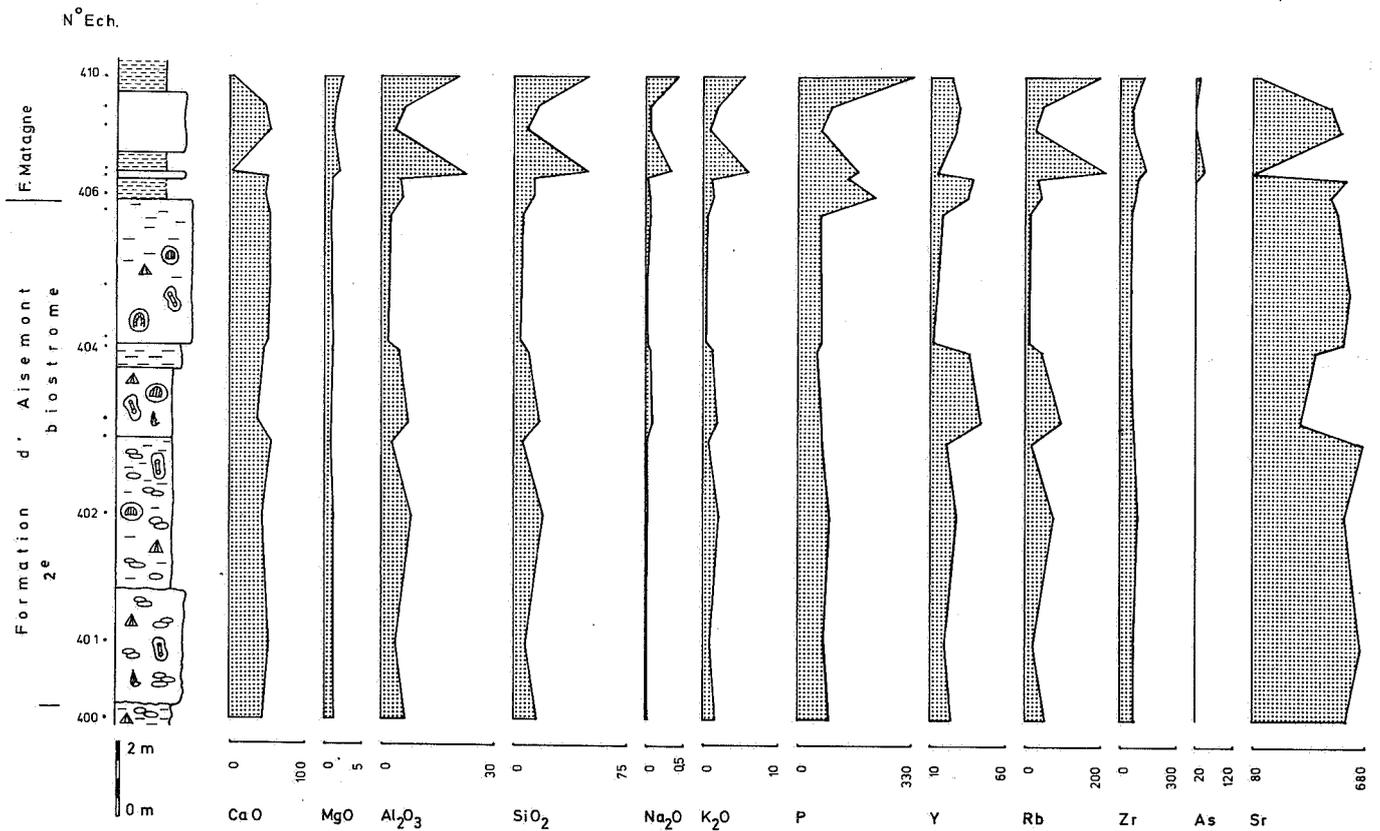
Localisation

- carte topographique IGN 43/5
- route N31, entre Verviers et Eupen, quelques kilomètres à la sortie de Verviers, à proximité de la borne K28.

Références

Coen-Aubert (1970, 1974); D'Heur (1970).

ANDRIMONT - LES SURDANTS - RENOUPRE - 135 E 163



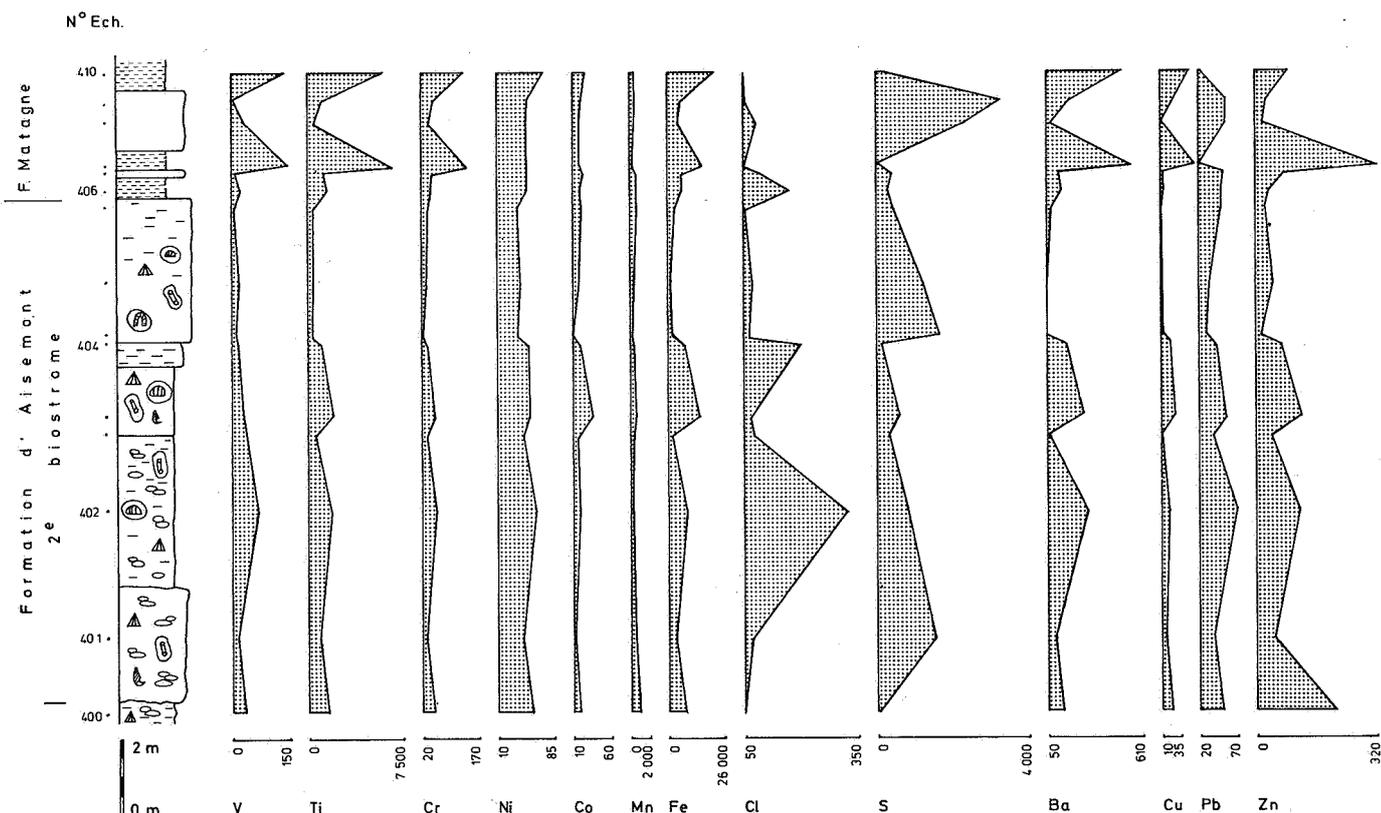
Géologie

Affleurements montrant les formations de Lustin, Aisemont et Matagne. Présence d'un anticlinal déversé vers le NW dont le flanc normal est affecté par un chevauchement accessoire (faille F1 de Coen-Aubert, 1974). Vers le SE, ce flanc est encore compliqué par un chevauchement plus important (faille de Renoupré, Coen-Aubert, 1974). La coupe est située dans le flanc inverse de l'anticlinal déversé et au N de la faille F1, là où la série n'est redoublée par aucun accident. Elle s'articule en trois tronçons. La série débute le long de la Vesdre. Cet affleurement (136 W 1615) a été échantillonné en continu à partir de la formation de Presles jusqu'à la base de la formation d'Aisemont. Cette dernière se poursuit dans le bois qui surplombe la Vesdre, mais elle n'y est observable que de façon très fragmentaire. Afin de minimiser cet inconvénient, le deuxième biostrome a également été échantillonné sur un affleurement de meilleure qualité situé dans la rue de Renoupré (135 E 163) où s'effectue le passage au Famennien.

Géochimie

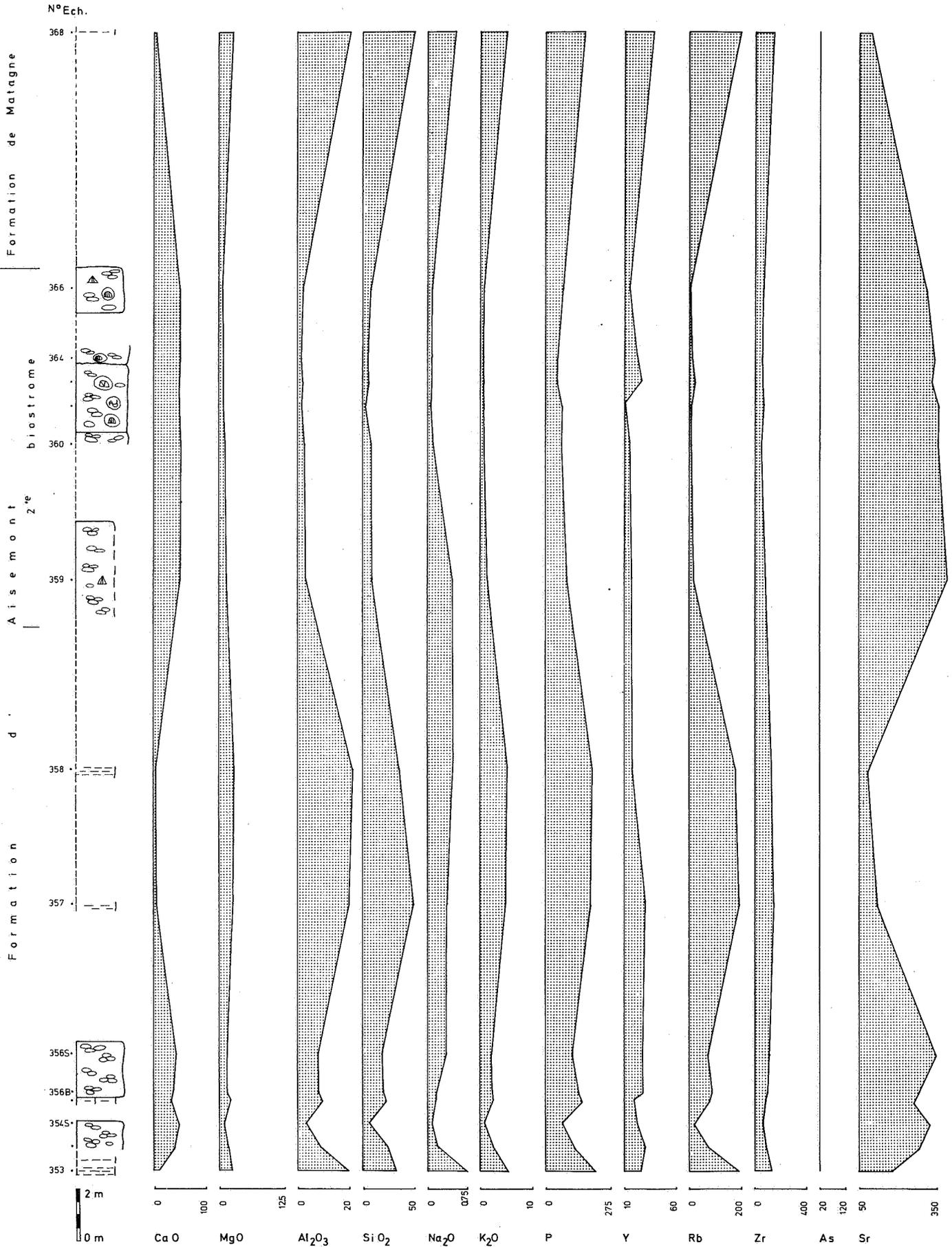
Raccord des profils I et II : les points 352 (sommet du profil II) et 353 (base du profil I) sont distants de 3.2 m. Faible anomalie en Zn (320 ppm) dans les premiers mètres qui surmontent le deuxième biostrome (faible, car située dans une roche support de nature argileuse). A cet endroit, de la galène a été trouvée dans la rue de Renoupré. Pourtant, on n'observe aucune anomalie plombifère. Par ailleurs, absence de toute anomalie significative dans la formation de Lustin.

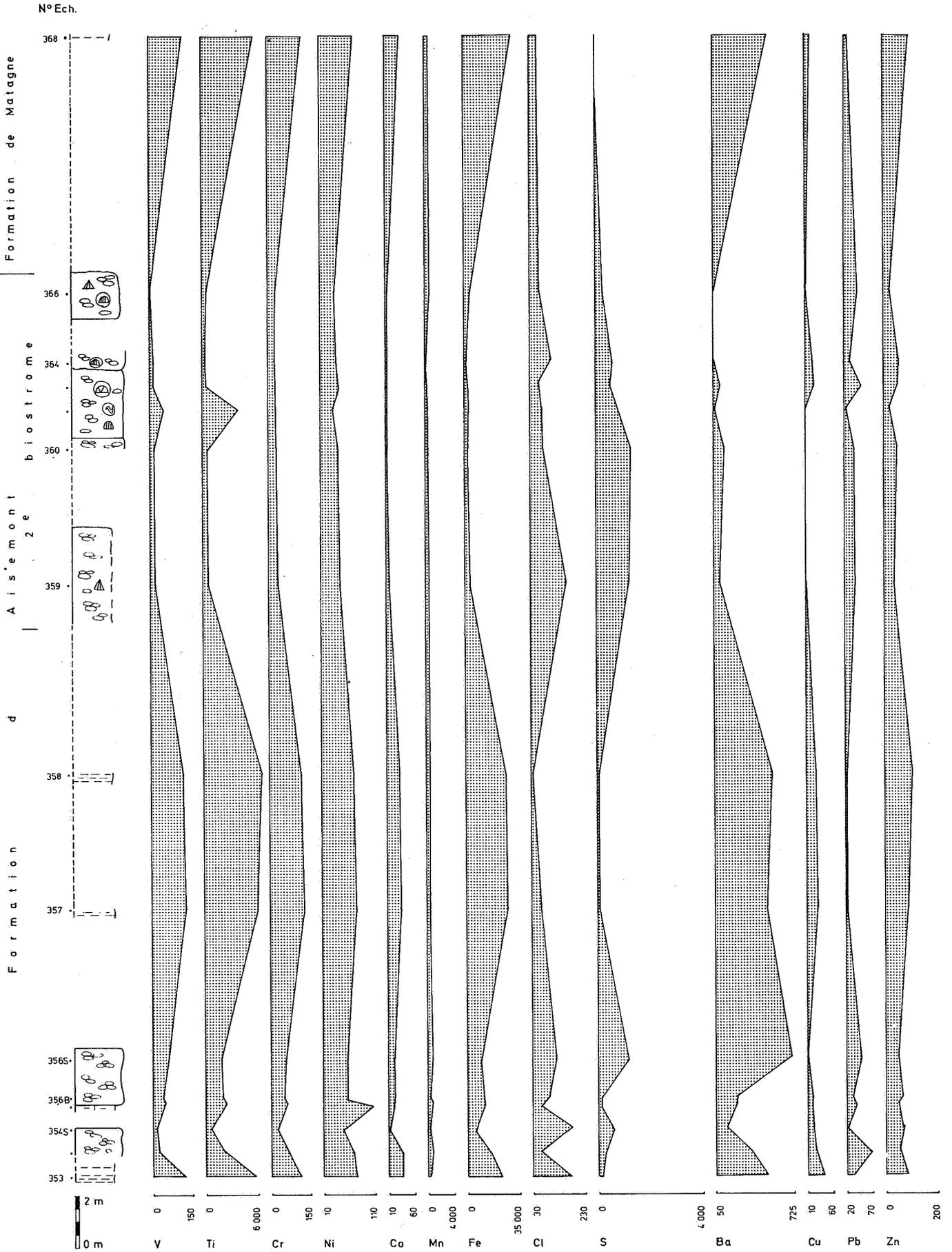
ANDRIMONT - LES SURDANTS - RENOUPRE - 135 E 163

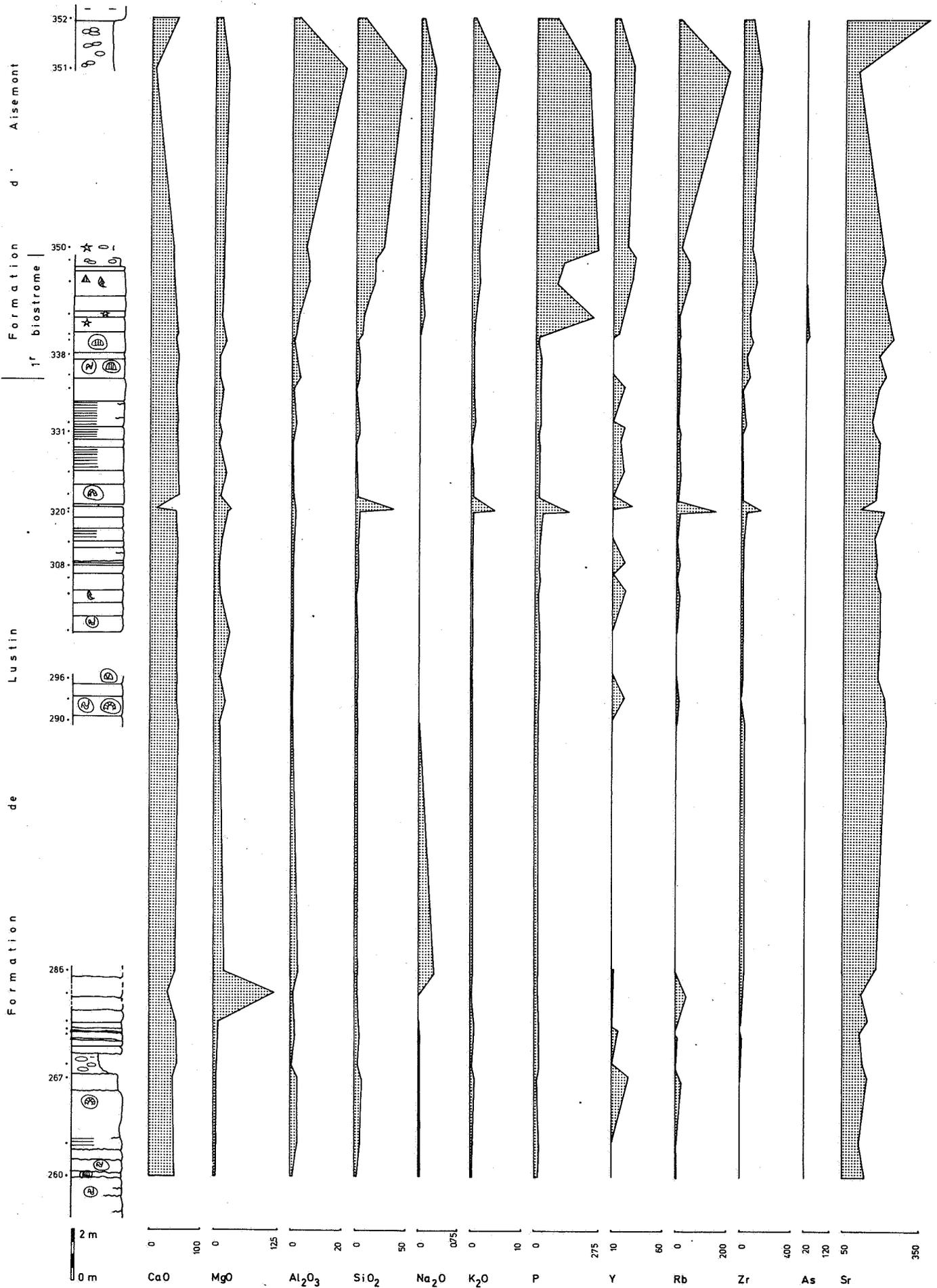


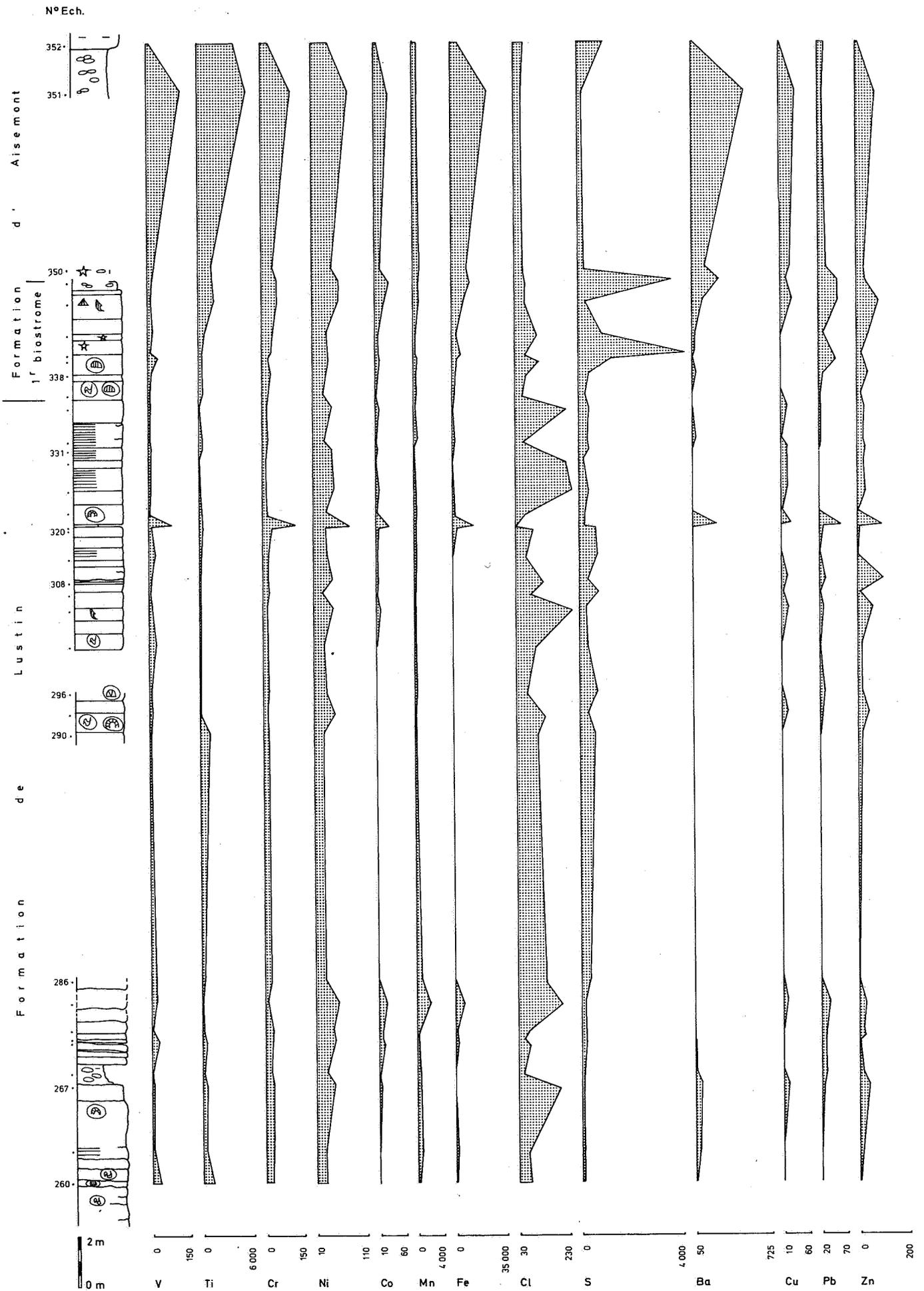
ANDRIMONT - LES SURDANTS - RENOUPRE - 136 W 1615

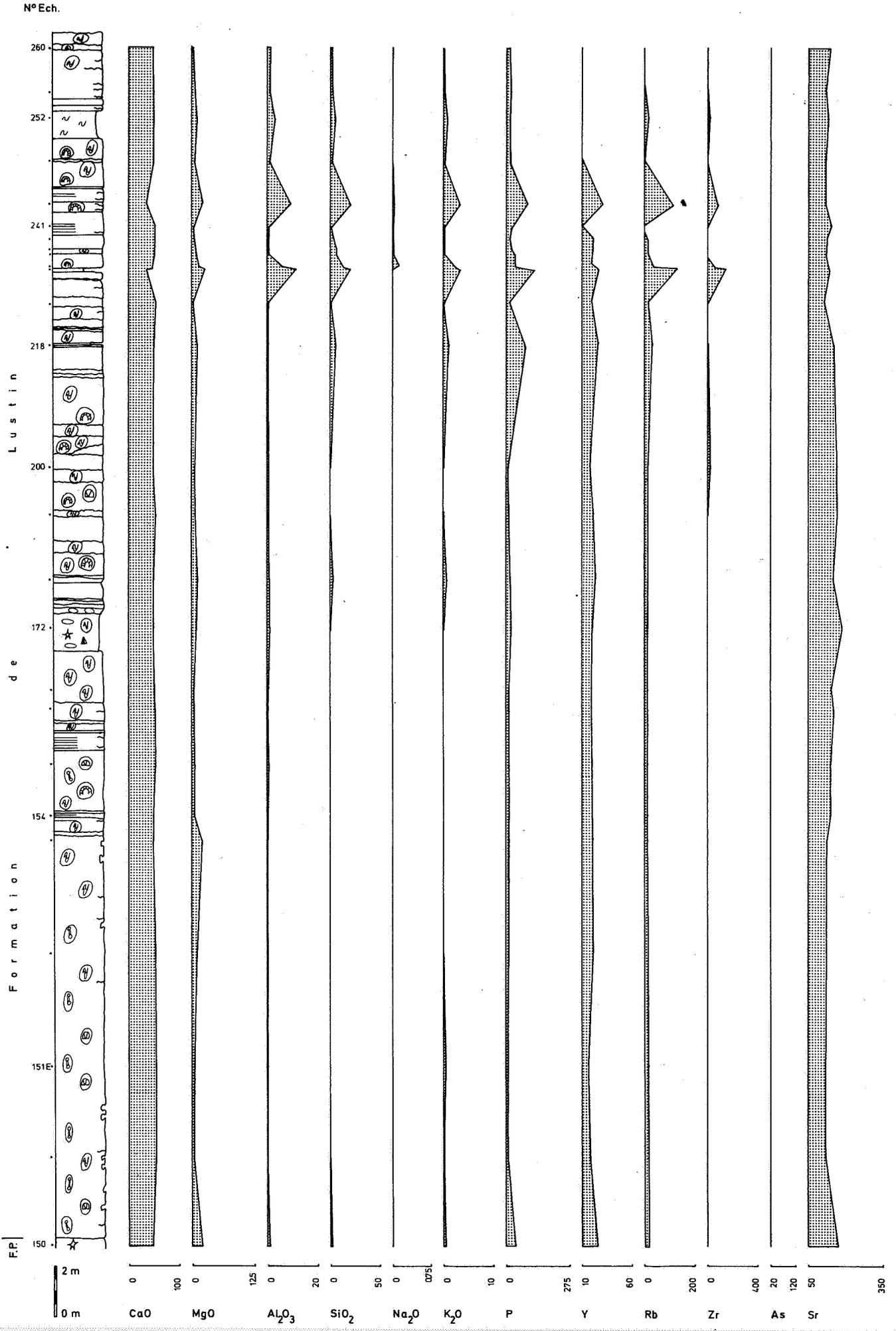
I

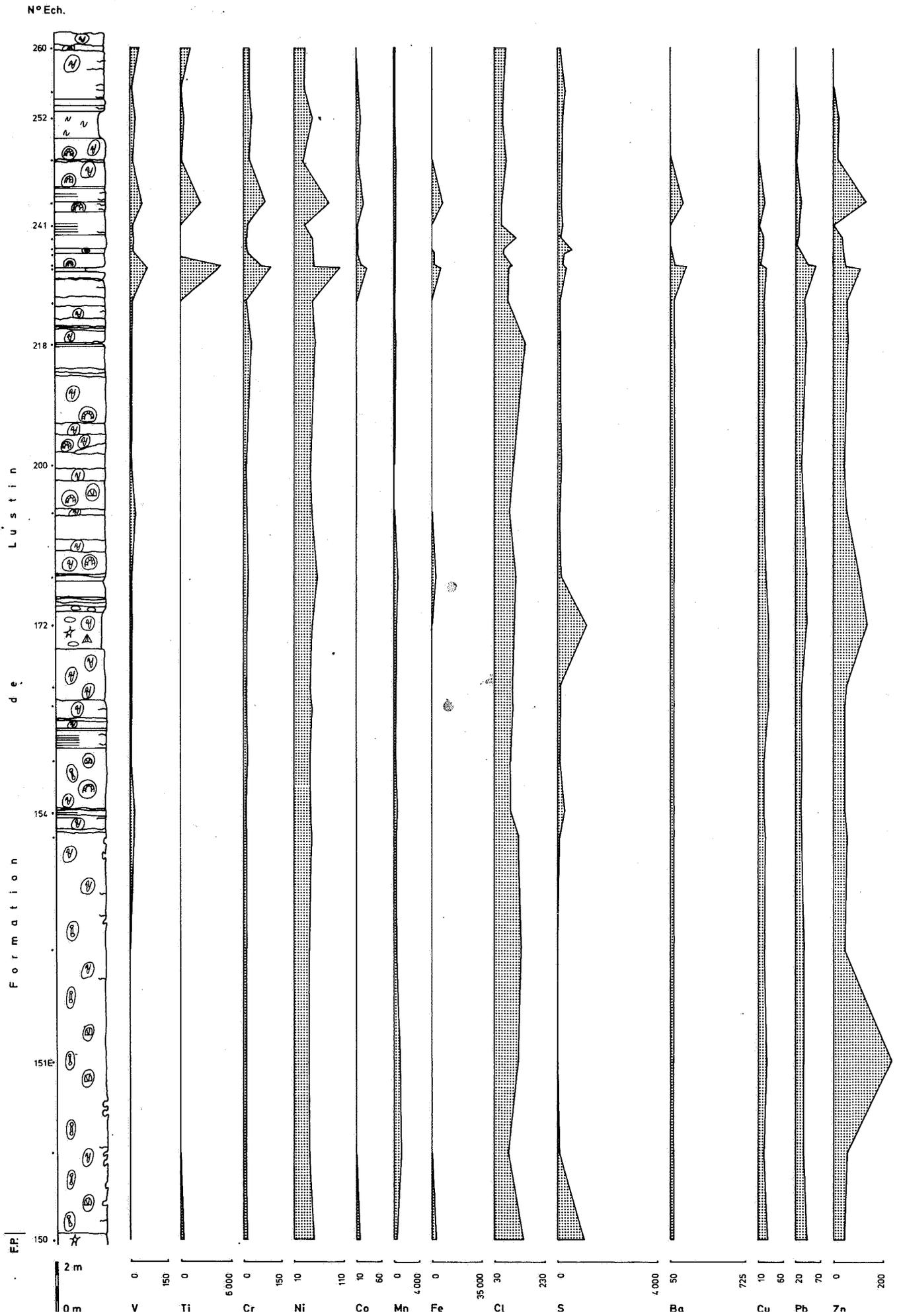












STEMBERT - LES SURDANTS - CHEMIN DE FER - 136 W 1614

Localisation

- carte topographique IGN 43/5
- route N31 Verviers-Eupen traversée à proximité de la borne K28 par un pont réservé au chemin de fer. L'affleurement se situe à peu de distance du pont, au S de la route N31.

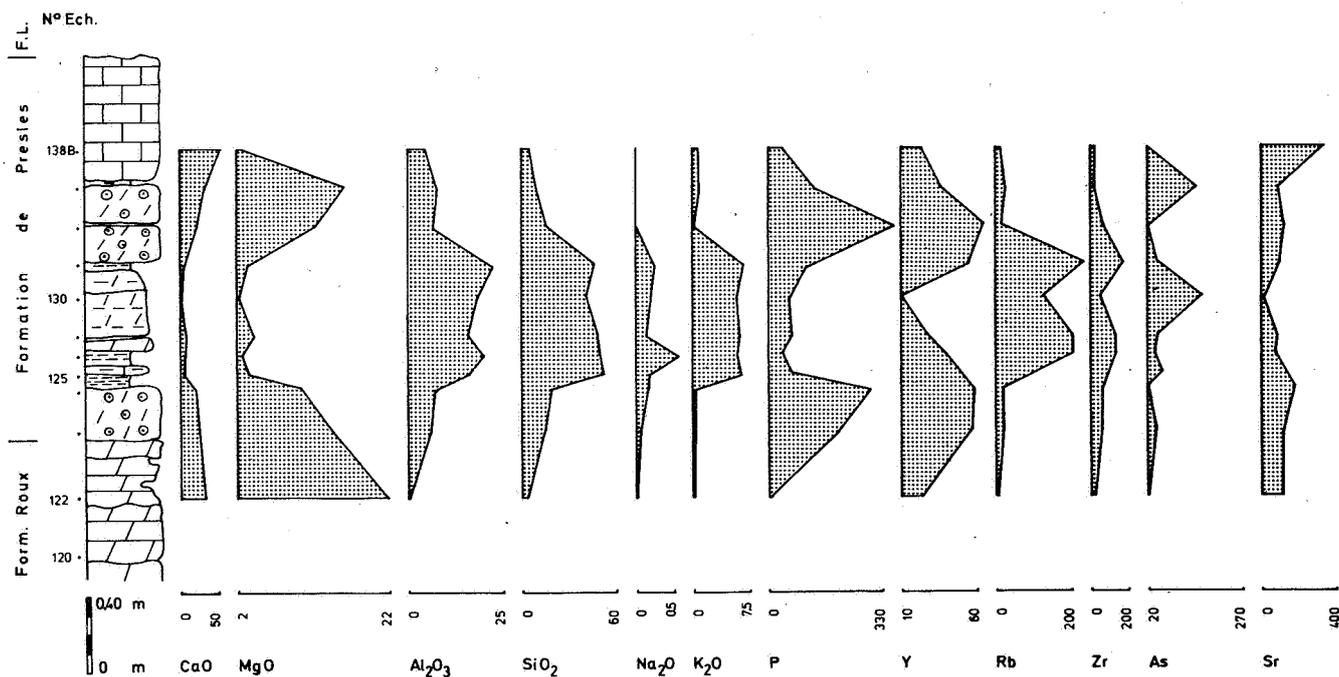
Références

Coen-Aubert (1970, 1974); D'Heur (1970).

Géologie

Affleurement où est exposée toute la formation du Roux, la formation de Presles (ici sous un faciès dolomitique et à hématite oolithique) et le début de la formation de Lustin. Il complète donc l'affleurement de Renoupré (136 W 1615) situé au N, à environ 150 m, auquel il se raccorde parfaitement par l'intermédiaire de la formation de Presles. Cette série, appartenant au flanc normal d'un anticlinal déversé vers le NW, est affectée par un chevauchement (faille F1 de Coen-Aubert, 1974) de peu d'ampleur dont il a été tenu compte dans le dessin de la colonne stratigraphique.

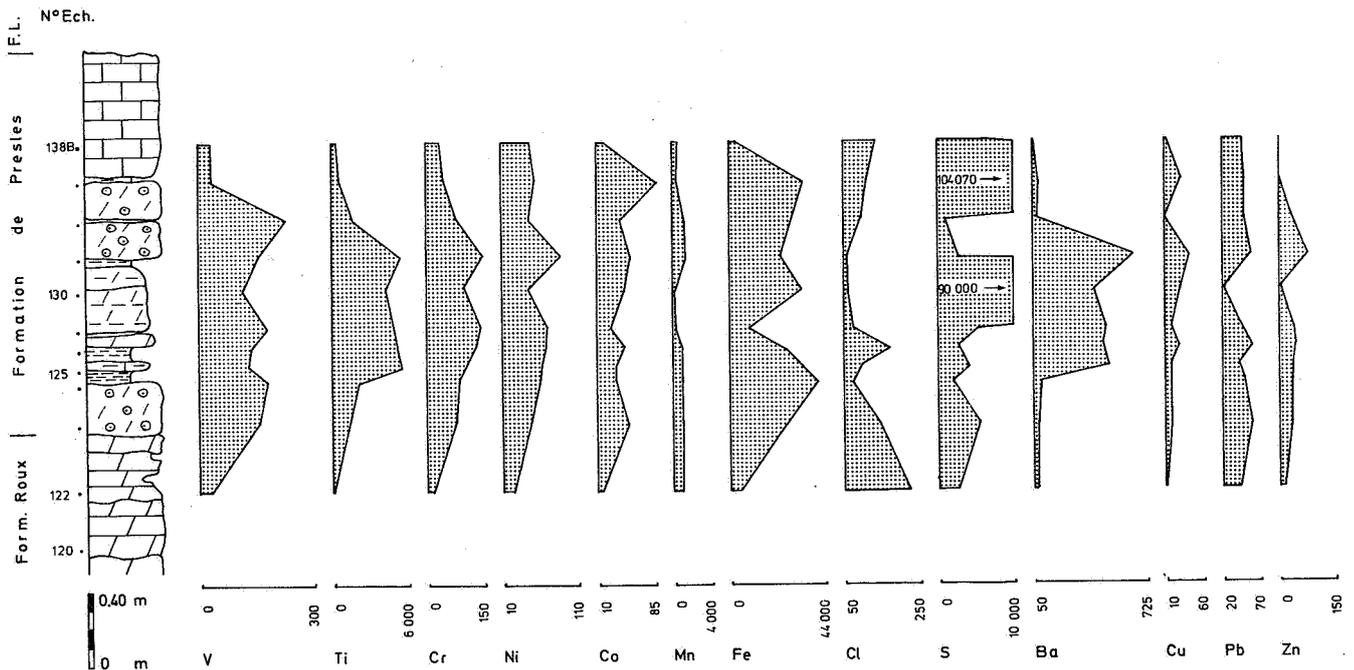
STEMBERT - LES SURDANTS - CHEMIN DE FER - 136 W 1614



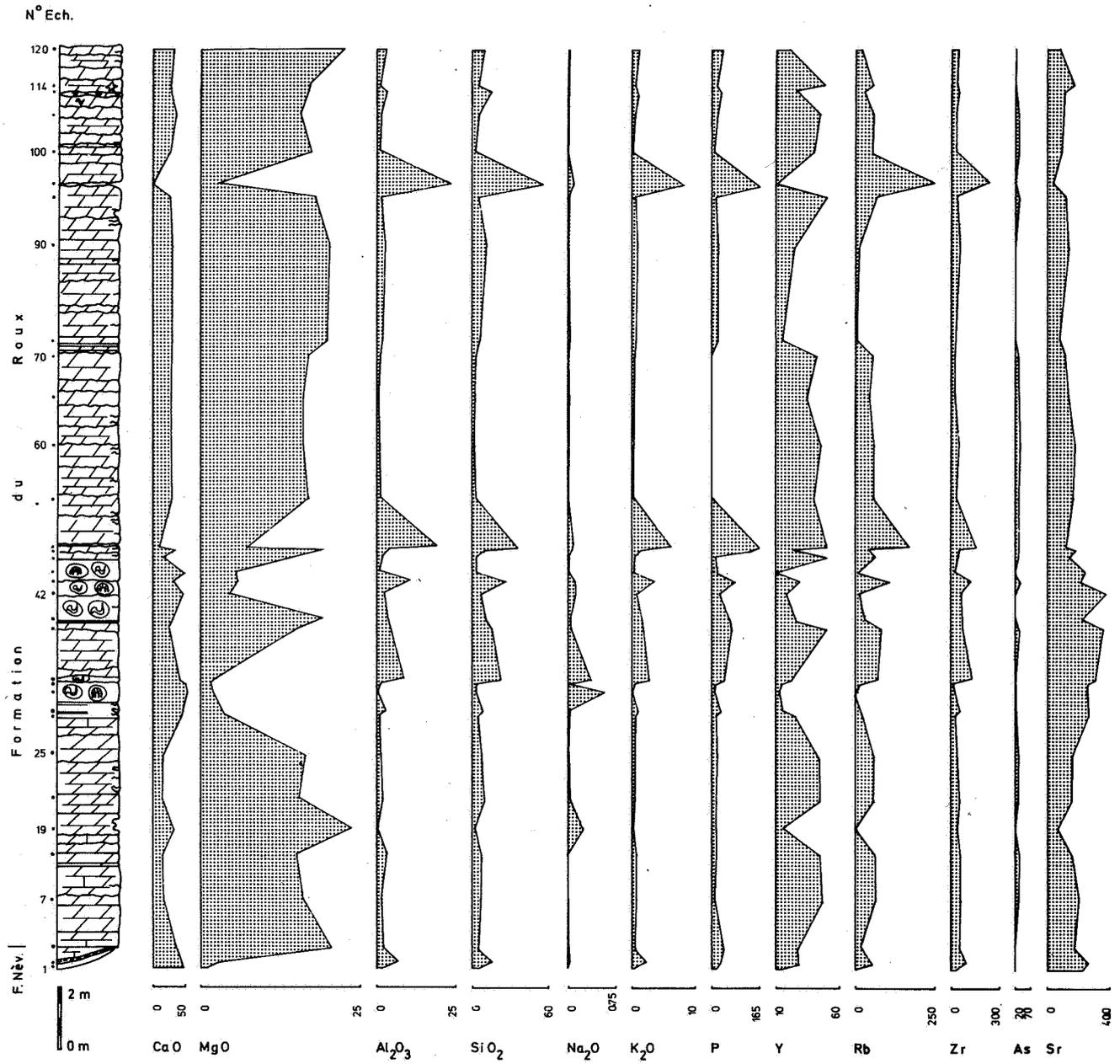
Géochimie

L'échantillonnage a été effectué sur toute l'épaisseur des formations du Roux et de Presles, mais avec une densité nettement plus élevée dans la formation de Presles. Ceci explique les échelles différentes utilisées pour la représentation graphique des deux formations. Dans la formation de Presles : fortes anomalies en S (90000 et 104070 ppm) que l'on ne peut cependant pas rattacher à celles d'aucun autre élément sauf l'As (respectivement 150 et 170 ppm). Anomalies en Fe (jusqu'à 40500 ppm) et P (jusqu'à 365 ppm) s'expliquant par la présence de bancs d'hématite oolithique. L'augmentation locale de certains autres éléments est tout à fait normale et tributaire de la nature plus argileuse de la roche support. Au milieu de la formation du Roux : faibles anomalies en Zn (375 ppm) et en S (4500 ppm), correspondant à un joint calcschisteux. Ces anomalies sont adjacentes à une faible anomalie en Pb (120 ppm) située dans un banc dolomitique. 7 m plus haut, anomalie en Mn (8000 ppm), dans un banc affecté par une petite faille. 5 m plus haut, petite anomalie en Ti (8950 ppm) dans un joint calcschisteux.

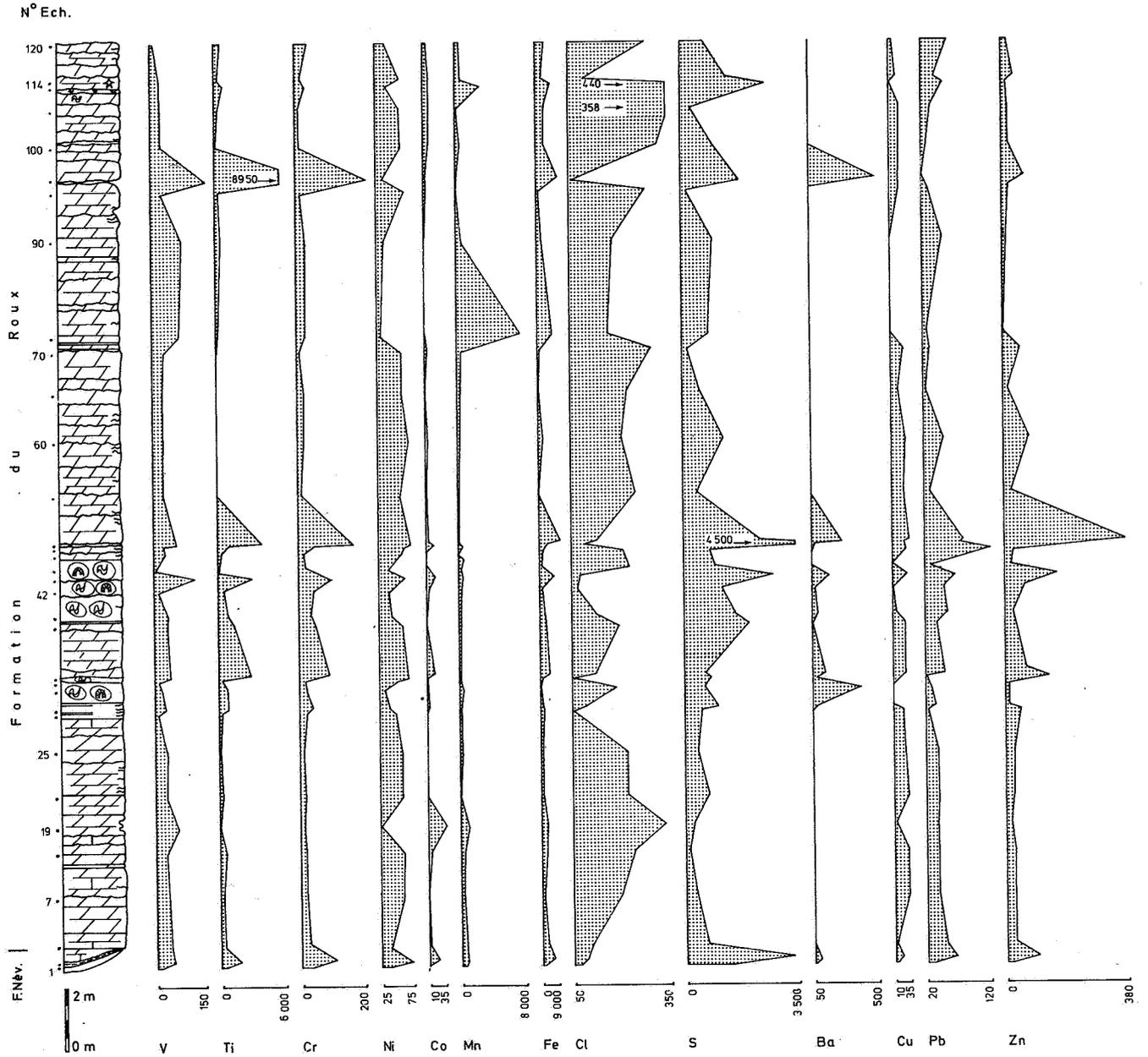
STEMBERT - LES SURDANTS - CHEMIN DE FER - 136 W 1614



STEMBERT - LES SURDANTS - CHEMIN DE FER - 136 W 1614



STEMBERT - LES SURDANTS - CHEMIN DE FER - 136 W 1614



BOLLAND - AUTOCHTONE - ALLOCHTONE - SONDAGE 122 W 260**Localisation**

- carte topographique IGN 42/3
- coordonnées Lambert : X = 248 618.10; Y = 149817.40; Z = 277.87

Références

Graulich (1964, 1975, 1984); Coen-Aubert (1974); Houbaille (1982).

Géologie

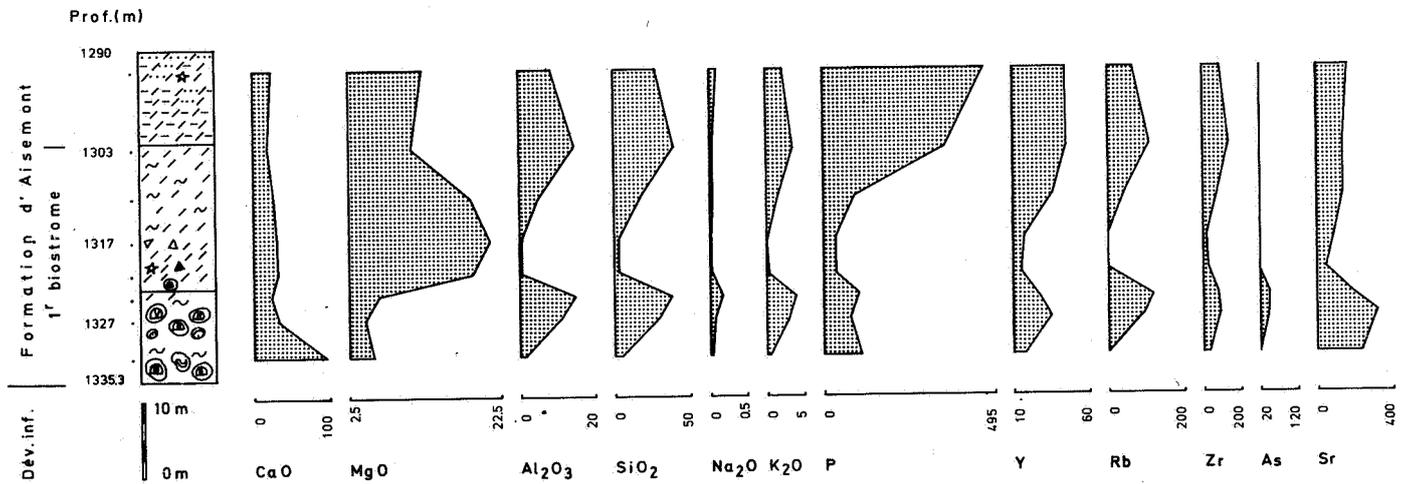
Sondage de 3001.30 m de profondeur dans lequel le Frasnien est redoublé par la faille de Bellaire.

- de 1291.20 à 1335.45, ce Frasnien est qualifié d'«autochtone» par Coen-Aubert (1974). En réalité, il s'agit de terrains paraautochtones, voire allochtones (Graulich, 1984). Je conserverai cependant le qualificatif autochtone pour ne pas introduire de confusion par rapport au travail de Coen-Aubert (1974) auquel je fais largement référence en tant que support stratigraphique. Ce Frasnien est constitué uniquement du premier Biostrome à *Phillipsastraea* et des shales dolomitiques de la formation d'Aisemont. Il repose en discordance de stratification sur le Dévonien inférieur et est amputé de la partie supérieure de la formation d'Aisemont par une faille subhorizontale, sans nom. Par son faciès et son épaisseur, ce Frasnien s'apparente à celui de Soumagne (Coen-Aubert, 1974).
- de 844.00 à 886.40, entre la faille de Quatre-Jean, à la base, et la faille de José, au sommet, s'intercale également du Frasnien, fort dérangé, attribué par Coen-Aubert (1974) à la partie supérieure de la formation d'Aisemont et à la partie inférieure de la formation de Matagne. Il s'agit du Frasnien qualifié d'«allochtone» par Coen-Aubert (1974) qui possède, cette fois, beaucoup plus d'analogies avec celui de Chaudfontaine qu'avec celui de Soumagne. Toutefois, Houbaille (1982) en fixant la limite stratigraphique Frasnien-Famennien au banc d'oolithes de chamosite situé vers 862 m de profondeur, dont l'équivalent stratigraphique à Soumagne est un banc à encroûtements oncolithiques, réduit considérablement l'épaisseur de la formation de Matagne par rapport à celle que Coen-Aubert (1974) lui attribuait.

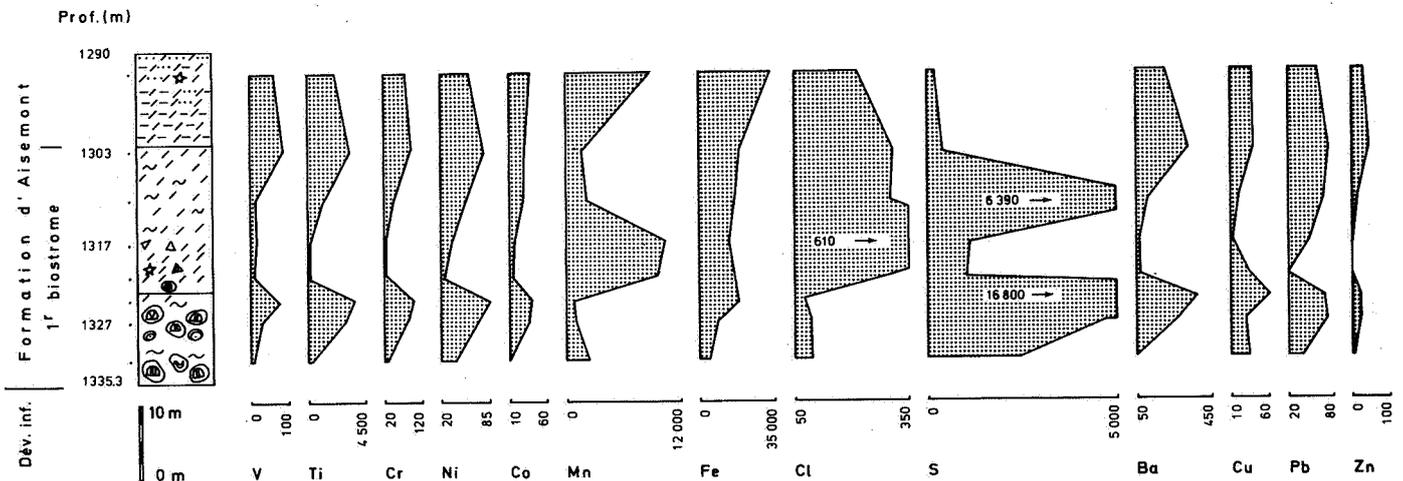
Géochimie

Autochtone : la dolomitisation est largement développée au sommet du premier biostrome et s'accompagne d'une augmentation assez forte du Mn et du Cl. Par contre, tous les métaux sont déprimés. On peut se demander si cette observation ne reflète pas un phénomène de remobilisation car le S probablement lié à des sulfures non remobilisés est particulièrement abondant (jusqu'à 16800 ppm) de part et d'autre de cette zone de dépression.

BOLLAND - AUTOCHTONE - SONDAGE 122 W 260

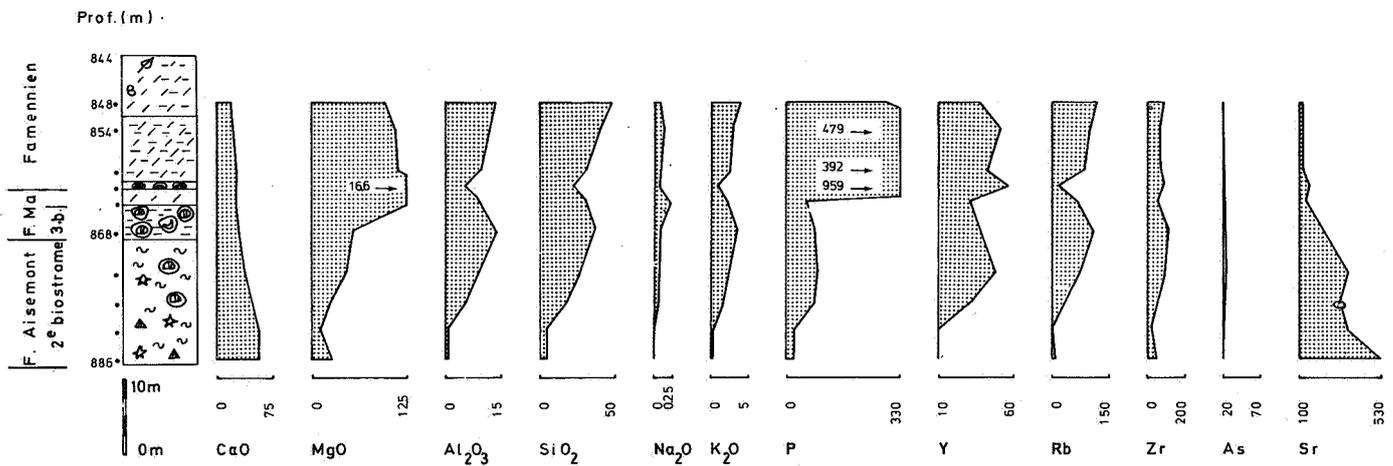


BOLLAND - AUTOCHTONE - SONDAGE 122 W 260

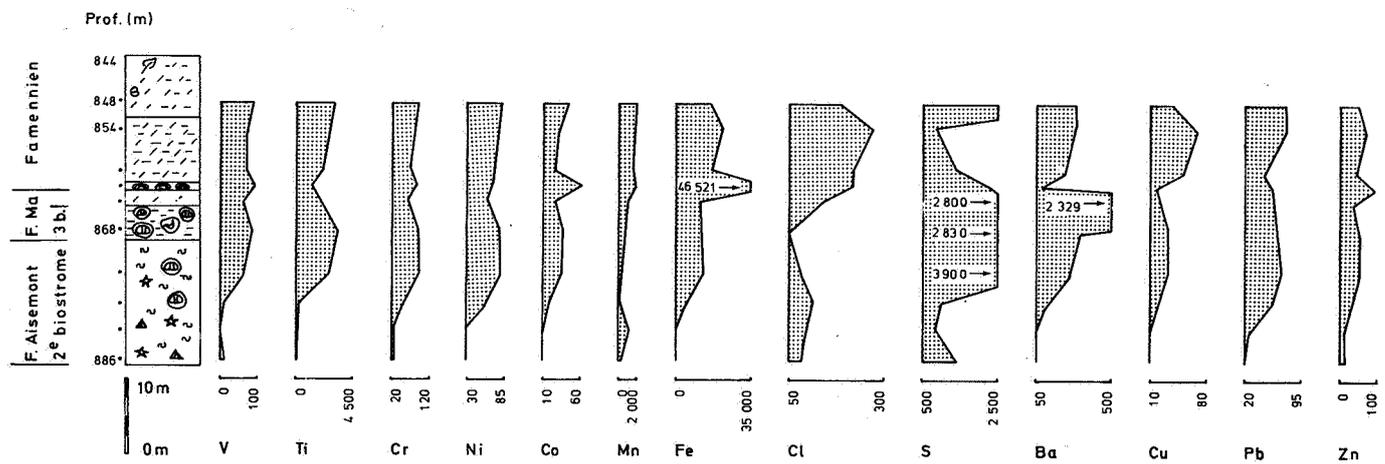


Allochtone : plusieurs anomalies en S (jusqu'à 3900 ppm) au contact du deuxième et du troisième biostrome. Une anomalie en Ba (2329 ppm) au-dessus du troisième biostrome. Bien que cela n'apparaisse pas sur les profils géochimiques, des nodules de barite ont été identifiés (Dejonghe, 1979) dans les shales dolomitiques qui surmontent directement le niveau géochimiquement anomal. Les anomalies en Fe (46521 ppm) et P (jusqu'à 952 ppm) correspondent au niveau d'oolithes de chamosite. Le fond géochimique en P reste très élevé dans le Famennien.

BOLLAND - ALLOCHTONE - SONDAGE 122 W 260



BOLLAND - ALLOCHTONE - SONDAGE 122 W 260



ANGLEUR - KINKEMPOIS - 134 E 493

Localisation

- carte topographique IGN 42/6
- petite carrière située dans le Bois de Saint Laurent, au N du ruisseau de Kinkempois.

Références

Fourmarier (1942); Graulich (1955); Lambrecht & Swinnen (1958); Swinnen (1958); Coen-Aubert (1974); Graulich *et al.* (1984).

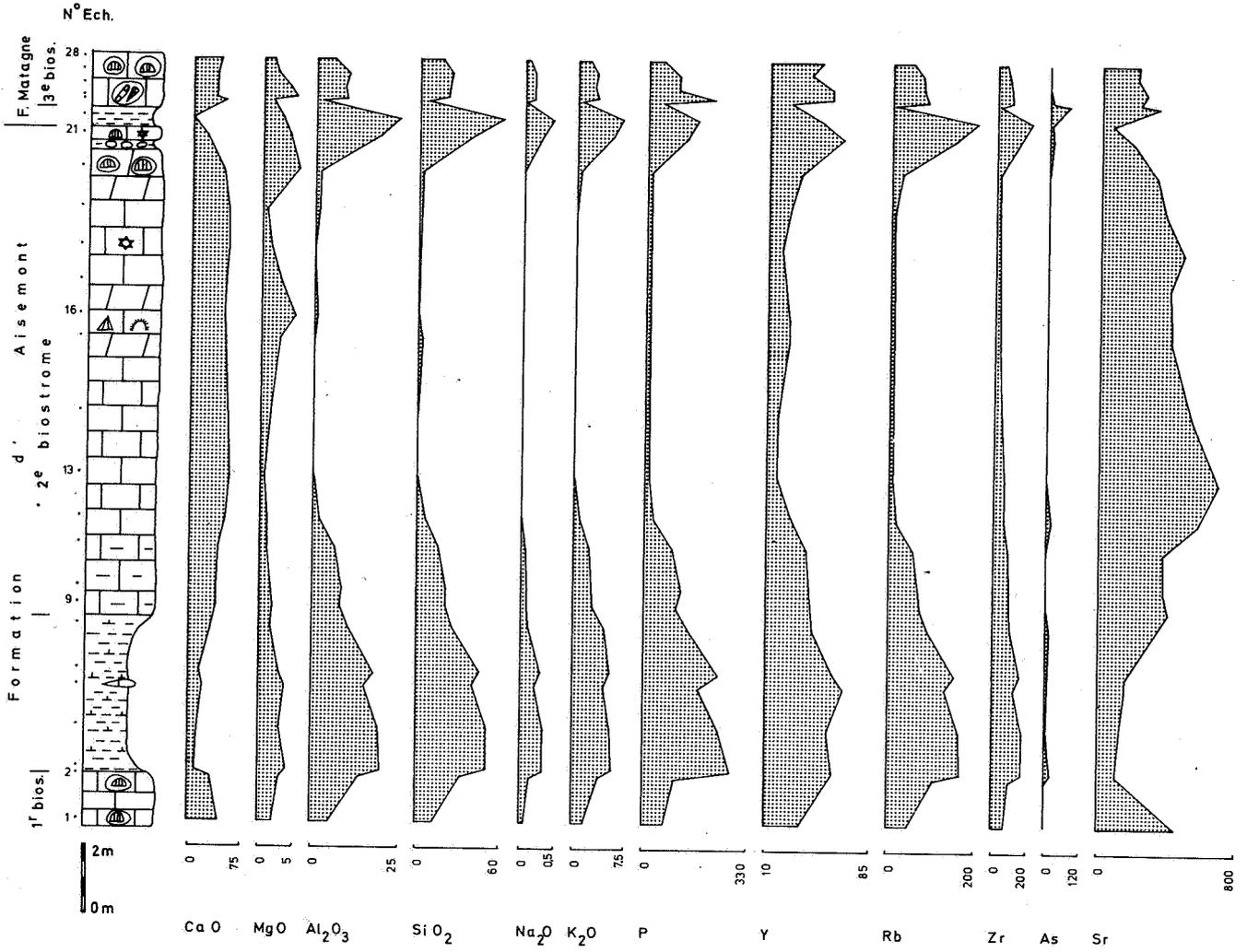
Géologie

Les massifs de Streupas et de Kinkempois ont été considérés par Fourmarier (1942 et travaux antérieurs), Swinnen (1958) et Lambrecht & Swinnen (1958) comme des lambeaux de poussée situés au front de la faille eifélienne et arrachés au synclinorium de Namur. Par contre, Graulich (1955) a conclu que ces terrains formaient le substratum dévono-carbonifère du massif de Herve, affleurant dans la région d'Angleur et s'envoyant progressivement vers l'E. Cette thèse a été maintenue par Graulich *et al.* (1984) sur base de nouvelles observations rendues possibles par le dégagement de nouveaux affleurements. A Kinkempois, la formation d'Aisemont affleure en série subverticale. Son faciès et son épaisseur sont fort semblables à ceux de Chaudfontaine et de Colonster. D'ailleurs comme à Colonster, le sommet du deuxième biostrome à *Phillipsastraea* est affecté d'une dolomitisation d'intensité variable (Coen-Aubert, 1974).

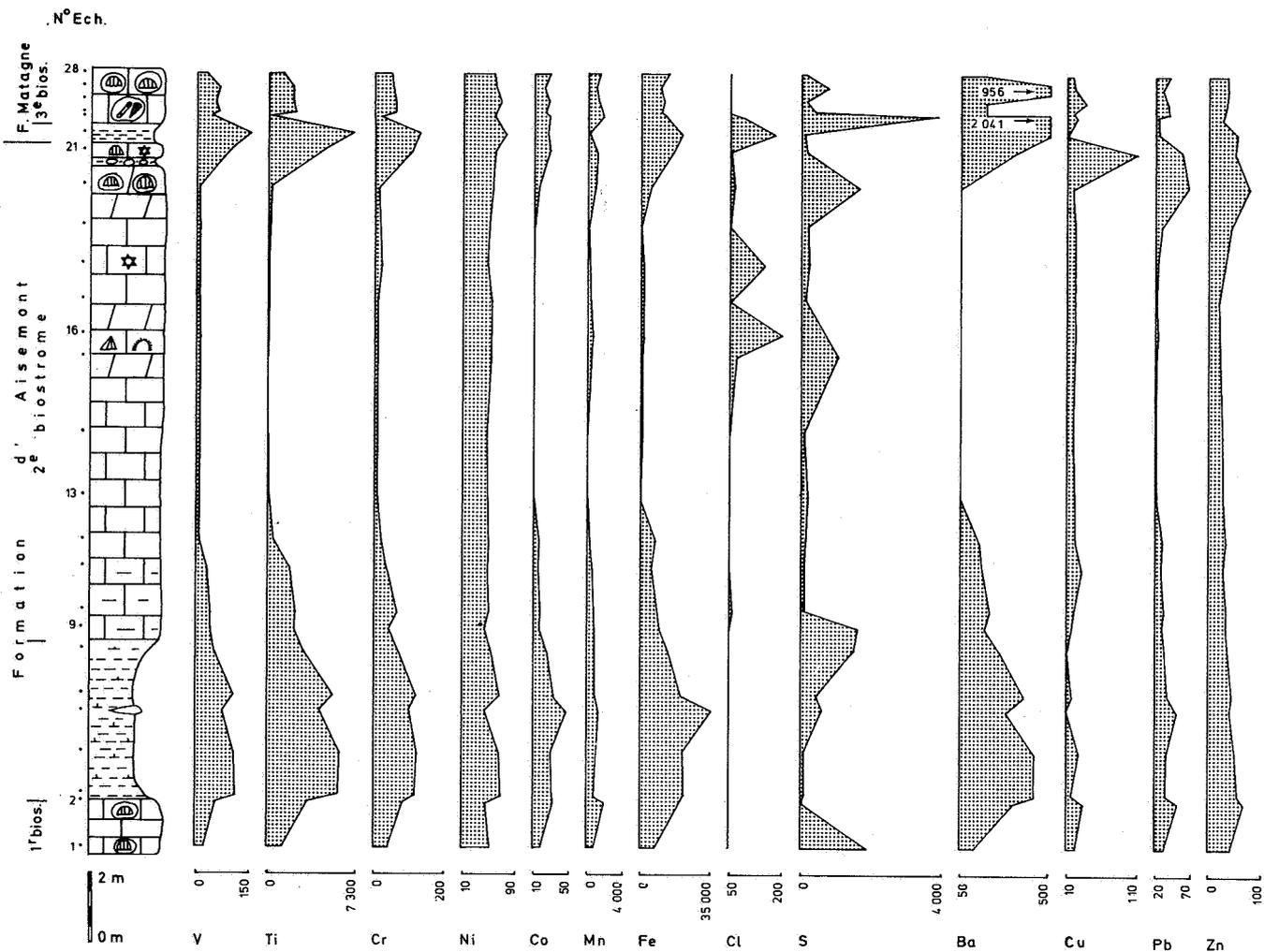
Géochimie

La géochimie indique une dolomitisation irrégulière et plus faible (MgO voisin de 5 %) que ce que l'affleurement laissait présager. Néanmoins, ses effets se traduisent nettement sur le contenu en Sr (évolutions symétriques de MgO et Sr). Fortes anomalies en Ba (jusqu'à 2041 ppm) au sommet du deuxième biostrome et dans le troisième biostrome, confirmées au microscope par la présence de barite lamellaire. Au même endroit, nette anomalie en Cu (110 ppm). Par contre, légère augmentation seulement du fond géochimique en Pb et Zn.

ANGLEUR - KINKEMPOIS - 134 E 493



ANGLEUR - KINKEMPOIS - 134 E 493



CHAUDFONTAINE

La région de Chaudfontaine a fait l'objet d'une attention toute particulière étant donné la présence d'une minéralisation dans cette localité (Graulich, 1967; Graulich & Vandenvan, 1978; Dejonghe, 1979, 1985). Plusieurs sondages (134 E 303; 134 E 396; 134 E 769) et plusieurs coupes (Fonds des Cris, Bleurmout, Les Thermes) y ont été échantillonnés essentiellement au sein des formations d'Aisemont et de Matagne. C'est une région tectoniquement complexe :

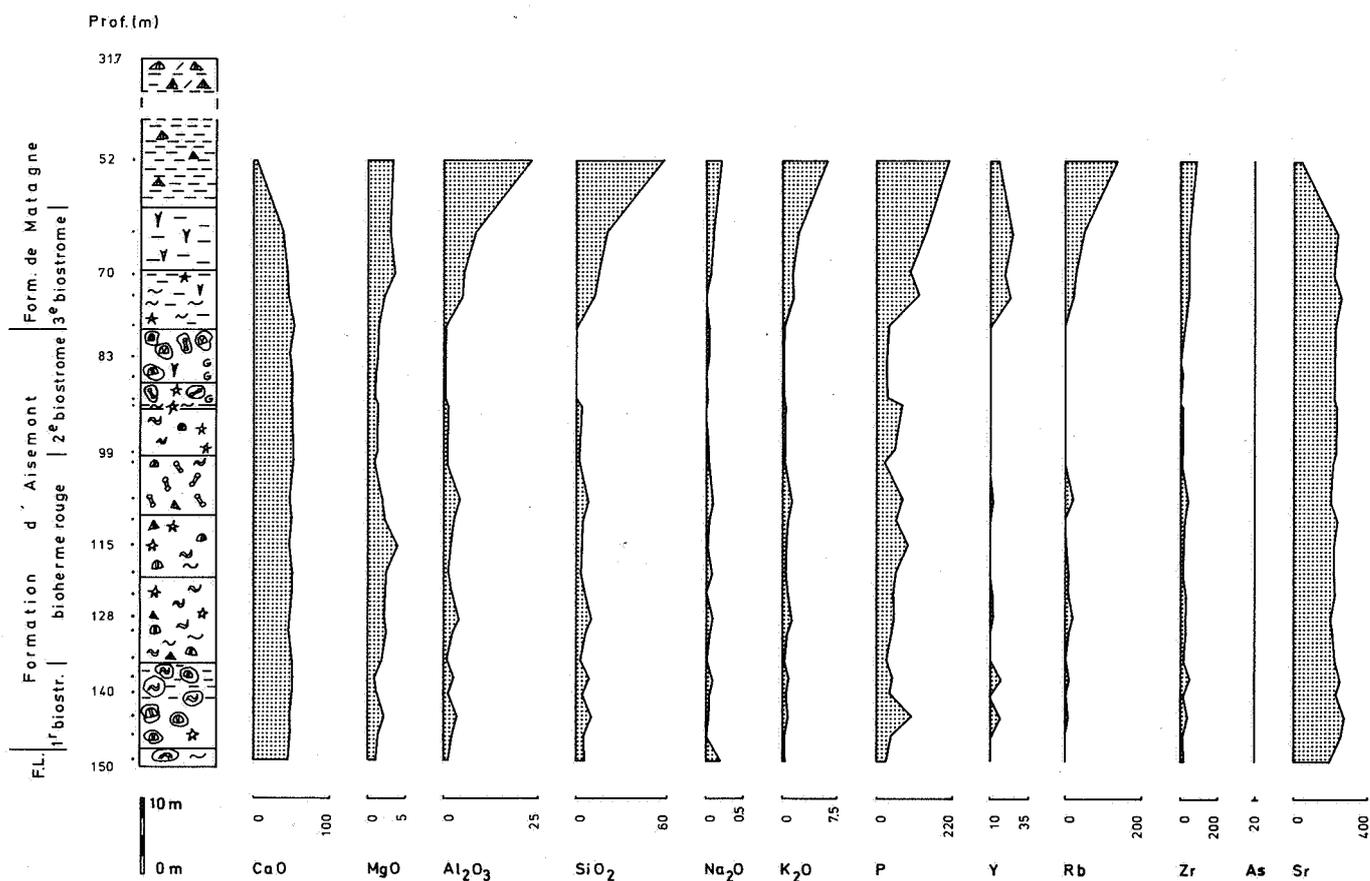
- intensément plissée;
- hachée par de nombreuses failles de charriage
- où affleure un lambeau de poussée (de Chèvremont) pincé dans la faille eifélienne.

CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 303

Localisation

- carte topographique IGN 42/6
- sondage situé à proximité de l'hôtel «Les Thermes» et des sources chaudes publiques de Chaudfontaine. Dévié mécaniquement pour atteindre progressivement à la profondeur de 550 m, un angle de déviation de 16°45'.

CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 303



Références

Graulich (1967).

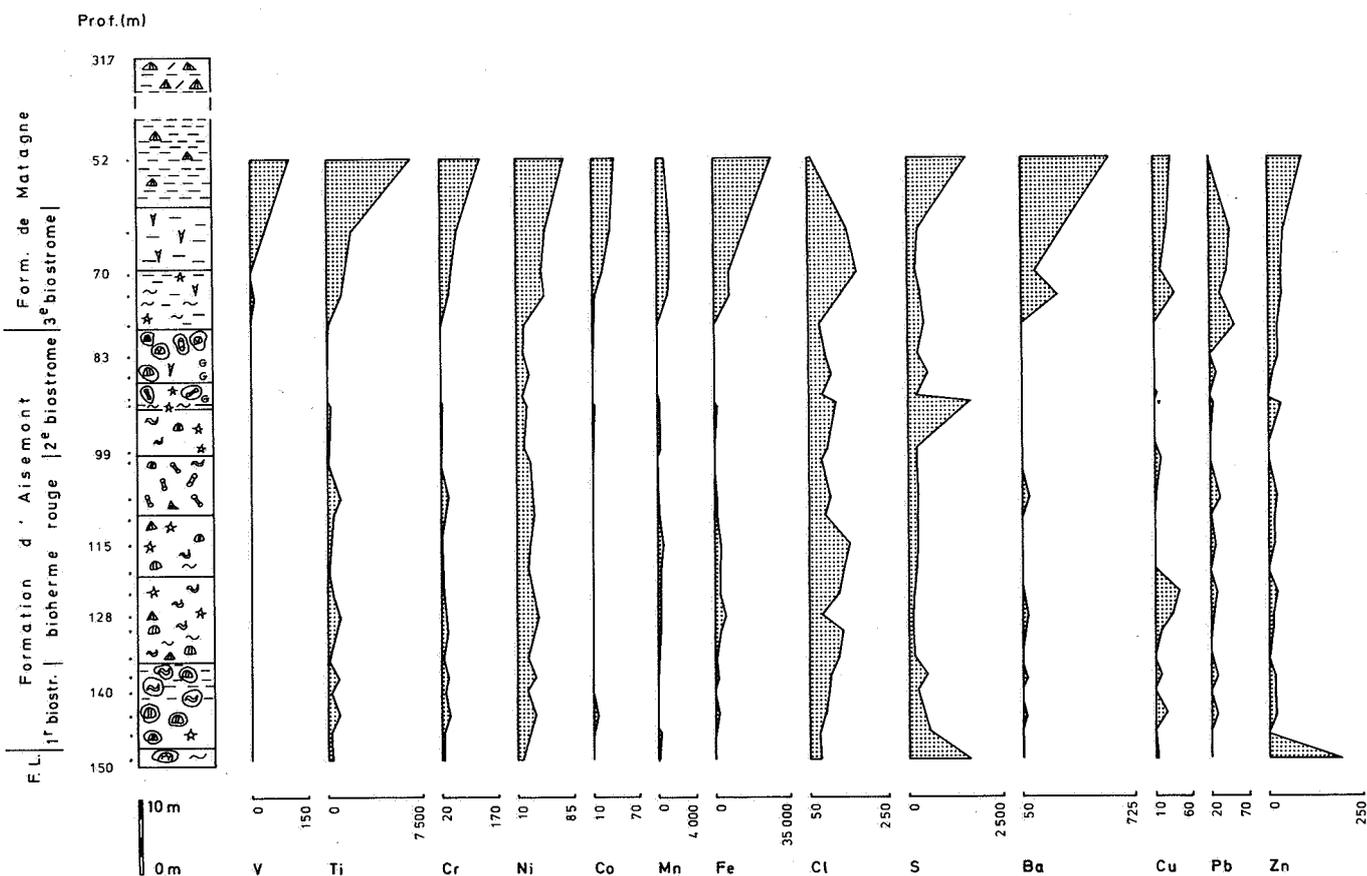
Géologie

Le sondage 134 E 303 est situé sur le flanc S d'un anticlinal tronçonné transversalement par la faille de Chaudfontaine.

Géochimie

L'échantillonnage de ce sondage a été effectué à partir des témoins conservés dans les collections du S.G.B. et en évitant soigneusement tout échantillon minéralisé macroscopiquement. Suite à ce mode d'échantillonnage très restrictif, toute trace de minéralisation ou d'anomalie au contact du deuxième et du troisième biostrome a été effacée. Seul le sommet de la formation de Lustin est légèrement anomal en Zn (190 ppm). Il faut encore remarquer que le bioherme rouge ne se singularise pas par un assemblage géochimique particulier. Même les teneurs en Fe sont fort semblables à celles des biostromes.

CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 303



CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 396

Localisation

- carte topographique IGN 42/6
- sondage vertical situé à 130 m à l'E de l'église de Chaudfontaine.

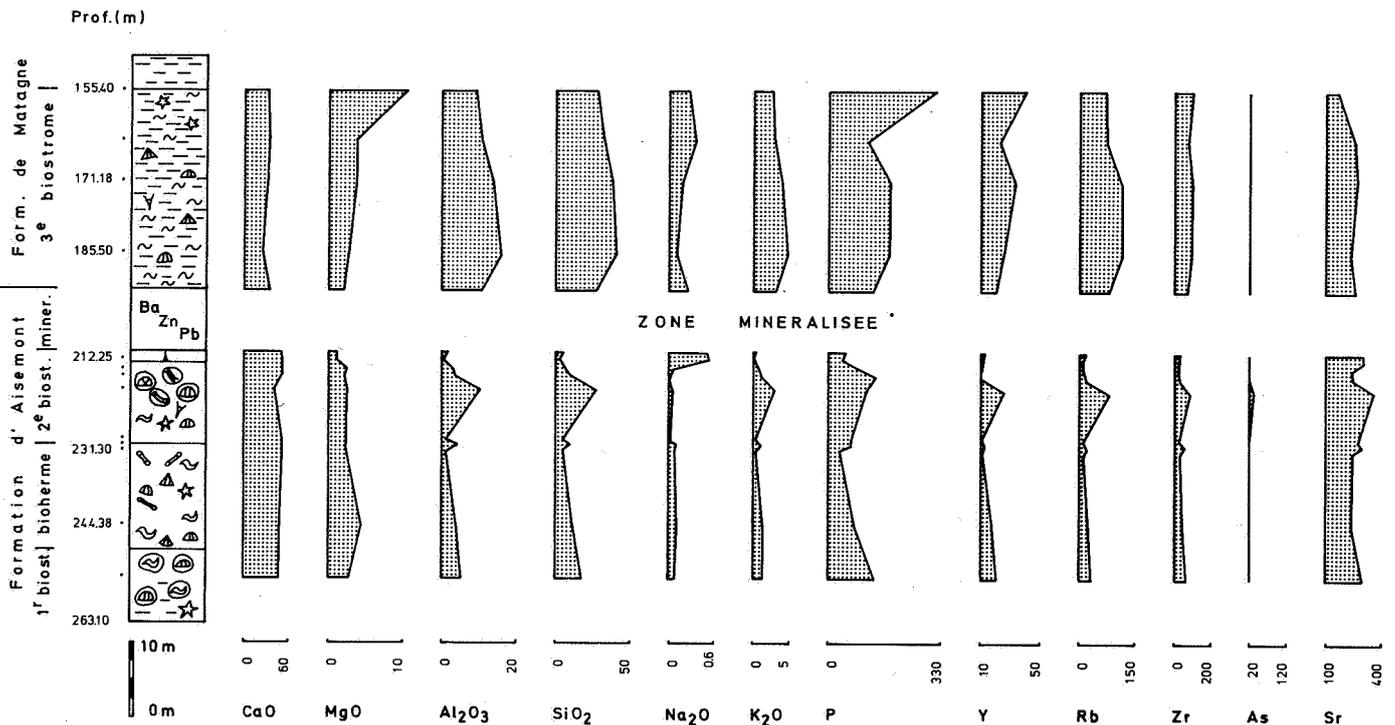
Référence

Graulich & Vandeven (1978).

Géologie

Le sondage 134 E 396 est situé sur le flanc S d'un anticlinal tronçonné transversalement par la faille de Chaudfontaine. Comme cet anticlinal s'ennoie vers l'E, les biostromes à *Phillipsastraea* ont été recoupés à plus grande profondeur que dans le sondage 134 E 303.

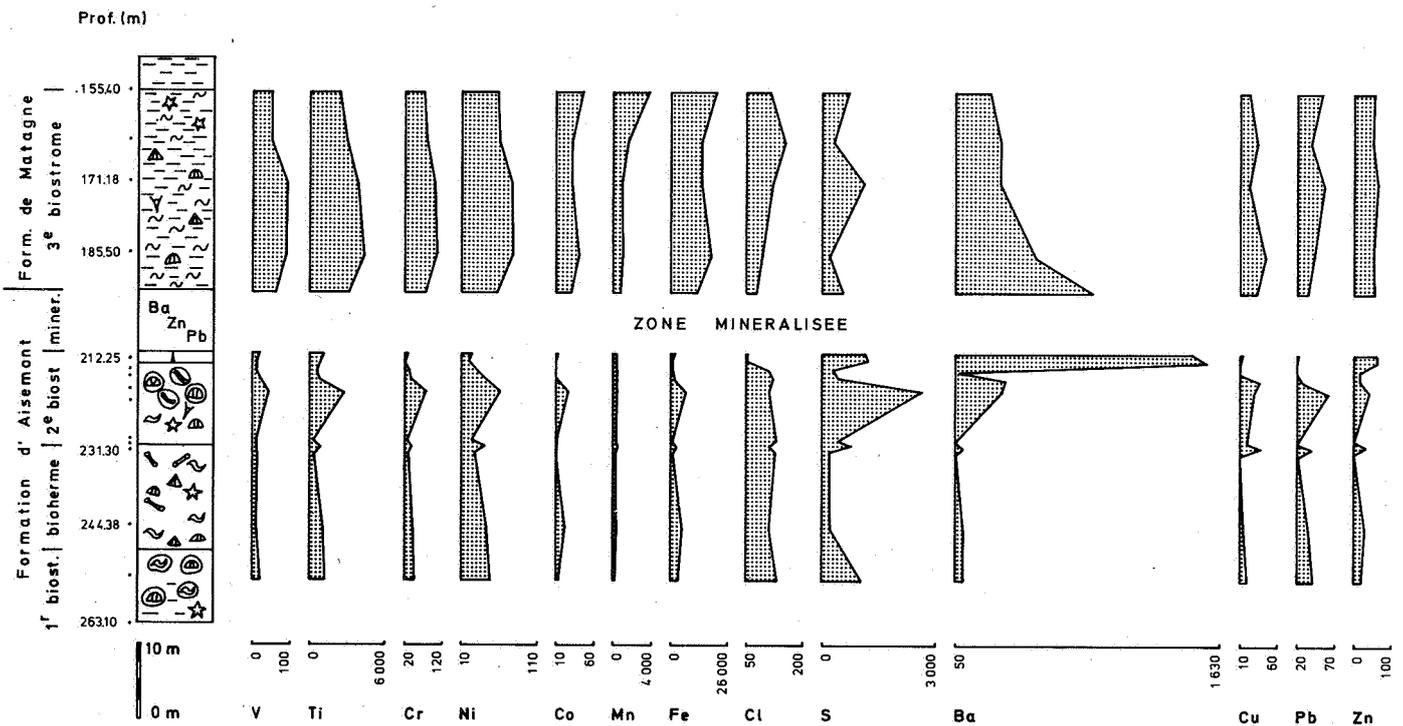
CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 396



Géochimie

Il s'agit du sondage présentant la minéralisation le plus riche (Dejonghe, 1979, 1985). L'échantillonnage aux épontes de la minéralisation a été effectué dans le même esprit que celui du sondage 134 E 303, c'est-à-dire en évitant tout échantillon minéralisé macroscopiquement. La minéralisation se trahit néanmoins par un fond géochimique en Ba plus élevé dans le 10 m adjacents au toit et au mur. Une tendance à l'augmentation des teneurs en P se dégage également vers le sommet du troisième biostrome. Par contre, Pb, Zn et Cu restent à des niveaux tout à fait normaux quel que soit l'endroit de prélèvement.

CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 396



CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 769

Localisation

- carte topographique IGN 42/6
- sondage situé à 70 m à l'W de l'église de Chaudfontaine, pratiquement à mi-distance entre les sondages 134 E 303 et 134 E 396.

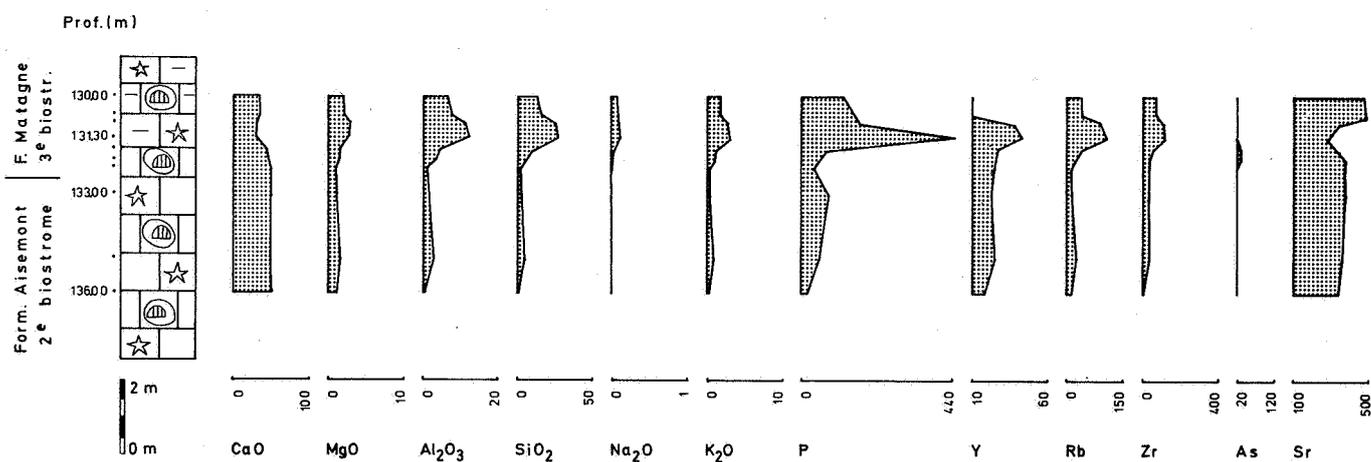
Référence

Graulich, communication personnelle.

Géologie

La frontière entre le deuxième et le troisième biostrome a été placée sur base des indications de Graulich (comm. pers.).

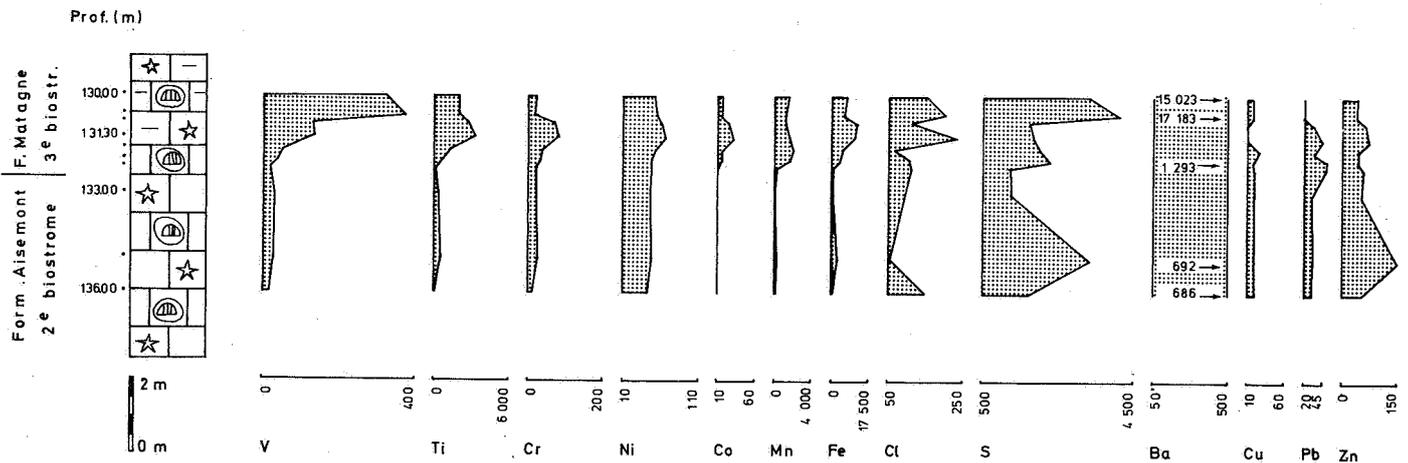
CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 769



Géochimie

A l'examen macroscopique, ce sondage ne montrait aucune trace de minéralisation. Dix échantillons prélevés autour du contact entre le deuxième et le troisième biostrome se sont néanmoins révélés à l'analyse être tous anomaux en Ba (jusqu'à 17183 ppm). Il est donc regrettable que ce sondage n'ait pas été échantillonné sur une plus grande épaisseur. Le fond géochimique en Zn est également assez élevé dans le deuxième biostrome. Une anomalie en P (440 ppm) dans le troisième biostrome.

CHAUDFONTAINE - SONDAGE 134 E 769



CHAUDFONTAINE - BLEURMONT - 134 E 138**Localisation**

- carte topographique IGN 42/6
- route N31 Liège-Verviers. Ancienne carrière localisée entre les bornes K2 et K3. La carrière est située à proximité du lieu-dit Bleurmont. Coen-Aubert (1974) la rattache à la «bande de Henne».

Références

Dubrul (1931); Coen-Aubert (1974).

Géologie

Carrière exposant la partie supérieure de la formation de Lustin et les deux biostromes à *Phillipsastraea* de la formation de Matagne. Cette coupe a été choisie spécialement pour un échantillonnage des shales qui séparent les deux biostromes et qui n'affleurent que très rarement.

Géochimie

Toute la moitié supérieure du deuxième biostrome est anormale en Zn (jusqu'à 399 ppm) et s'accompagne d'une augmentation très nette des teneurs en Pb. Anomalies en Zn (479 ppm) et P (886 ppm) dans les schistes surincombants.

CHAUDFONTAINE - FOND DES CRIS - 134 E 203

Localisation

- carte topographique IGN 42/6
- route N31 Liège-Verviers. A l'entrée de Chaudfontaine, un peu avant la borne K3, prendre la direction de Ninane. Les carrières du Fond des Cris (aussi orthographié Fond d'Ecric) se situent à quelques centaines de mètres au S de cet embranchement.

Références

Fourmarier (1941 et travaux antérieurs); Dubrul (1931); Coen-Aubert (1974).

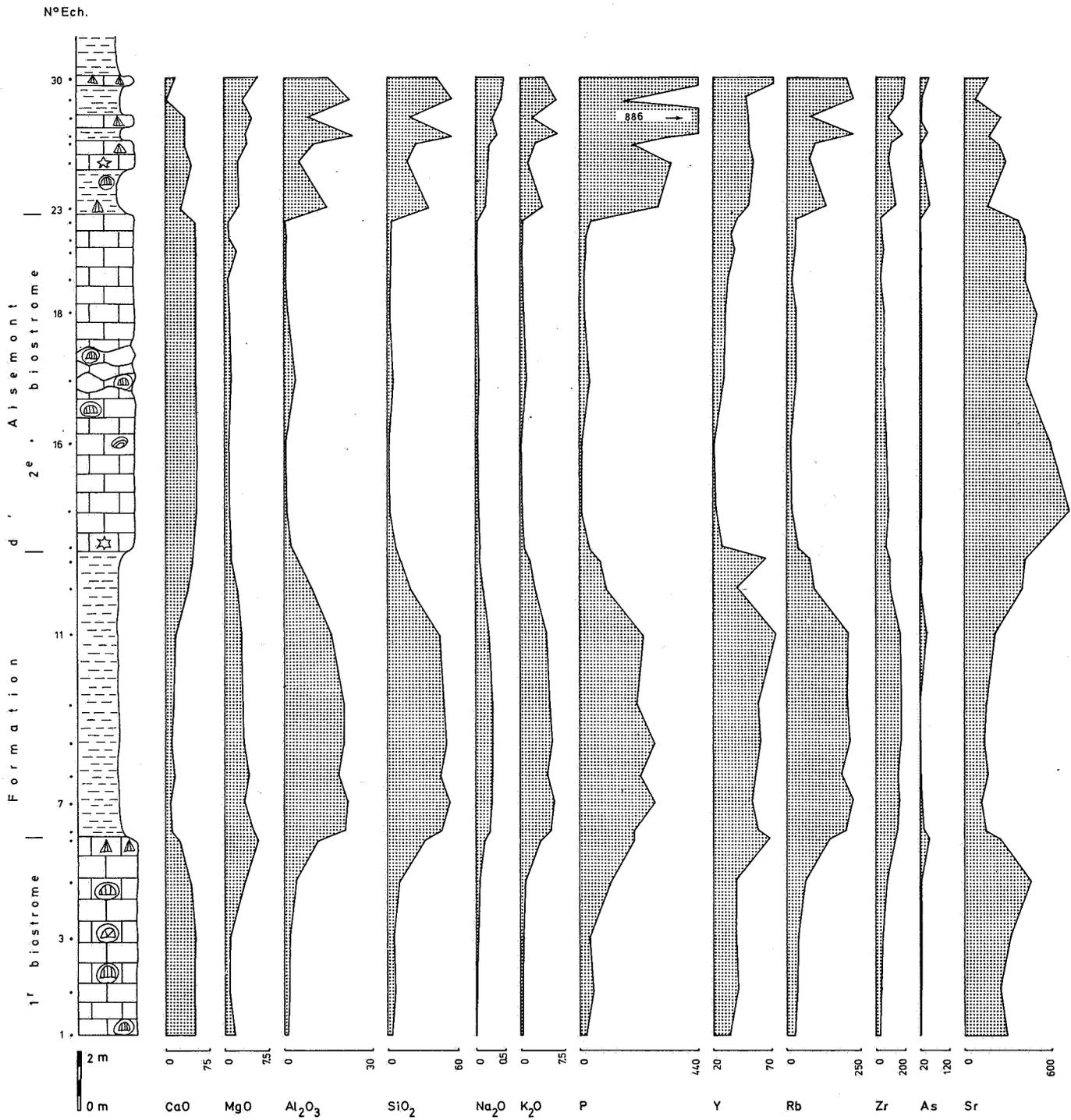
Géologie

Dans les carrières situées à l'W de la route se dirigeant vers Ninane, on peut observer (Coen-Aubert, 1974) deux anticlinaux compliqués d'accidents secondaires (failles à faibles rejets) et séparés par une zone synclinale où passe la faille de Chaudfontaine. La coupe échantillonnée pour l'étude géochimique correspond aux points 3 et 4 du schéma de Coen-Aubert. Les terrains appartiennent au sommet de la formation de Lustin et à la totalité des formations d'Aisemont et de Matagne. Le premier biostrome à *Phillipsastraea* se signale par l'ampleur de son épaisseur.

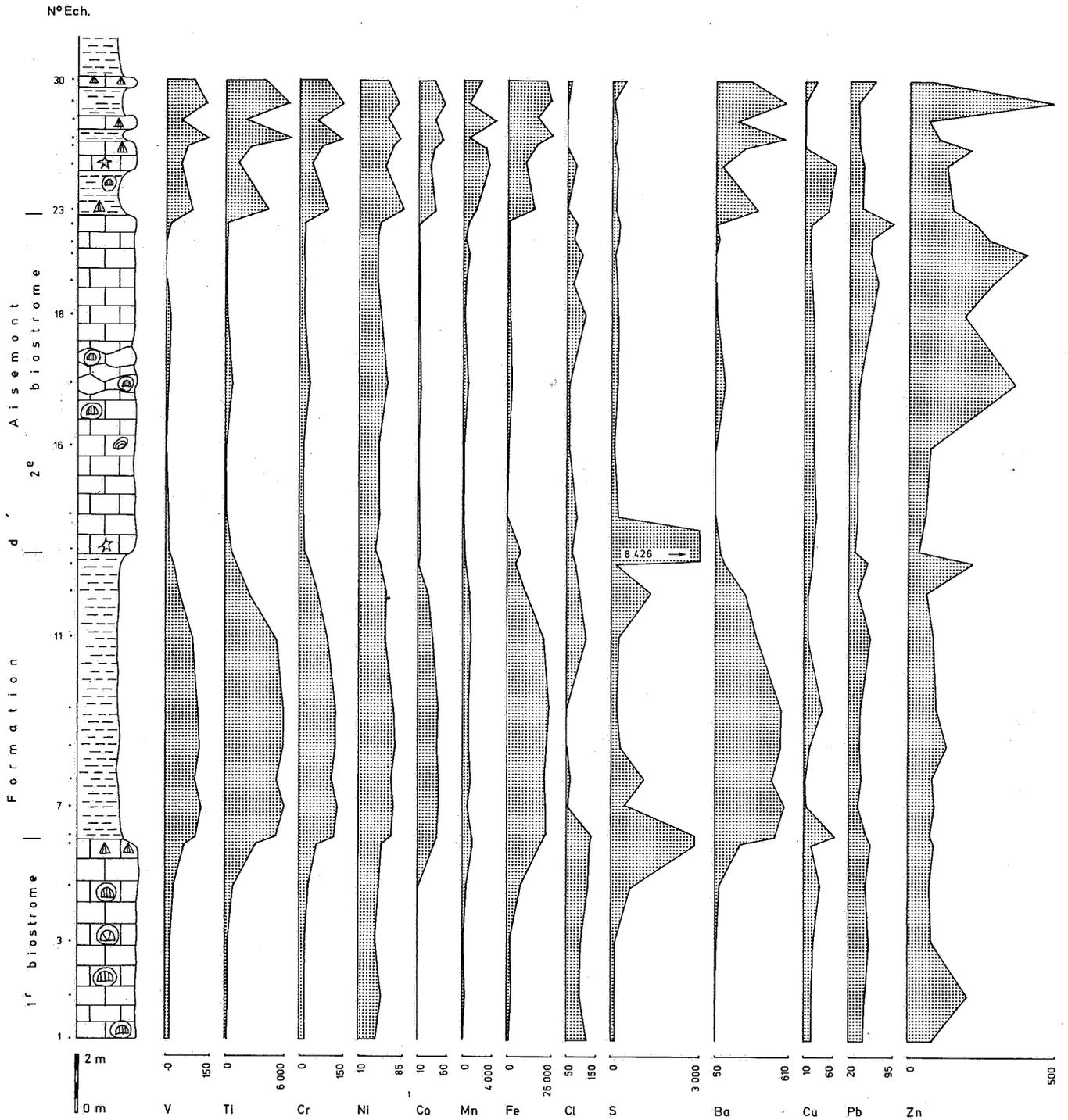
Géochimie

Au sommet de la formation de Lustin : plusieurs anomalies en Zn (jusqu'à 1360 ppm). Au sein du deuxième biostrome : une faible anomalie en Na_2O correspondant à un joint calcschisteux. Au sommet du deuxième biostrome : anomalies en Zn (jusqu'à 430 ppm) et en Pb (jusqu'à 330 ppm) témoins de l'extension latérale du niveau minéralisé des sondages 134 E 303, 134 E 310 et 134 E 396. A signaler aussi que l'As, qui généralement se situe sous la limite de détection, est à cet endroit plus abondant. Dans la formation de Matagne, au-dessus d'un banc carbonaté isolé dans les shales, une forte anomalie en Zn (1940 ppm). Enfin, à plusieurs endroits du profil, se signalent des anomalies en S qui ne sont pas accompagnées d'anomalies en d'autres éléments.

CHAUDFONTAINE - BLEURMONT - 134 E 138



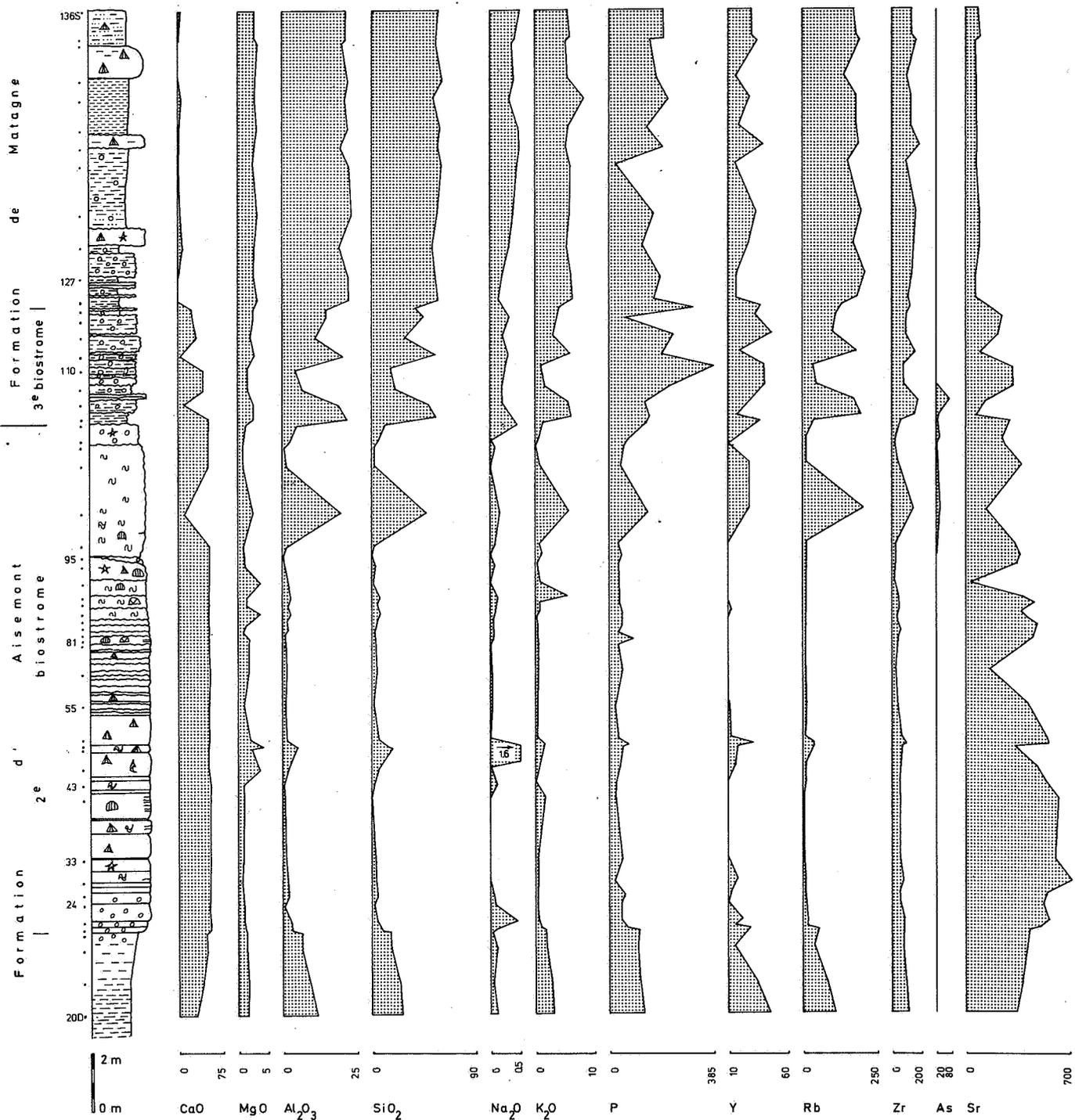
CHAUDFONTAINE - BLEURMONT - 134 E 138



CHAUDFONTAINE - FOND DES CRIS - 134 E 203

I

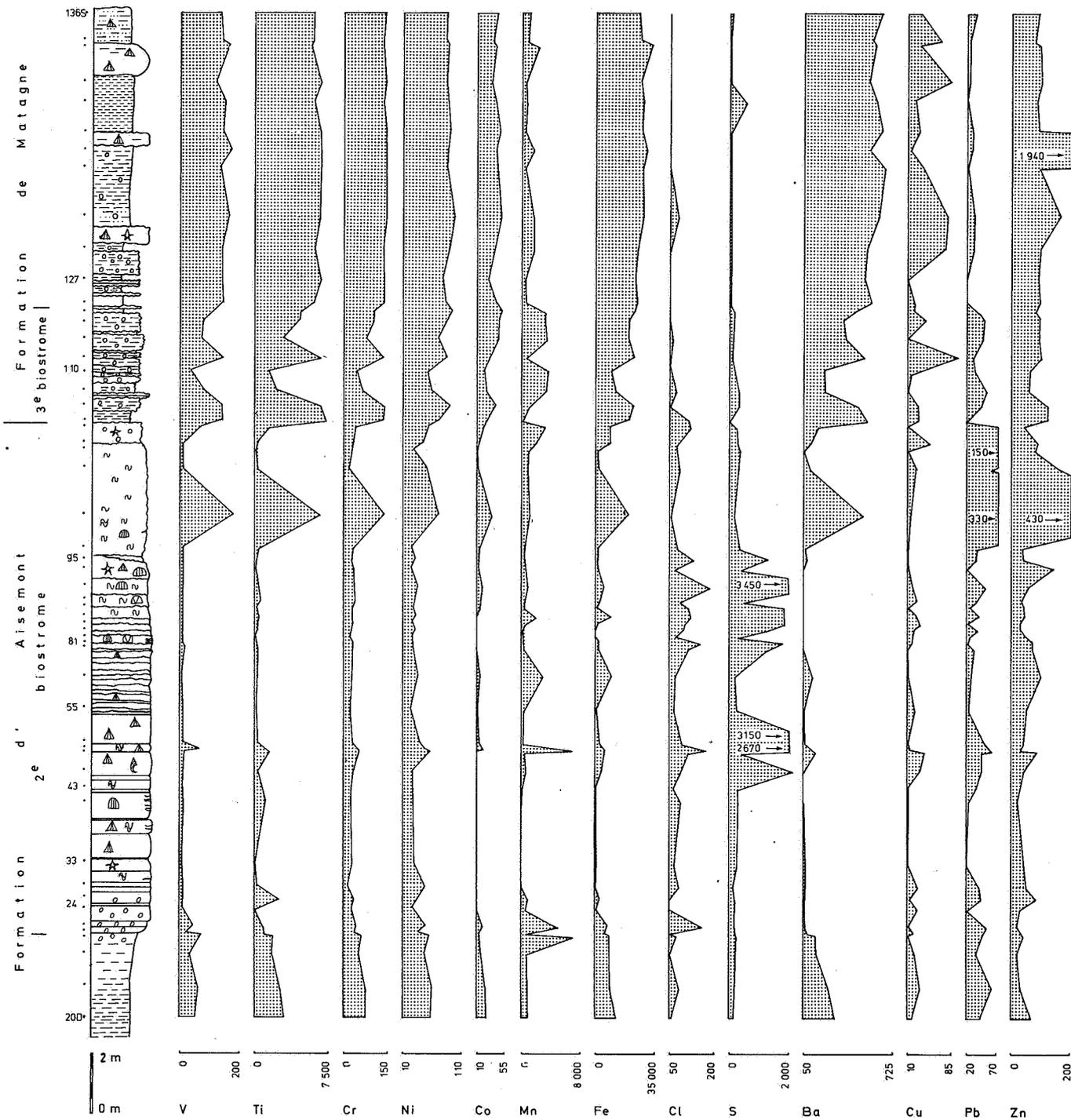
N° Ech.



CHAUDFONTAINE - FOND DES CRIS - 134 E 203

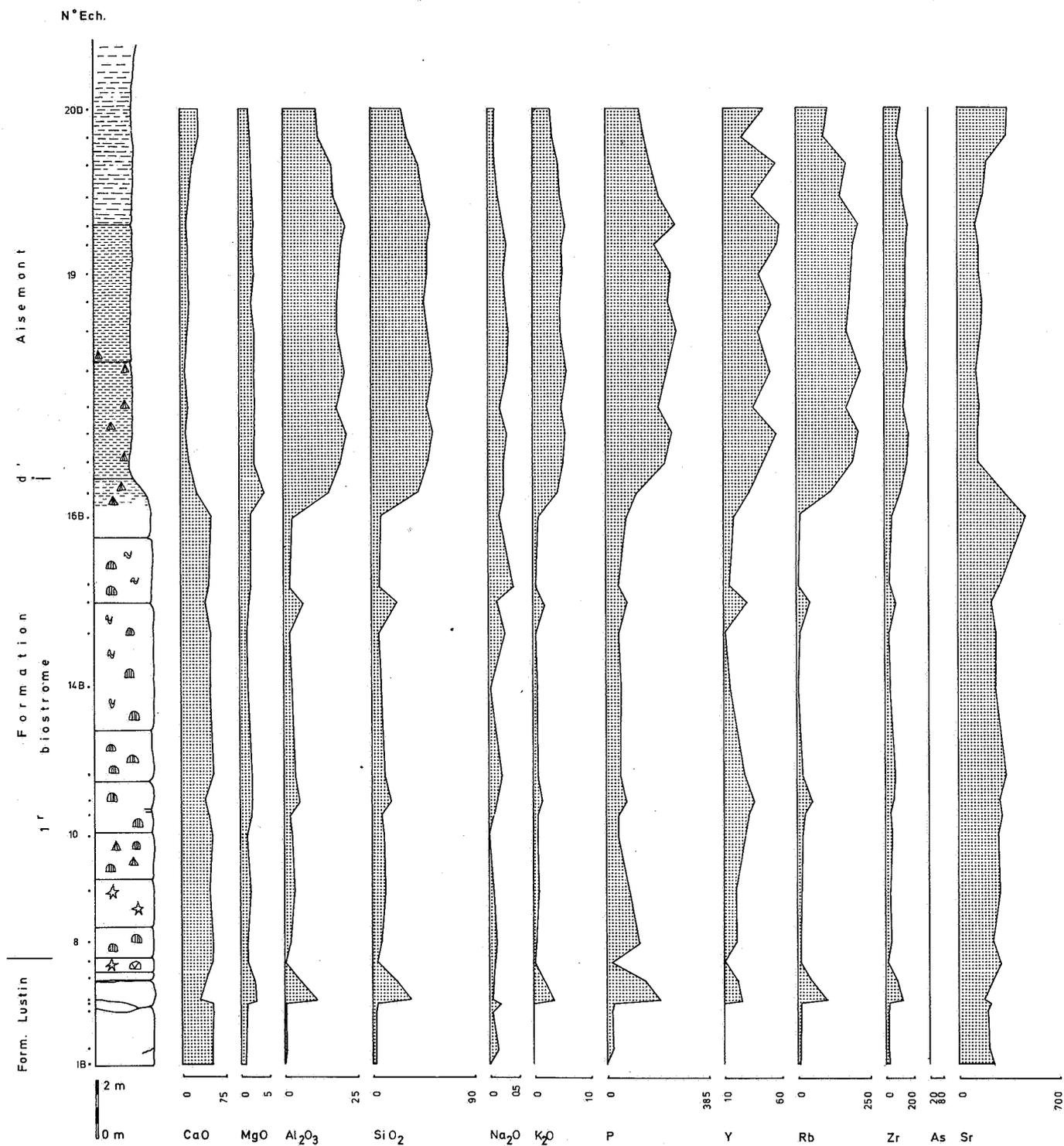
I

N° Ech.



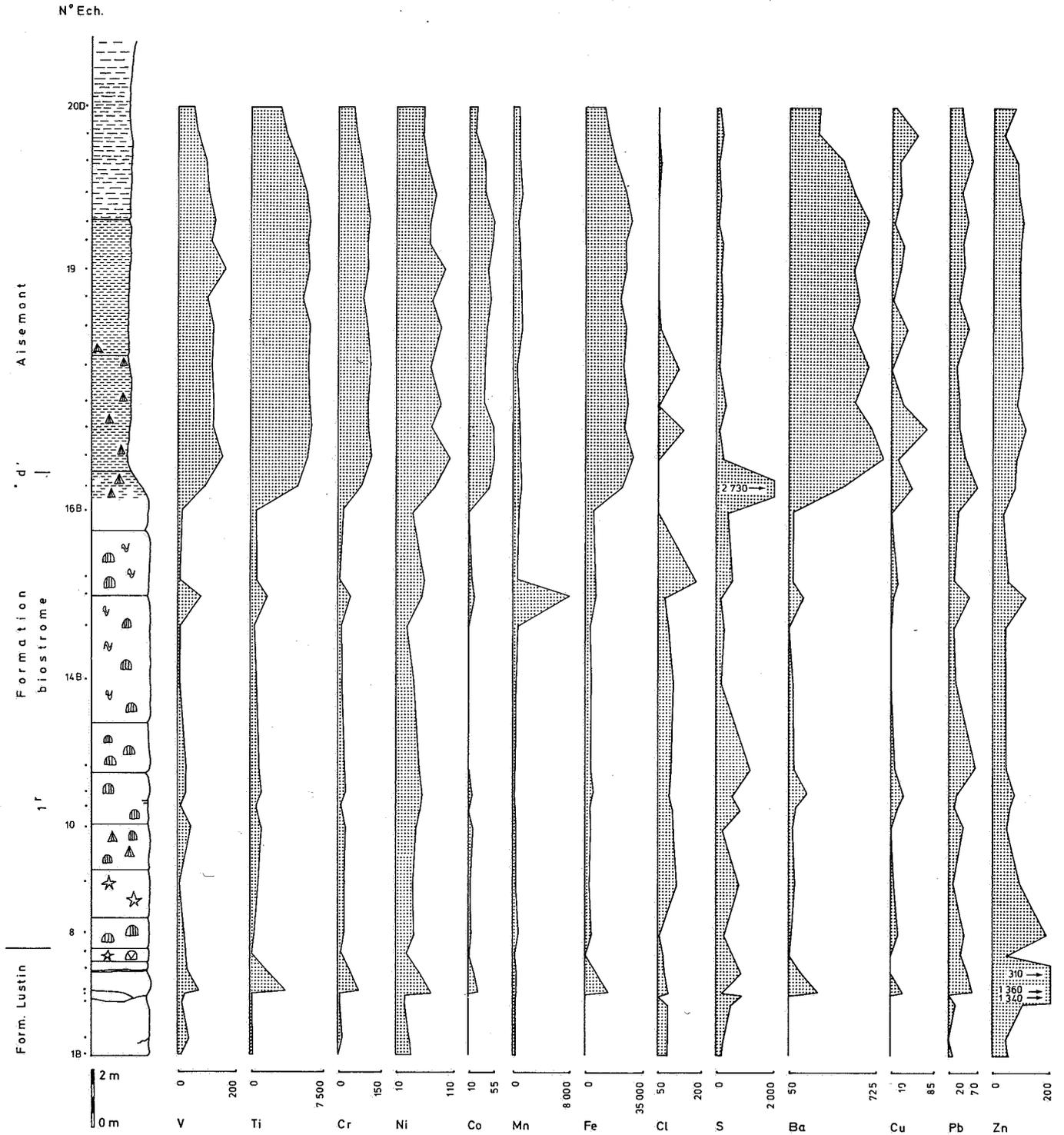
CHAUDFONTAINE - FOND DES CRIS - 134 E 203

II



CHAUDFONTAINE - FOND DES CRIS - 134 E 203

II



CHAUDFONTAINE - LES THERMES - 134 E 150

Localisation

- carte topographique IGN 42/6
- au centre de la ville de Chaudfontaine, derrière le syndicat d'initiative (Maison Sauveur), près de l'entrée de la grotte des Sottais.

Référence

Coen-Aubert (1974).

Géologie

Affleurement montrant le contact entre le deuxième et le troisième biostrome à *Phillipsastraea*. Ce contact est affecté par un karst récent (grotte des Sottais). Le troisième biostrome apparaît sous un faciès rougeâtre qui persiste çà et là dans le synclinorium de Verviers mais qui n'est pas le faciès le plus représentatif. Ce biostrome à faciès rougeâtre ne doit pas être confondu avec le bioherme rouge présent dans les sondages de Chaudfontaine (134 E 303, 134 E 310 et 134 E 396) et qui est intercalé entre le premier et le deuxième biostrome à *Phillipsastraea*.

Géochimie

Faible anomalie en Cu (90 ppm) et As (45 ppm) ainsi que fortes anomalies en Pb (690 ppm) et Zn (1434 ppm), au sommet du deuxième biostrome. Des sulfures ont d'ailleurs été trouvés à cet endroit.

EMBOURG - COLONSTER - 134 E 159

Localisation

- carte topographique IGN 42/6
- très bel affleurement (rochers dits «du Bout du Monde») situé en face du château de Colonster (aussi orthographié Colonstère), en bordure de l'autoroute E9.

Références

Coen-Aubert (1974); Fourmarier (1931).

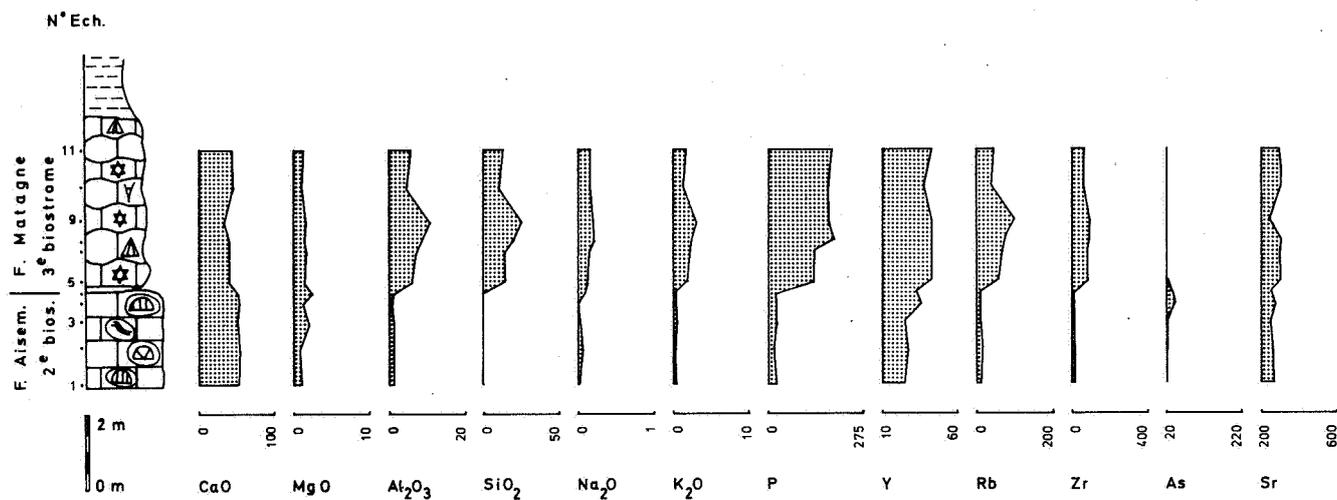
Géologie

Le Dévonien moyen et le Frasnien sont exposés au sein d'une série à pendage constant (45°S) formant le flanc S d'un anticlinal. Cette série est cependant affectée au milieu de la formation de Lustin par une faille parallèle à la stratification. C'est en partie pour cette raison que la formation de Lustin n'a pas été échantillonnée à cet endroit. A signaler aussi l'absence de dépôt (lacune stratigraphique) de la formation du Roux. Par contre, les formations de Nèvreumont et de Presles sont très bien exposées mais se caractérisent toutefois par leur très faible épaisseur. En outre, la lithologie de la formation de Nèvreumont, par ses bancs de conglomérats quartzeux, de grès grossiers et de calcaires à clastes et galets gréseux et quartzeux, souligne la proximité du continent. Le deuxième biostrome à *Phillipsastraea* dont le sommet est malheureusement masqué par un mur, a également été échantillonné.

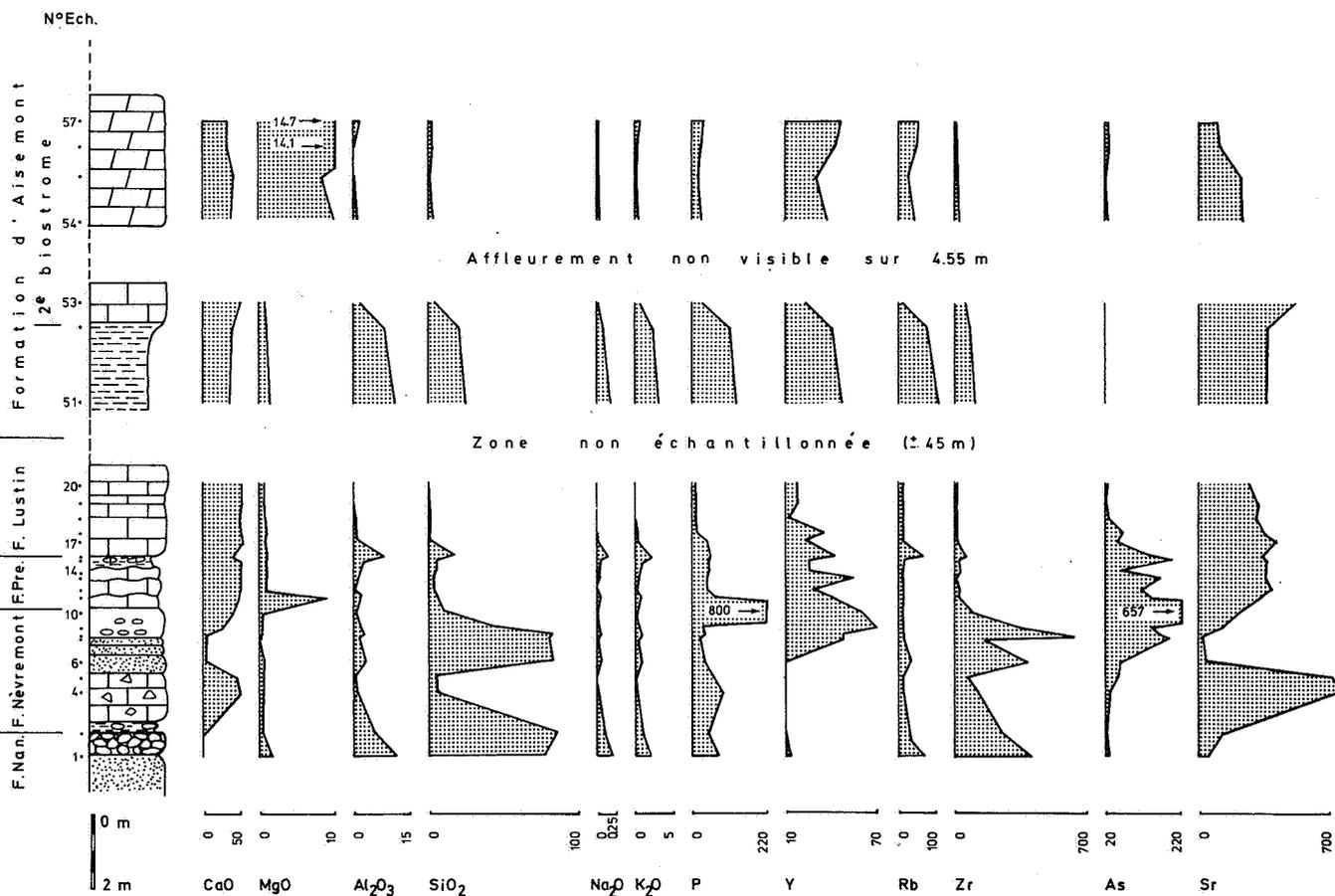
Géochimie

Dans la formation de Naninne : faible anomalie en Ni (134 ppm) et fortes anomalies en Ba (jusqu'à 6618 ppm). Dans la formation de Nèvreumont : anomalies en Cu (294 ppm) et P (800 ppm) et fortes anomalies en As (jusqu'à 657 ppm - ce qui est exceptionnel pour cet élément dans le contexte donné), en Pb (jusqu'à 3800 ppm) et en Ba (jusqu'à 7702 ppm). Un échantillon prélevé à la base du banc carbonaté d'où proviennent les échantillons 4 et 5 contenait trop de Ba pour l'analyse par fluorescence X. Analysé par ICP, il contenait 6.6 % Ba, 0.11 % Sr, 0.002 % Zn et < 0.005 % Pb. Dans la formation de Presles : faible anomalie en Ba (863 ppm - faible, car dans calcschistes) et fortes anomalies en Zn (jusqu'à 890 ppm) et Pb (jusqu'à 2434 ppm). A la base de la formation de Lustin, anomalies en Zn (jusqu'à 613 ppm) et en Pb (jusqu'à 1217 ppm). Au sommet de la formation d'Aisemont : anomalie en Zn (469 ppm). En outre, il faut également souligner l'existence d'un fond géochimique élevé en Mn à l'endroit des anomalies en Cu, Pb et As des formations de Nèvreumont, Presles et Lustin. Ces anomalies sont dues en grande partie à des minéralisations stratiformes visibles macroscopiquement : des mouchetures disséminées de galène ont été trouvées dans les grès de la formation de Naninne et dans les calcaires argileux de la formation de Presles; des nodules pyriteux fortement oxydés mais contenant parfois encore de la galène sont alignés parallèlement à la stratification dans les grès de la formation de Nèvreumont et dans les calcaires de base de la formation de Lustin. Mais au même endroit que ces minéralisations stratiformes existent aussi des veinules, parfois extrêmement fines et à peine visibles macroscopiquement qui renferment notamment de la galène (surtout dans la formation de Presles) et de la barite (surtout dans les formations de Nèvreumont et de Naninne).

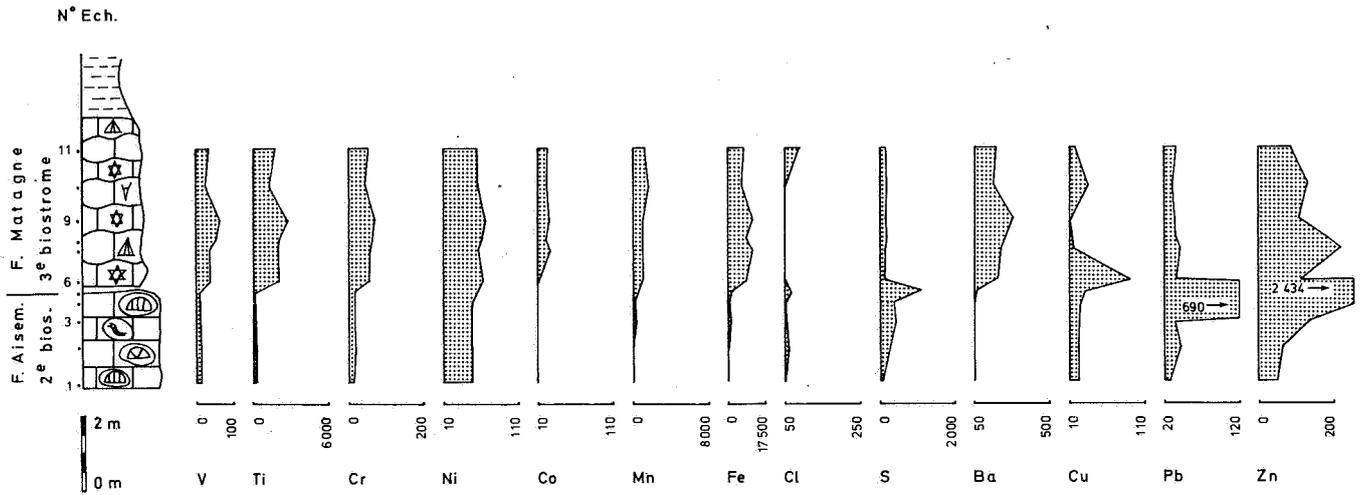
CHAUDFONTAINE - LES THERMES - 134 E 150



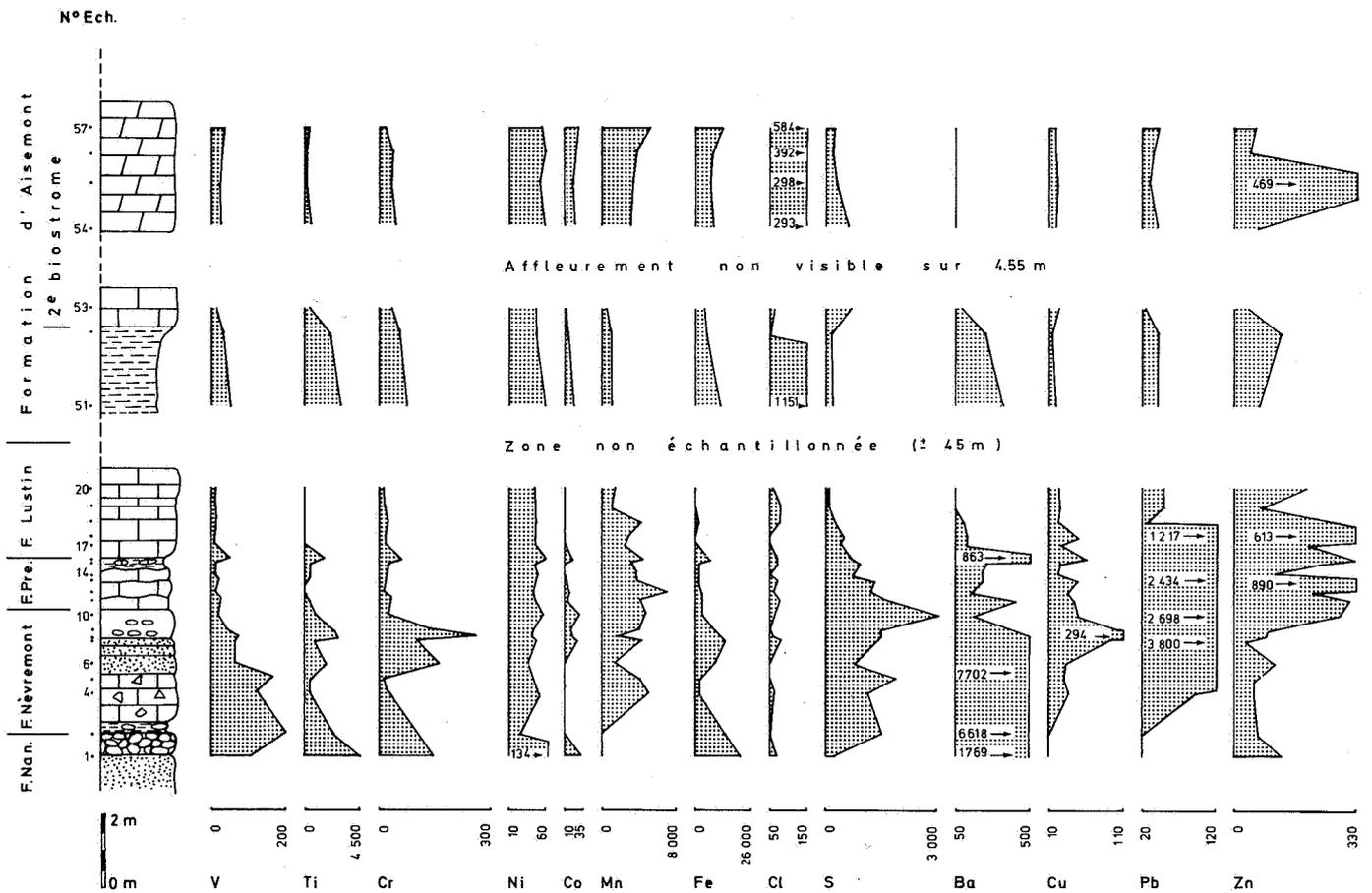
EMBOURG - COLONSTER - 134 E 159



CHAUDFONTAINE - LES THERMES - 134 E 150



EMBOURG - COLONSTER - 134 E 159



ENGIS - 133 E 96**Localisation**

- carte topographique IGN 41/8
- route N17, Huy-Liège, rive gauche de la Meuse, face à la borne K22.

Références

Lacroix (1972, 1974); Coen-Aubert & Lacroix (1979).

Géologie

Coupe localisée dans la partie orientale du bord S du synclinorium de Namur. Elle débute par une carrière désaffectée où affleure en série inverse (direction : N 30° E; pendage : 60° S) le sommet de la formation de Lustin et le premier biostrome à *Phillipsastraea*. L'intercalaire schisteux compris entre le premier et le deuxième biostrome affleure remarquablement bien dans un talus situé le long de la route N17. Le deuxième biostrome qui termine cette coupe est situé dans une propriété privée, au coin de la route Stockay-Saint-Georges.

Géochimie

Coupe particulièrement démonstrative sur le plan de certaines tendances géochimiques. Elle montre notamment :

- dans les shales :

l'augmentation du fond géochimique en Na₂O, K₂O, P, Y, Rb, Zr, V, Ti, Cr, Fe et Ba;

- dans les dolomies :

la diminution du fond géochimique en Sr et l'augmentation du fond géochimique en Cl.

Plusieurs anomalies en Zn dans les parties supérieures de la formation de Lustin (469 et 398 ppm), du premier biostrome (568 ppm) et du deuxième biostrome (413 ppm). Le contact premier biostrome - shales sus-jacents, caractérisés à l'affleurement par de nombreuses mouchetures pyriteuses, se signale en outre par une anomalie en Ba (1085 ppm).

ESNEUX - HONY - 147 E 277**Localisation**

- carte topographique IGN 49/2
- route N33 Liège-Esneux. Quelques kilomètres avant Esneux, entre les bornes K11 et K12, prendre le pont sur l'Ourthe dans la direction de Hony. La coupe est située le long de la voie de chemin de fer, à quelques centaines de mètres de l'ancienne gare de Hony.

Références

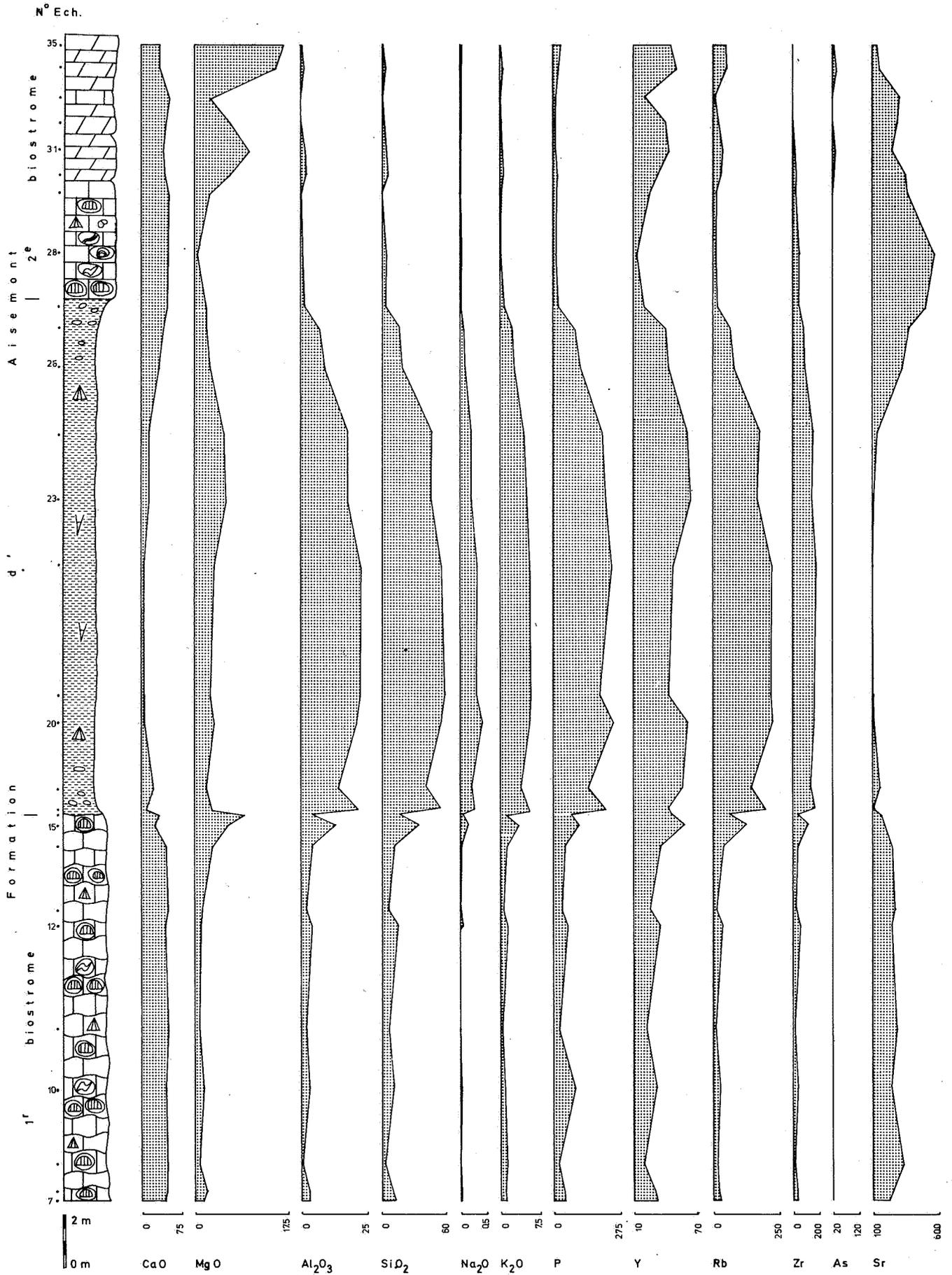
Bouckaert & Thorez (1965); Bouckaert *et al.* (1972); Coen-Aubert (1974).

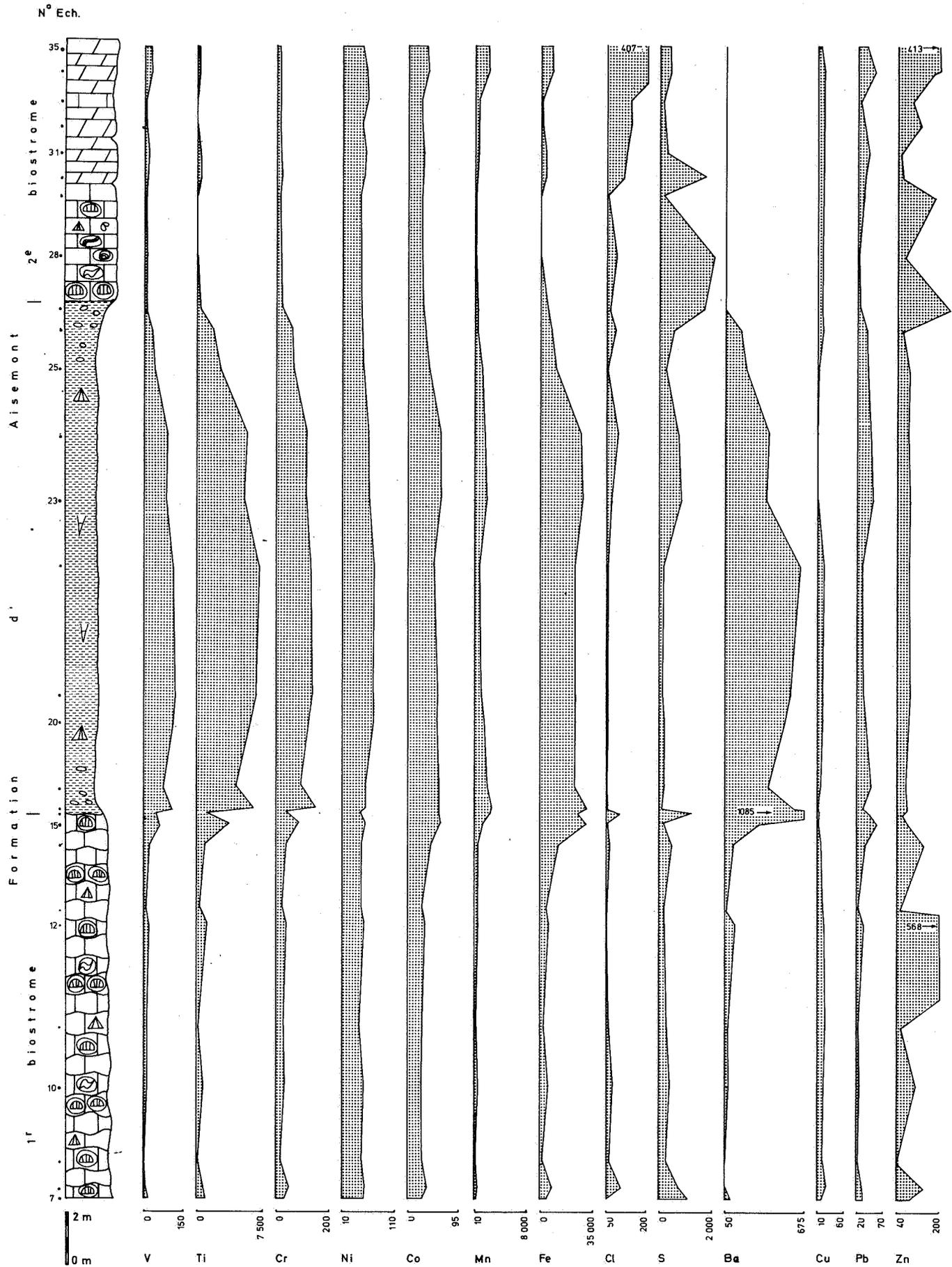
Géologie

Cette coupe se situe à l'extrémité orientale du synclinorium de Dinant. Le passage du Frasnien au Famennien y est très bien exposé. Dans le cadre de cette étude, seul le contact entre le deuxième biostrome à *Phillipsastraea* et les shales sus-jacents a été échantillonné. Ce deuxième biostrome n'affleure que dans sa partie supérieure, en bancs subhorizontaux et est surmonté sur 7.6 m par une alternance de schistes verts et de bancs calcaires à fenestelles et rares *Phillipsastraea*.

Géochimie

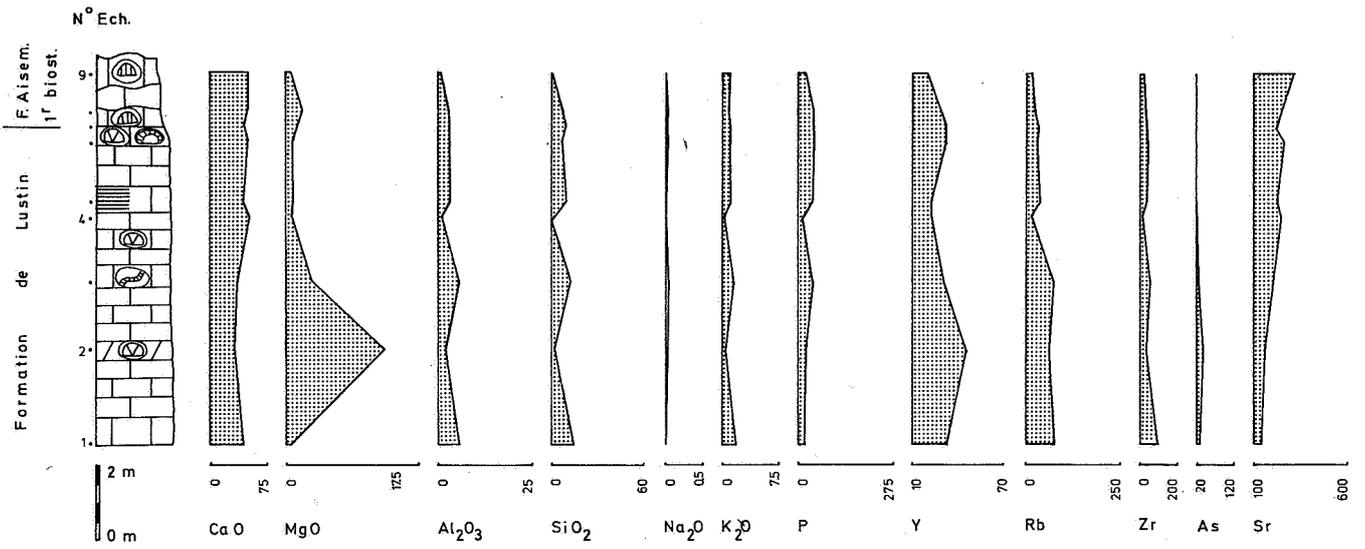
Les 5 échantillons prélevés dans le deuxième biostrome sont légèrement anomaux en Pb (de 80 à 150 ppm) et en S (de 1250 à 1750 ppm). A noter également le fond géochimique en Sr particulièrement constant (450 ppm). A l'affleurement, présence de nodules pyriteux disséminés dans le calcaire biostromal (écartés des échantillons analysés).



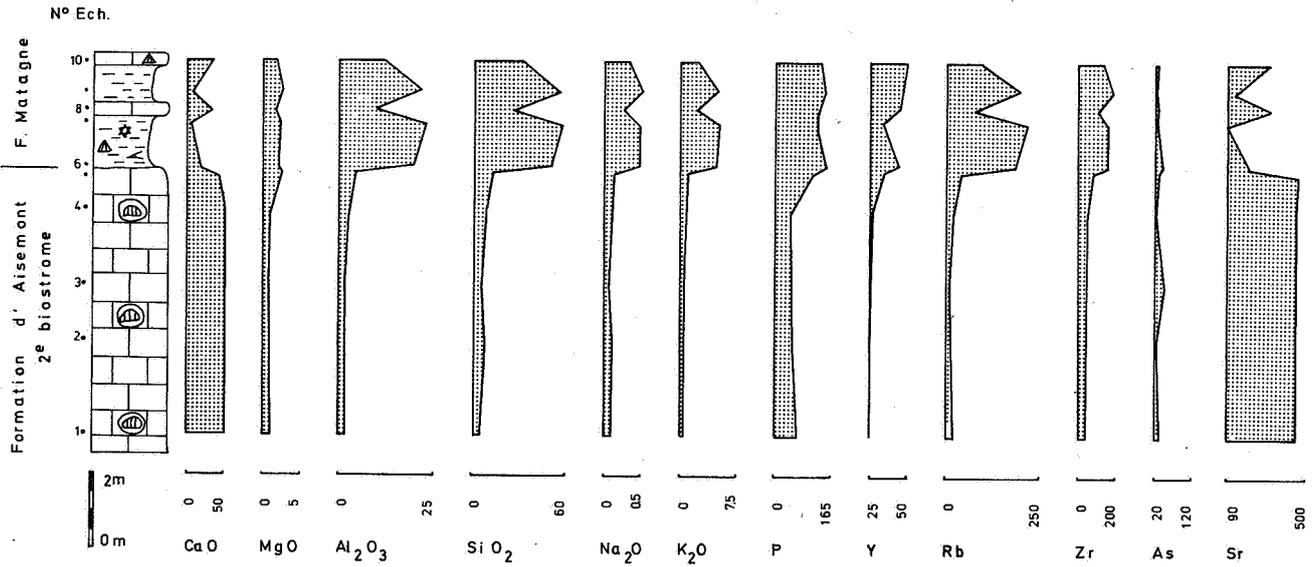


ENGIS - 133 E 96

II

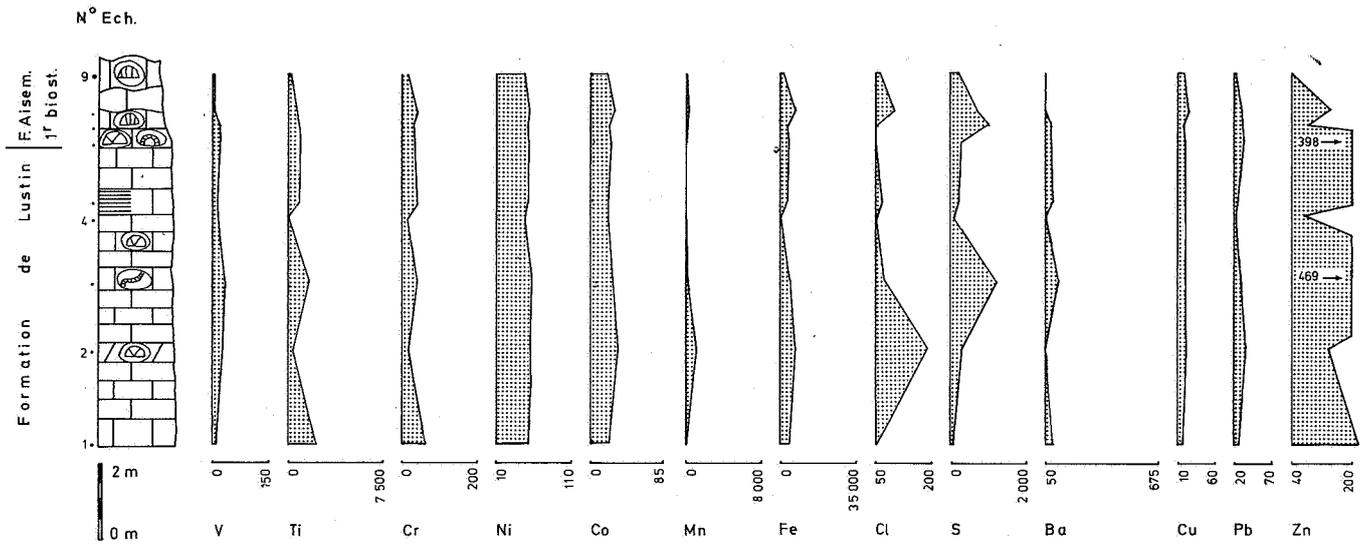


ESNEUX - HONY - 147 E 277

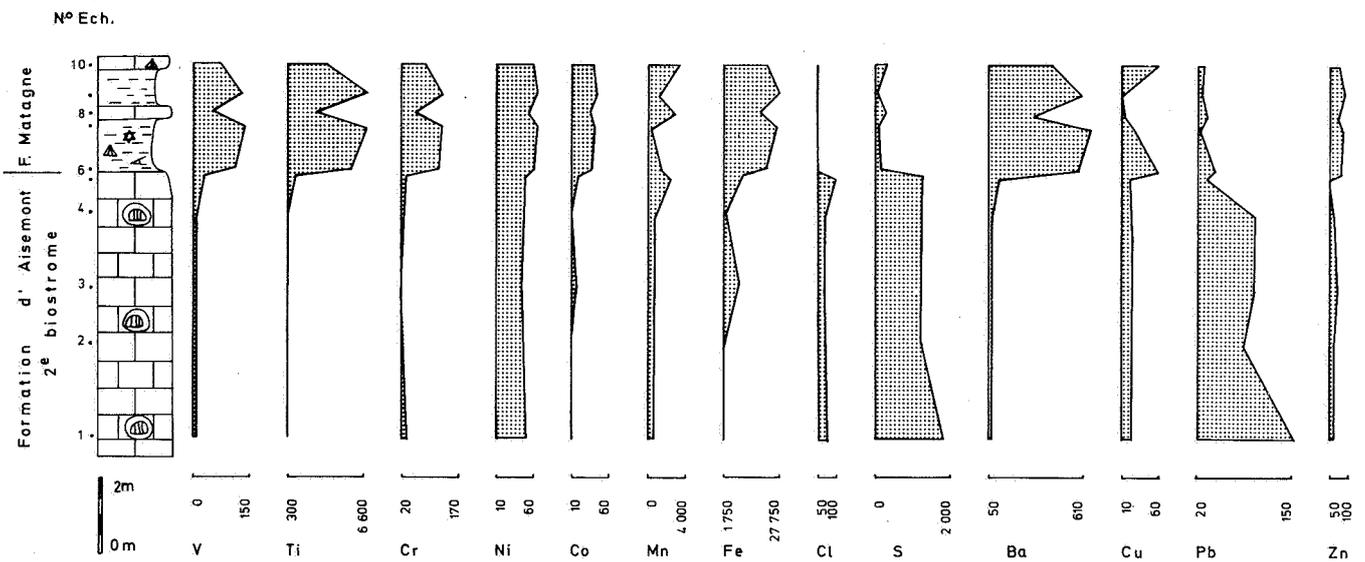


ENGIS - 133 E 96

II



ESNEUX - HONY - 147 E 277



FORET -TROOZ - RUISSEAU DE MOSBEU - 135 W 295

Localisation

- carte topographique IGN 42/7
- route N31 Liège-Verviers. Entre les bornes K8 et K9, prendre la route N39 en direction de Gomzé. L'affleurement se situe à 1 km de cet embranchement, le long du ruisseau de Mosbeu (aussi orthographié Ry de Mosbeux).

Références

7 publications mentionnées par Coen-Aubert (1974).

Géologie

Il s'agit d'un affleurement montrant en position subverticale et de façon pratiquement continue toutes les formations depuis Nèvreumont jusqu'à Aisemont. A signaler, par rapport aux affleurements situés à l'W, l'épaississement important de la formation de Nèvreumont qui passe assez rapidement d'une sédimentation gréseuse à une phase dolomitique largement développée mais néanmoins encore fortement souillée par des apports terrigènes. La formation du Roux, sensiblement moins épaisse que la formation de Nèvreumont, présente toutefois la même évolution lithologique. Enfin, il faut encore souligner la très forte réduction d'épaisseur du premier biostrome à *Philippastraeta* par rapport à celles qu'il développe dans la région de Chaudfontaine.

Géologie

Raccord des profils I et II : les points 142B (sommet du profil II) et 142S (base du profil I) sont distants de 2.7 m. Dans la formation de Nèvreumont : anomalies en Cu (292 ppm) et Fe (47900 ppm); fond géochimique en Zn localement élevé. La formation de Presles, ici de très faible épaisseur (1 m) et essentiellement carbonatée alors qu'à beaucoup d'autres endroits elle renferme des shales et/ou de l'hématite oolithique, se signale néanmoins par une faible anomalie en P (480 ppm) caractéristique de ce niveau. Le premier banc de la formation de Lustin est particulièrement singulier sur le plan géochimique : il présente des anomalies en Na₂O (1.5 %), Fe (217600 ppm), S (jusqu'à 74530 ppm), Pb (jusqu'à 1260 ppm) et Zn (jusqu'à 5335 ppm) et une légère augmentation des teneurs en As (100 ppm). Vers le sommet de la formation de Lustin, on note aussi une tendance vers l'augmentation des teneurs en Zn et Pb. Dans le premier biostrome de la formation d'Aisemont, légère anomalie en Zn (350 ppm). Dans les shales sus-jacents, sur plus de 10 m d'épaisseur stratigraphique, tous les échantillons sont anormaux en Zn (jusqu'à 3210 ppm). L'éventualité d'une pollution industrielle a été envisagée au & D.

FRAIPONT - RUISSEAU DE TARGNON - 135 W 295**Localisation**

- carte topographique IGN 42/7
- route N31 Liège-Verviers. En face de la borne K10, prendre le chemin longeant le ruisseau de Targnon. Deux carrières abandonnées se succèdent entre 150 et 300 m à partir de cet embranchement.

Référence

Coen-Aubert (1974).

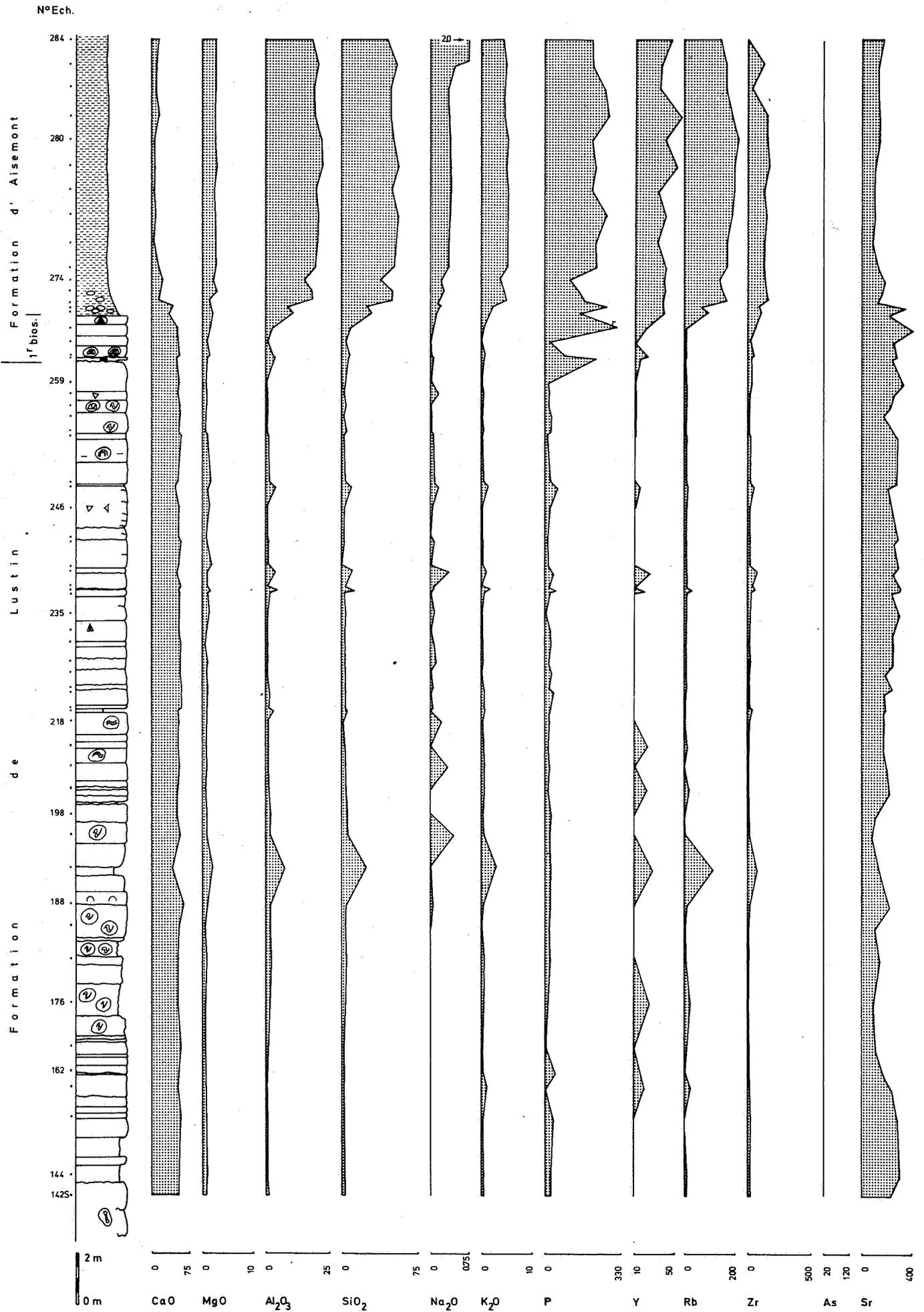
Géologie

Par rapport à l'affleurement de Trooz - Ruisseau de Mosbeu situé à 1200 m à l'W, cet affleurement a l'avantage d'exposer le deuxième biostrome à *Phillipsastraea*. Sur le plan sédimentologique, les deux coupes sont cependant tout à fait comparables. L'échantillonnage n'a donc été effectué qu'au sommet de la formation de Lustin et dans la formation d'Aisemont.

Géochimie

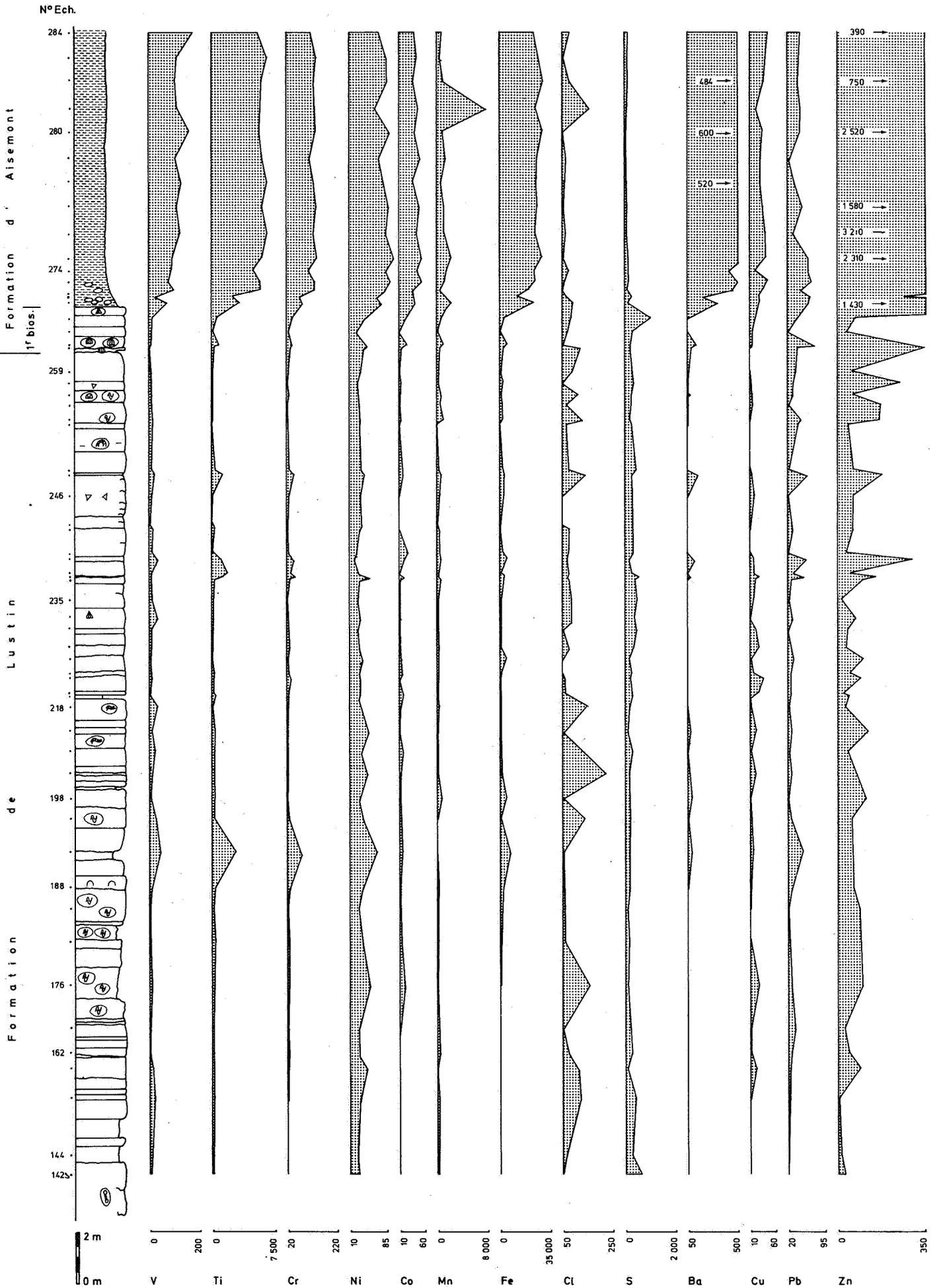
Dans la formation de Lustin, le fond géochimique en Zn est élevé. Au sommet du premier biostrome à *Phillipsastraea*, anomalies en Zn (1442 ppm), Pb (209 ppm) et Ba (750 ppm), l'As dépassant légèrement la limite de détection. Dans la partie inférieure du deuxième biostrome, faibles anomalies en Pb, Zn, Ba dans un joint calcschisteux. A plusieurs endroits, anomalies en S ne correspondant pas à des anomalies d'autres éléments.

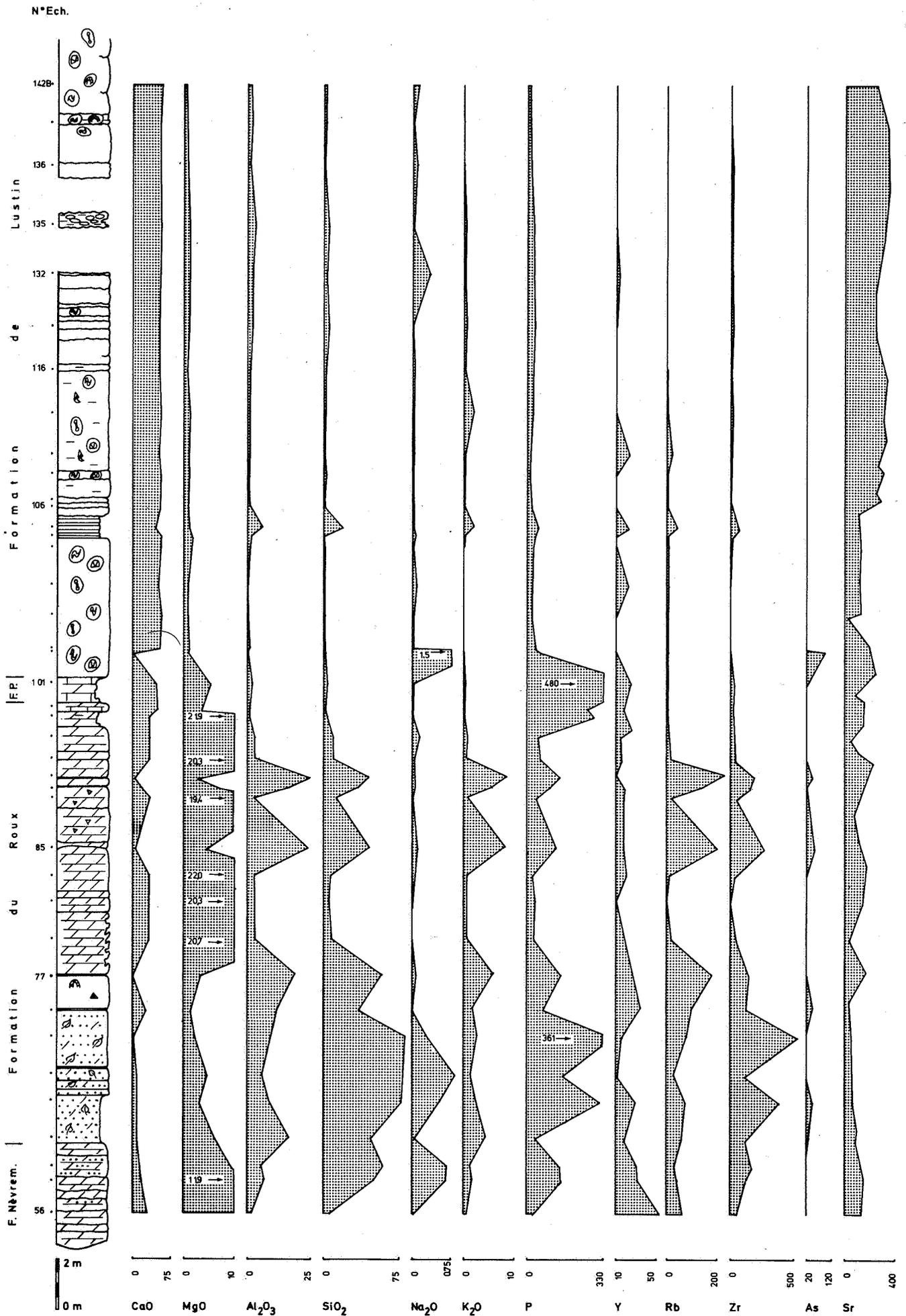
FORET - TROOZ - RUISSEAU DE MOSBEU - 135 W 295



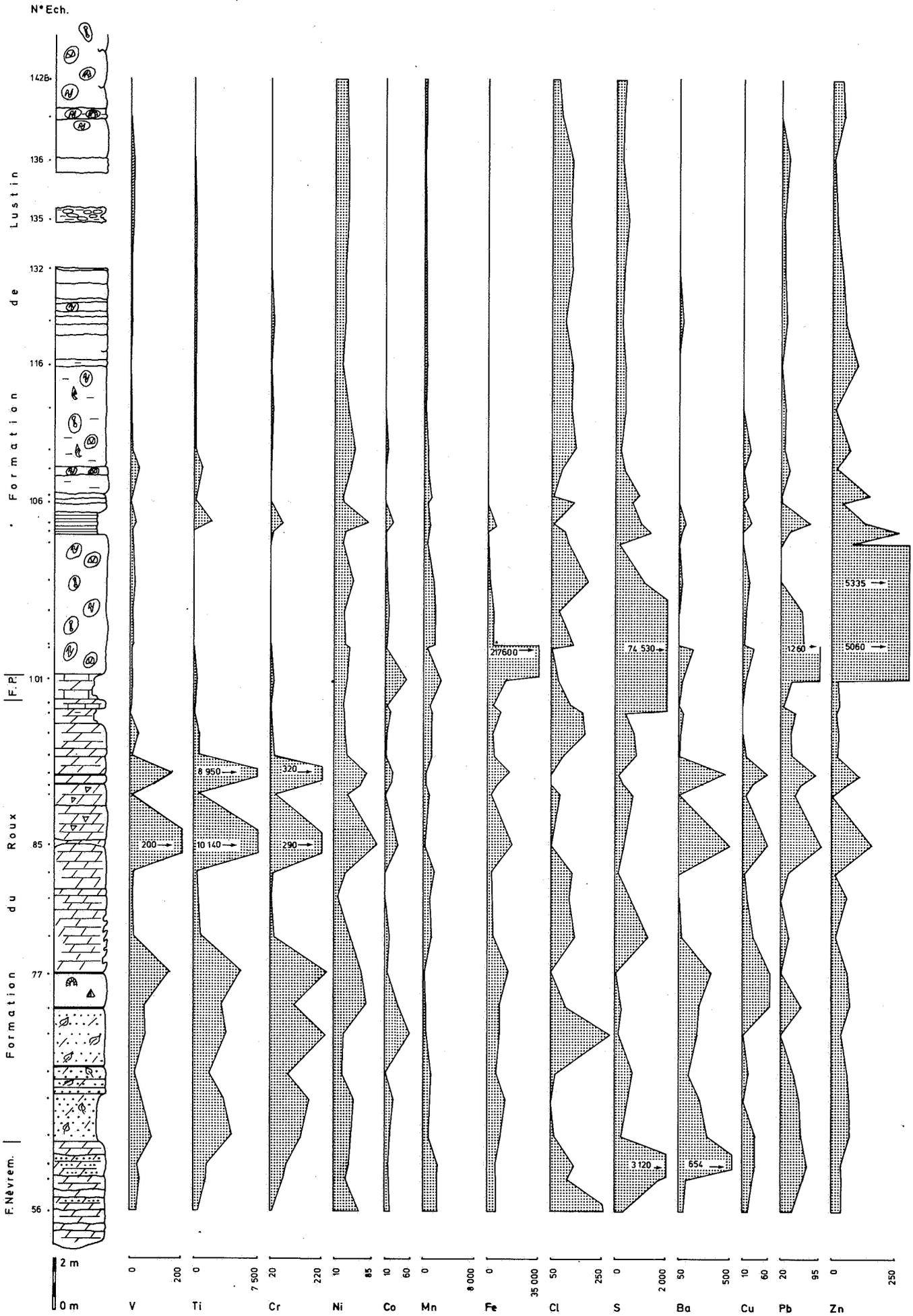
FORET - TROOZ - RUISSEAU DE MOSBEU - 135 W 295

I



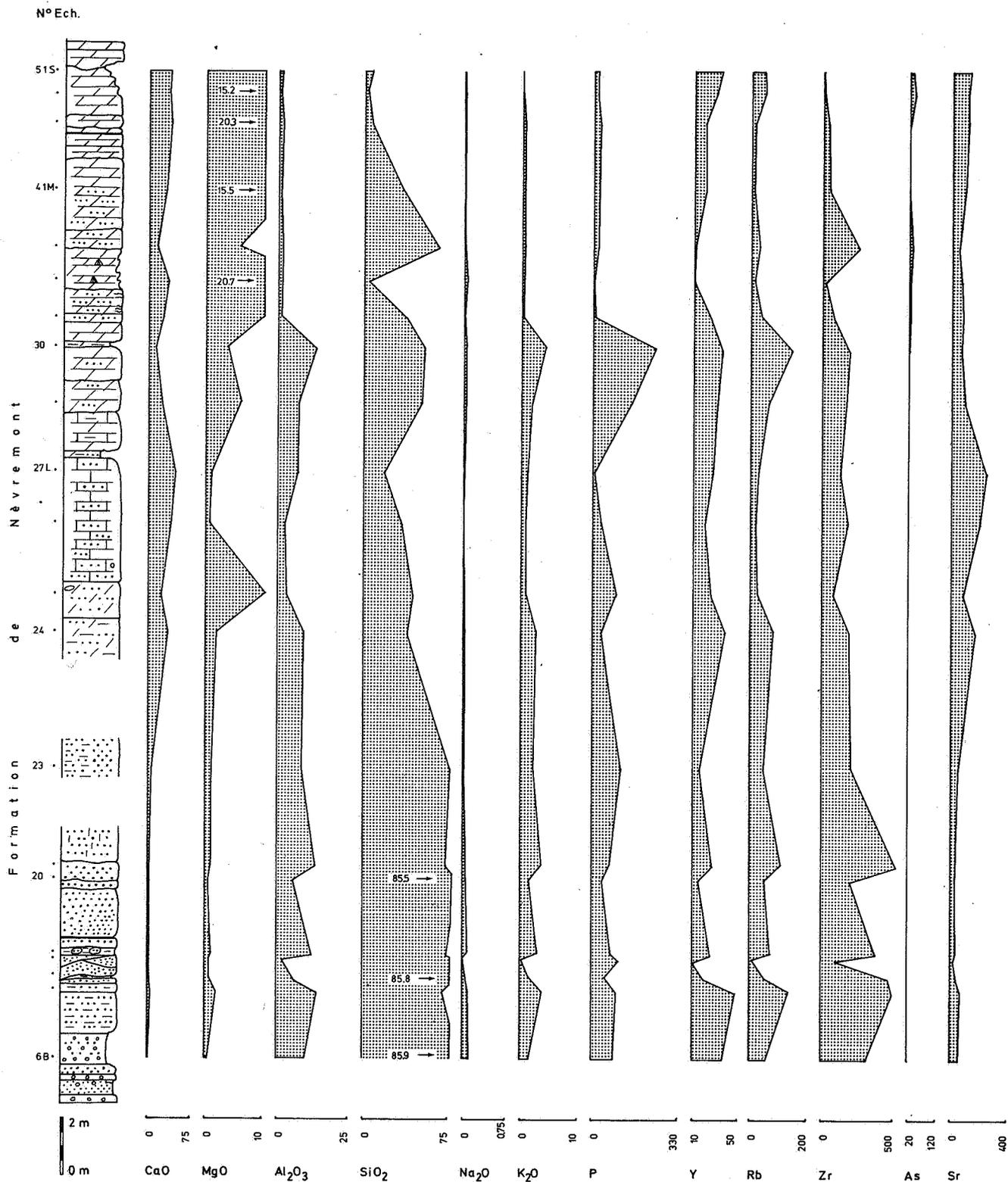


FORET - TROOZ - RUISSEAU DE MOSBEU - 13° W 295



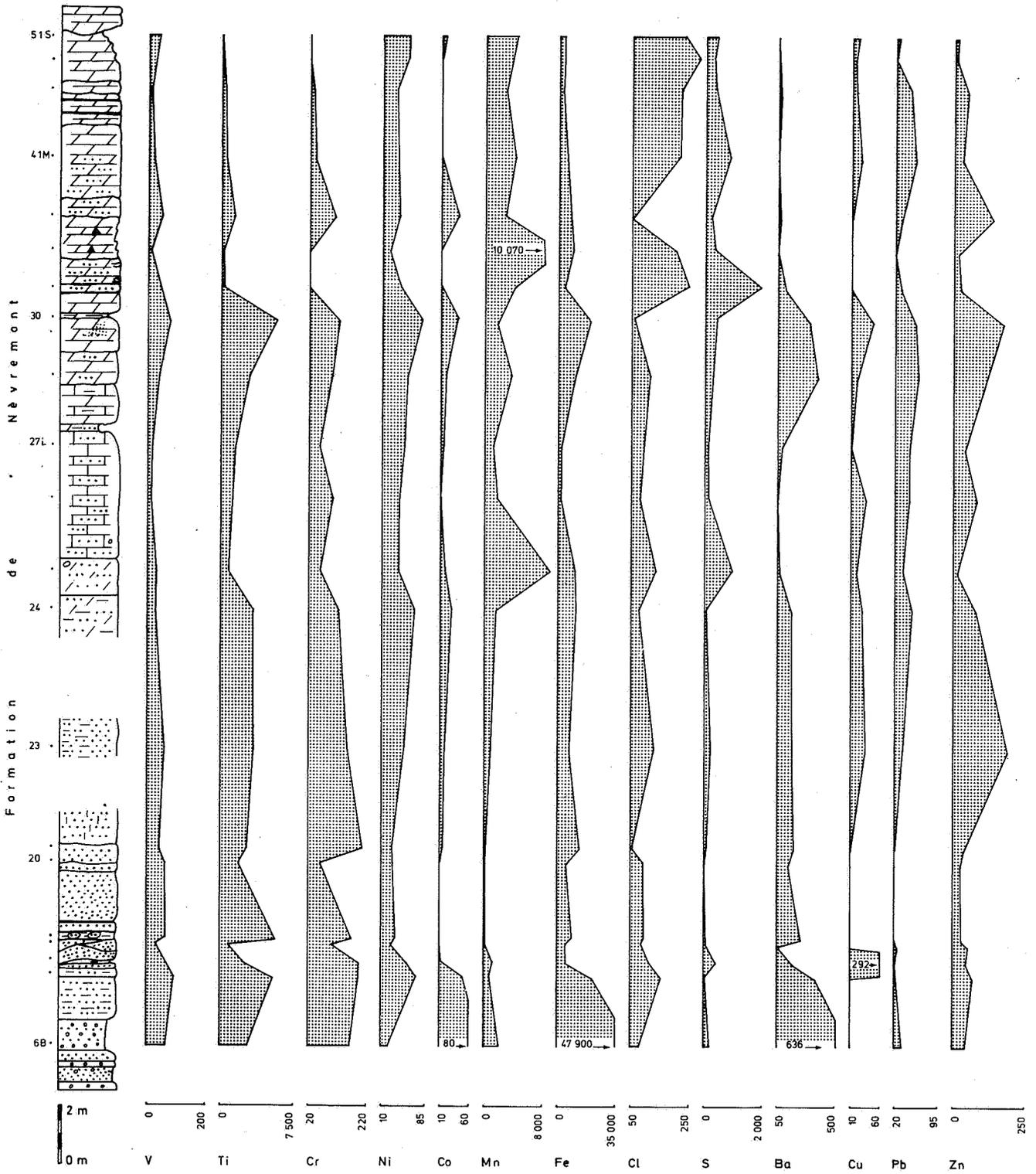
FORET - TROOZ - RUISSEAU DE MOSBEU - 135 W 295

III

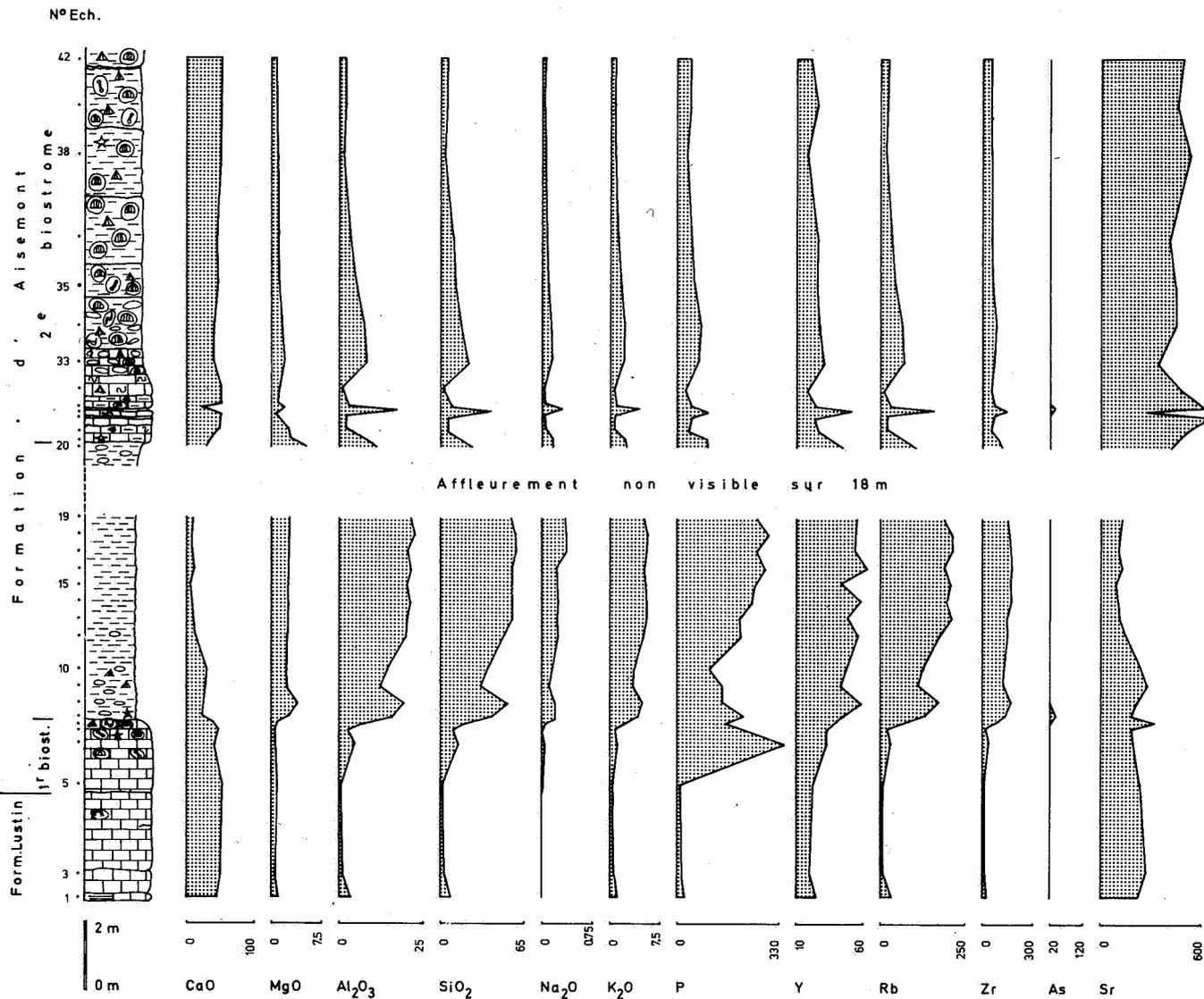


FORET - TROOZ - RUISSEAU DE MOSBEU - 135 W 29

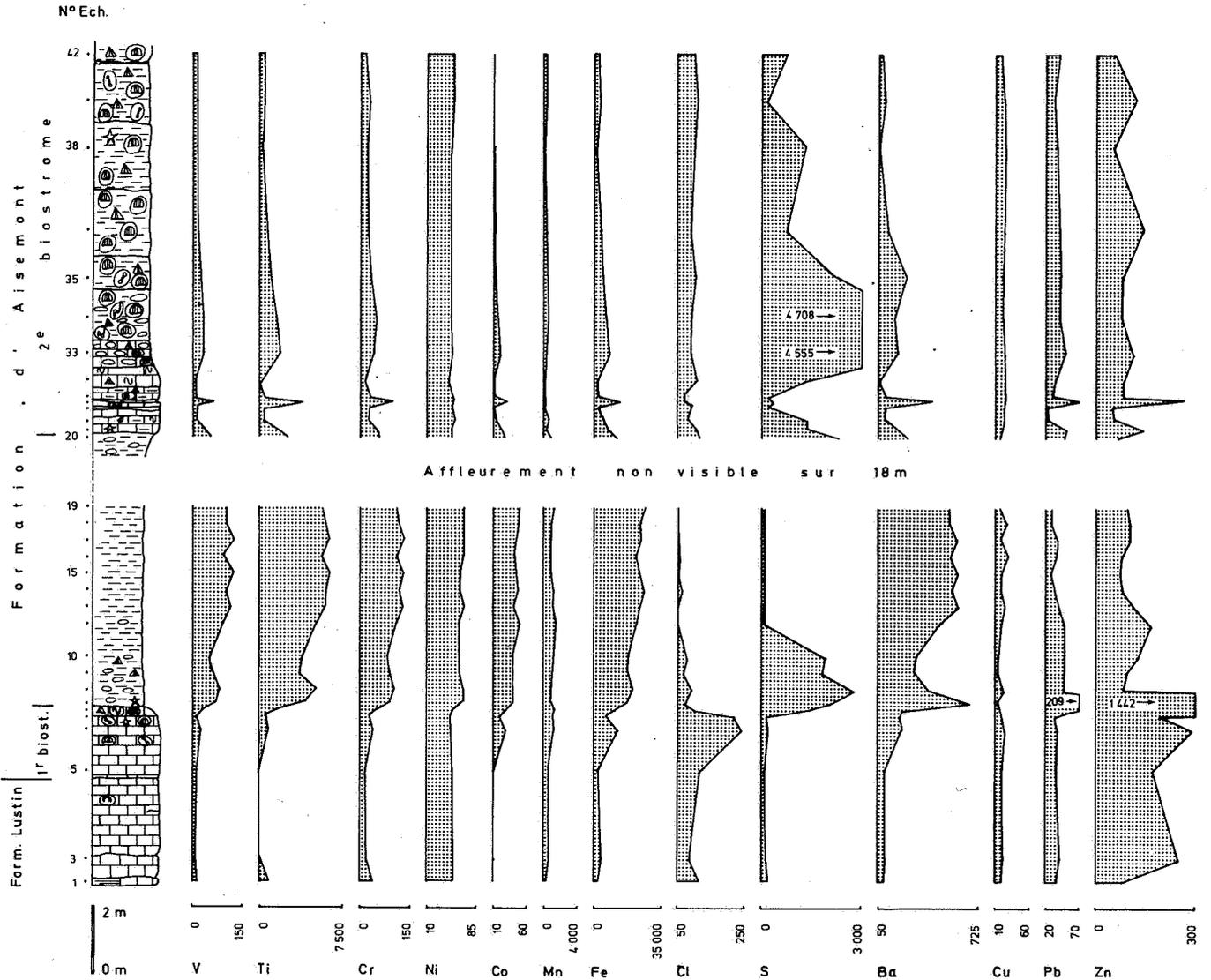
III



FRAIPONT - RUISSEAU DE TARGNON - 135 W 595



FRAIPONT - RUISSEAU DE TARGNON - 135 W 595



FORET - PRAYON - 135 W 406

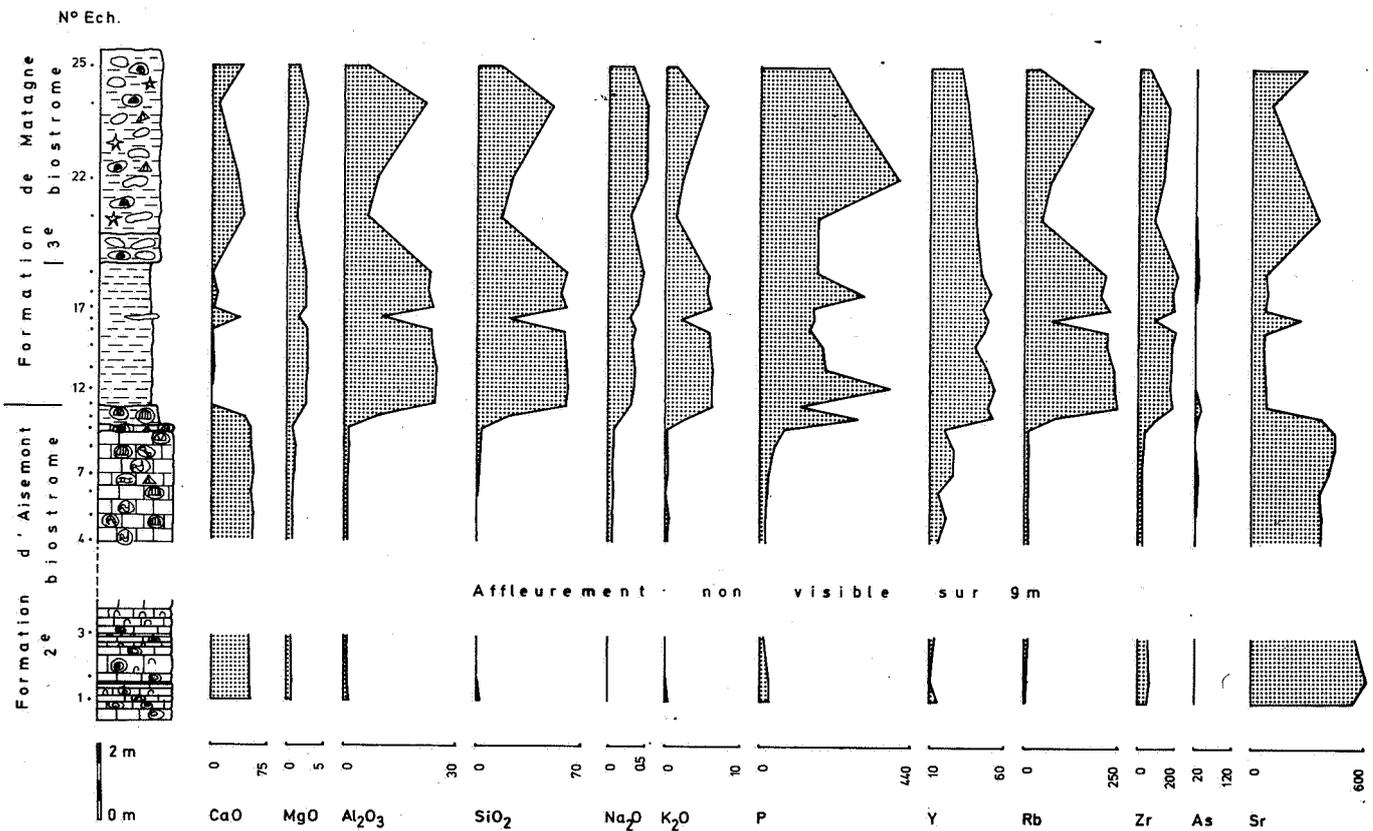
Localisation

- carte topographique IGN 42/7
- route N31 Liège-Verviers. Entre les bornes K6 et K7, immédiatement après l'usine métallurgique, prendre la route de Fléron. L'affleurement est situé à 550 m de cet embranchement et à 125 m d'un cimetière. Il s'agit d'une ancienne carrière, de dimension très réduite, bordant un petit affluent du ruisseau des Fonds de Forêt.

Références

Fourmarier & Ancion (1945); Coen-Aubert (1874).

FORET - PRAYON - 135 W 406



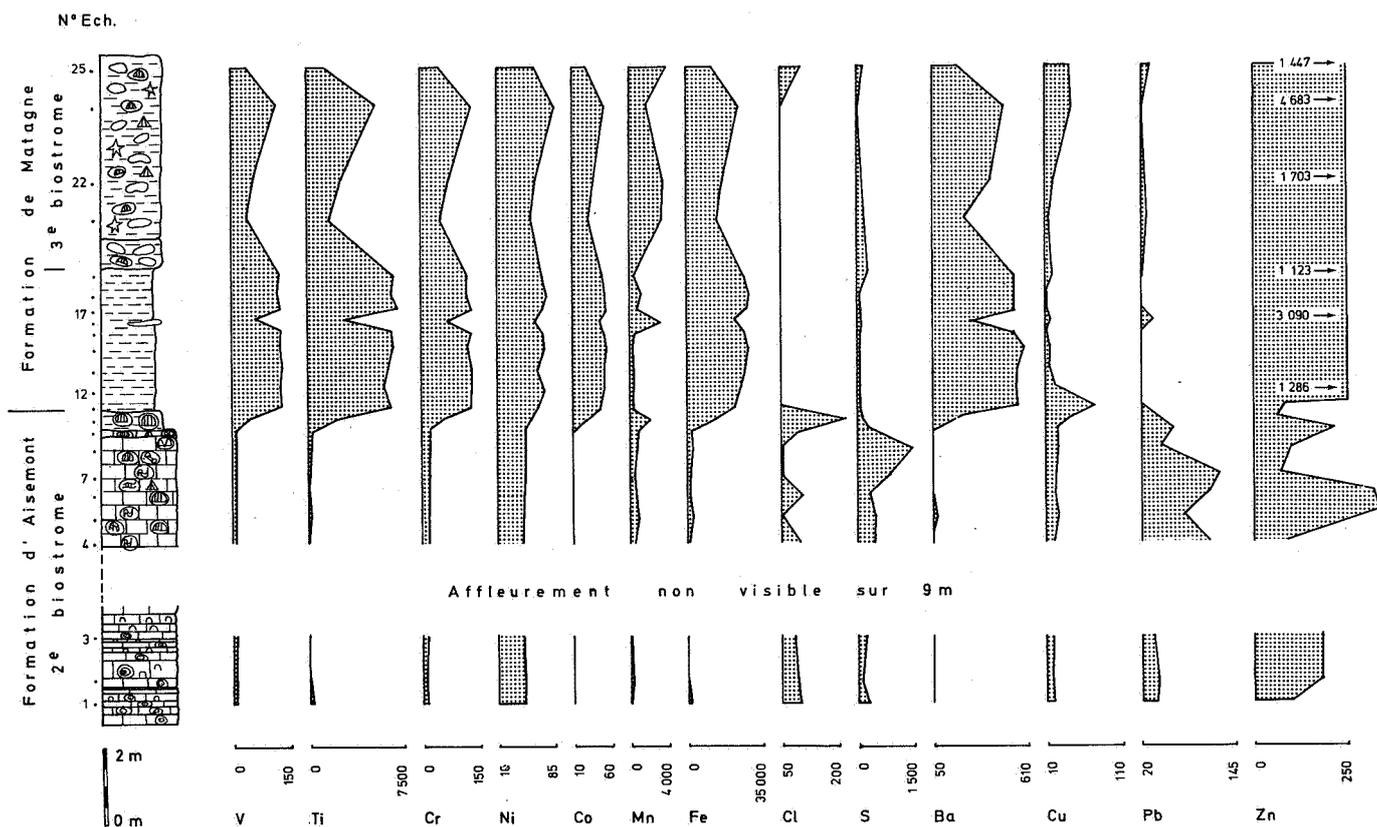
Géologie

La plus grande partie du deuxième biostrome à *Phillipsastraea* affleure au cœur d'un petit anticlinal. Le troisième biostrome à *Phillipsastraea*, est visible sur le flanc N, mais au sein d'un affleurement de très mauvaise qualité.

Géochimie

Au sommet du deuxième biostrome : faibles anomalies en Pb (jusqu'à 120 ppm) et Zn (jusqu'à 333 ppm). Dans les schistes et calcaires noduleux sus-jacents (échantillons 12 à 25), fond géochimique élevé en P et fortes anomalies en Zn (jusqu'à 4683 ppm) dues à une pollution par les retombées des fumées de l'usine métallurgique voisine (voir § D.).

FORET - PRAYON - 135 W 406



HORION-HOZEMONT - 133 E 716

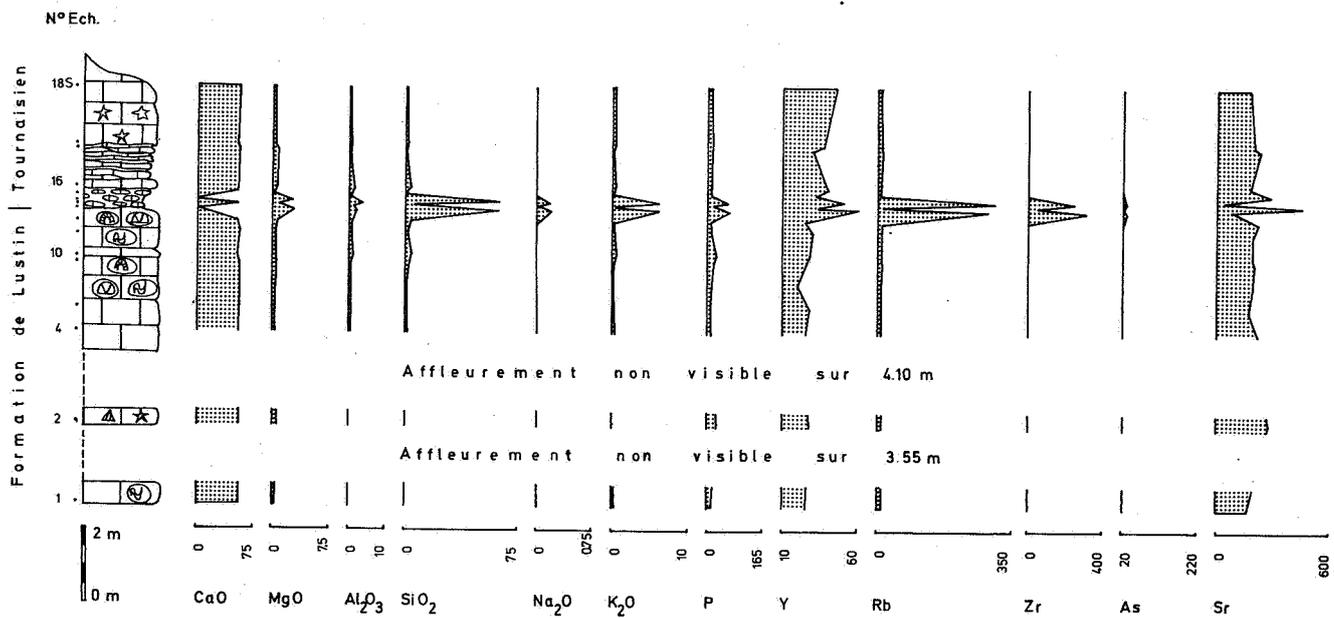
Localisation

- carte topographique IGN 41/8
- Horion-Hozémont est localisé à une quinzaine de km à l'W de Liège, dans le triangle formé par les autoroutes E5, E41 et la route N414. L'affleurement est enclavé dans une propriété privée, au sein du parc de Lexhy.

Références

Lacroix (1972); Hance (1979).

HORION-HOZEMONT - 133 E 716



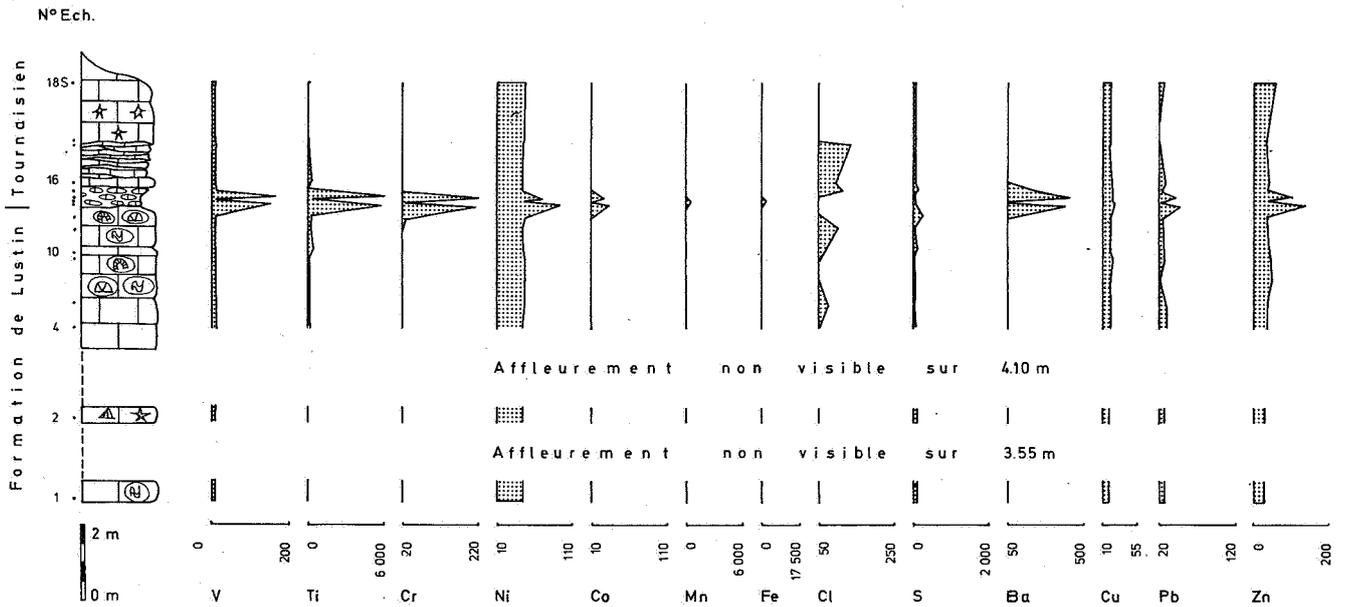
Géologie

Coupe située au bord N du synclinorium de Namur. Le Tournaisien repose en contact stratigraphique sur la formation de Lustin. Malgré l'importance de la lacune stratigraphique (tout le Famennien) aucune variation ni de direction ni de pendage n'est perceptible entre les deux séries.

Géochimie

Aucune anomalie significative. L'augmentation des teneurs en certains éléments au contact du Frasnien et du Tournaisien est due au composant argileux qui prédomine à cet endroit. Noter que les teneurs en Sr sont identiques dans les calcaires Frasnien et Tournaisien.

HORION-HOZEMONT - 133 E 716



HUCCORGNE - CARRIERE - 132 E 38 — CHEMIN DE LA FAMELETTE - 132 E 292**Localisation**

- carte topographique IGN 41/6
- Huccorgne est localisé à une dizaine de km au NW de Huy, dans la vallée de la Meuse. Les affleurements se trouvent à 100-200 m au S du viaduc de l'autoroute E41 enjambant cette vallée.

Références

Lacroix (1972); Streeel (1973); Coen-Aubert & Lacroix (1985).

Géologie

Avec celle d'Horion-Hozémont, il s'agit de la deuxième coupe située au bord N du synclinorium de Namur. La formation de Lustin et le début de la formation d'Aisemont affleurent dans une carrière (132 E 38). Après un hiatus d'observation d'environ 8 m, la coupe se poursuit le long du chemin de la Famelette (132 E 92) où s'observe la plus grande partie de la formation d'Aisemont. Par une lithologie à dominante carbonatée (calcaires en plaquettes; bancs, lentilles et nodules carbonatés interstratifiés dans des schistes), la formation d'Aisemont ne se présente pas sous son faciès traditionnel à dominante schisteuse. Le biostrôme à *Phillipsastraea* qui se situe à son sommet n'ayant pas encore été étudié sur le plan paléontologique à l'époque de la réalisation de cette étude n'a pas été formellement corrélé au deuxième biostrôme à *Phillipsastraea*. Depuis, Coen-Aubert & Lacroix (1985) ont montré que cette corrélation était permise. La formation d'Aisemont est surmontée par une série schisteuse dont seul le premier mètre peut éventuellement être attribué au Famennien, le reste étant certainement du Tournaisien (Streeel, 1973, p. 400).

Géochimie

Faibles anomalies en Zn au sommet de la formation de Lustin (382 ppm) et au sommet de la formation d'Aisemont (315 ppm). Dans le Tournaisien, fortes anomalies en Fe (100720 ppm) et S (34564 ppm) et nette augmentation des teneurs en Ni et Co correspondant à un niveau pyriteux.

PEPINSTER - 135 E 94**Localisation**

- carte topographique IGN 42/8
- route N31 Liège-Verviers. Ancienne carrière située entre les bornes K19 et K20, juste avant d'entrer dans Pepinster. Actuellement, école d'escalade.

Références

Coen-Aubert (1974 et travaux antérieurs).

Géologie

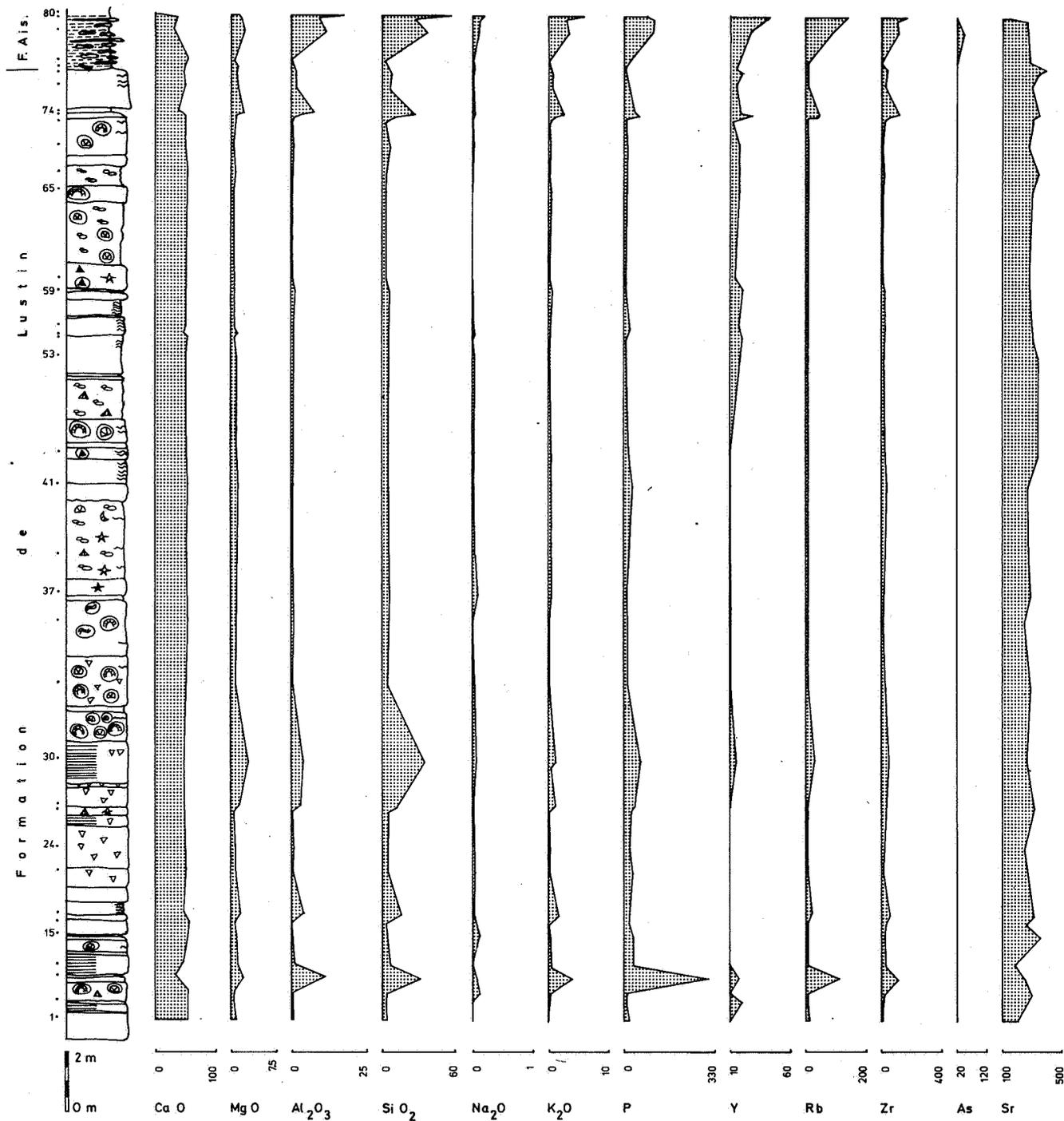
Le Frasnien affleure en série renversée (direction : N 60°E; pendage : 78°S). On y voit pratiquement toute la formation de Lustin, le premier biostrome à *Phillipsastraea* et quelques mètres des shales sus-jacents.

Géochimie

A différents niveaux de la formation de Lustin, anomalies en Zn (jusqu'à 1830 ppm), seules ou associées à des anomalies en Pb (jusqu'à 160 ppm), Ni (jusqu'à 190 ppm) et S (jusqu'à 6280 ppm). Ces anomalies correspondent souvent à des interstrates plus argileuses. Dans le premier biostrome à *Phillipsastraea* : anomalie en Zn (jusqu'à 1360 ppm). Dans la formation d'Aisemont : anomalies en P (jusqu'à 157 ppm). Aux endroits des anomalies en Pb et Zn, galène et sphalérite ont été identifiées sous le microscope.

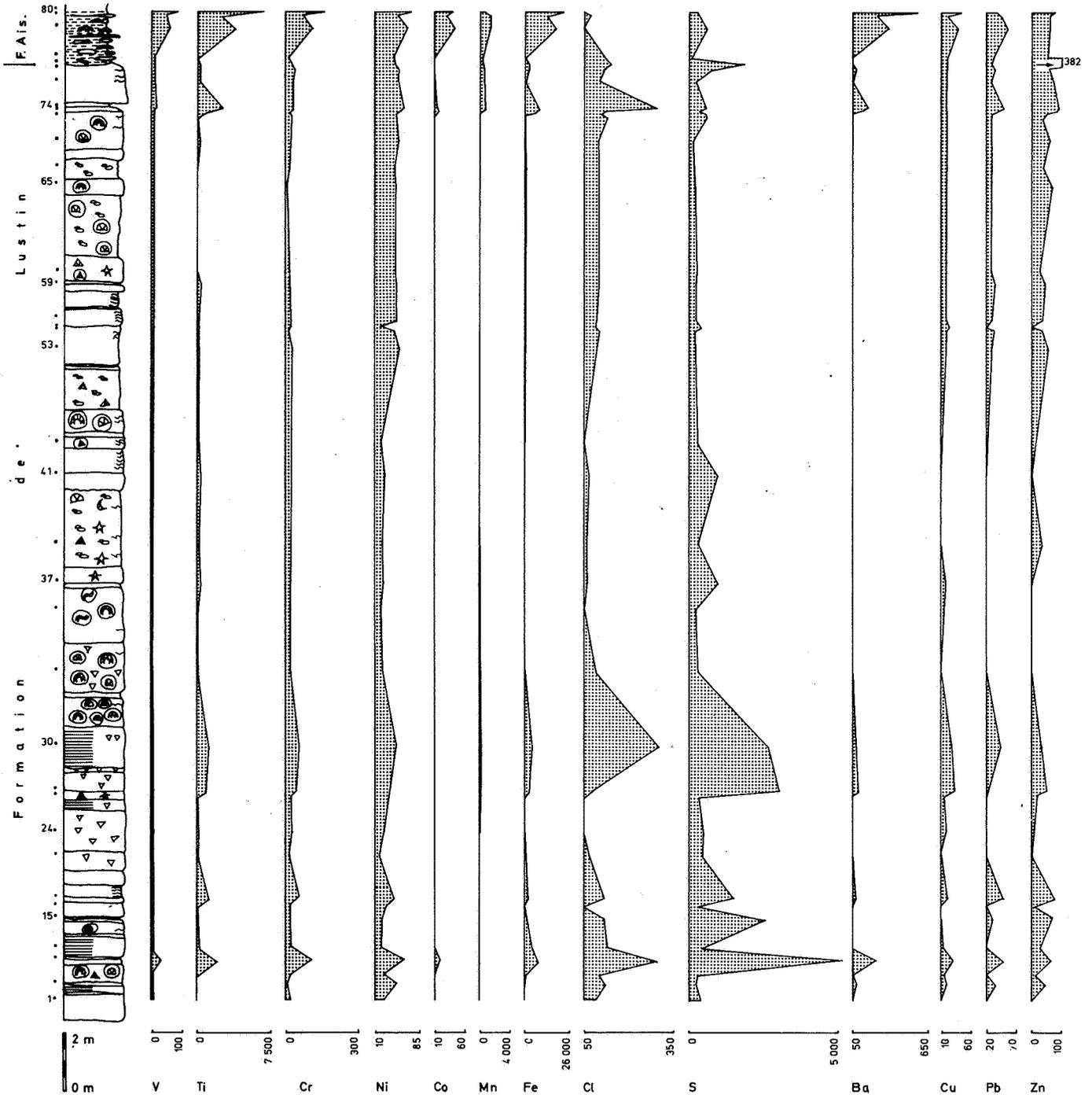
HUCCORGNE - CARRIERE - 132 E 38

N° Ech.

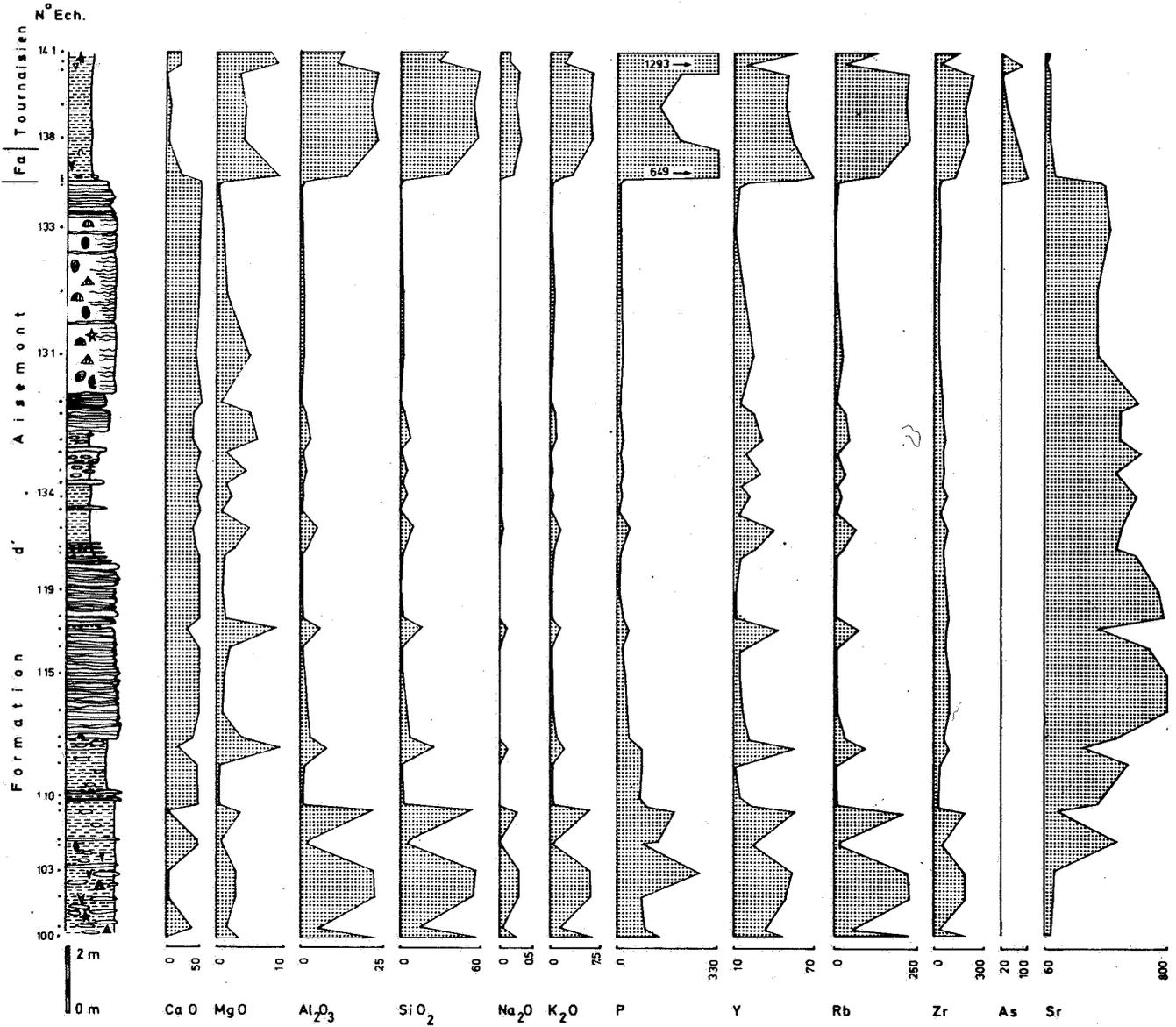


HUCCORNE - CARRIERE - 132 E 38

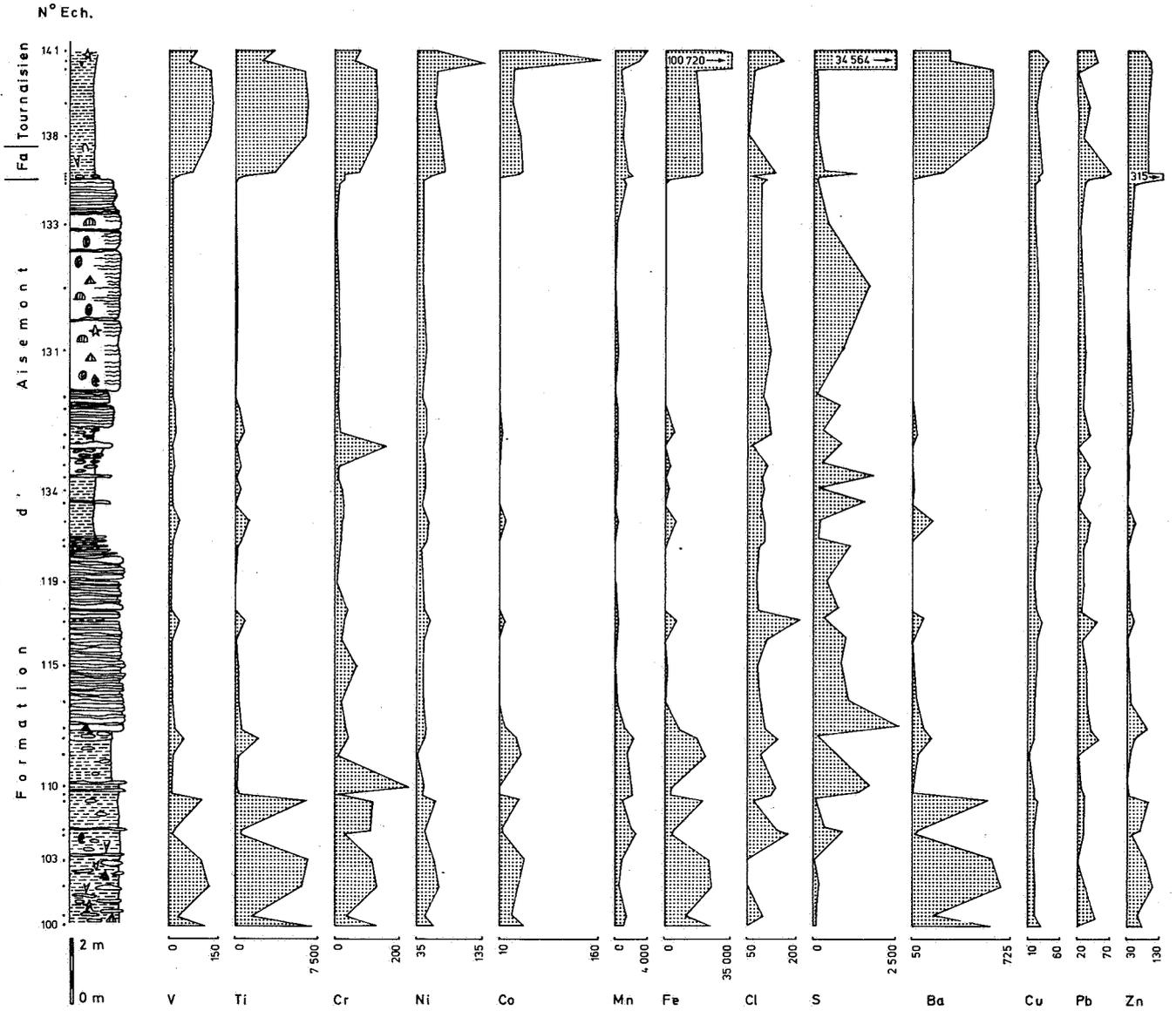
N° Ech.



HÜCCORNGNE - CHEMIN DE LA FAMELETTE - 132 E 292

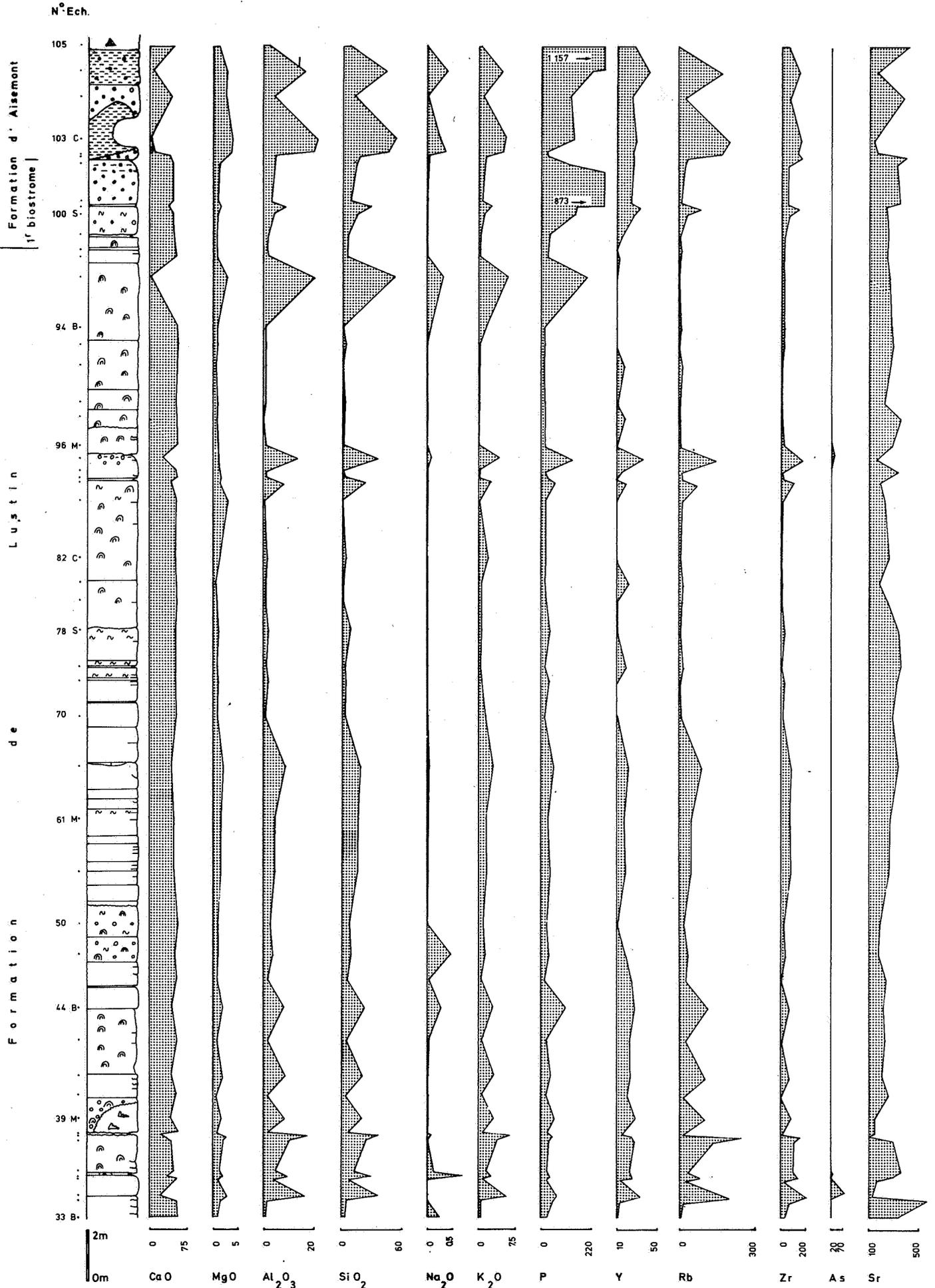


HUCCORNE - CHEMIN DE LA FAMELETTE - 132 E 292

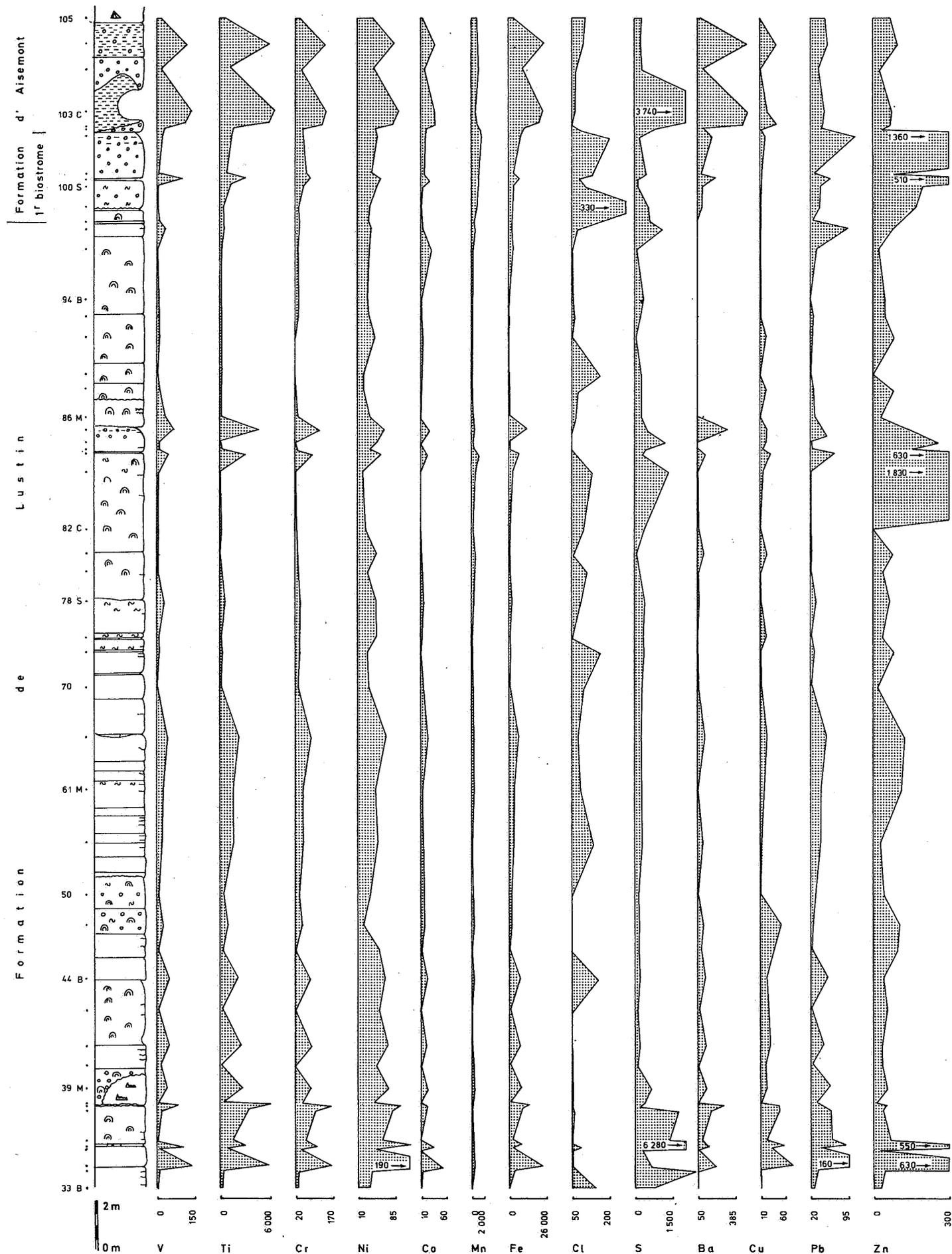


PEPINSTER - 135 E 94

I

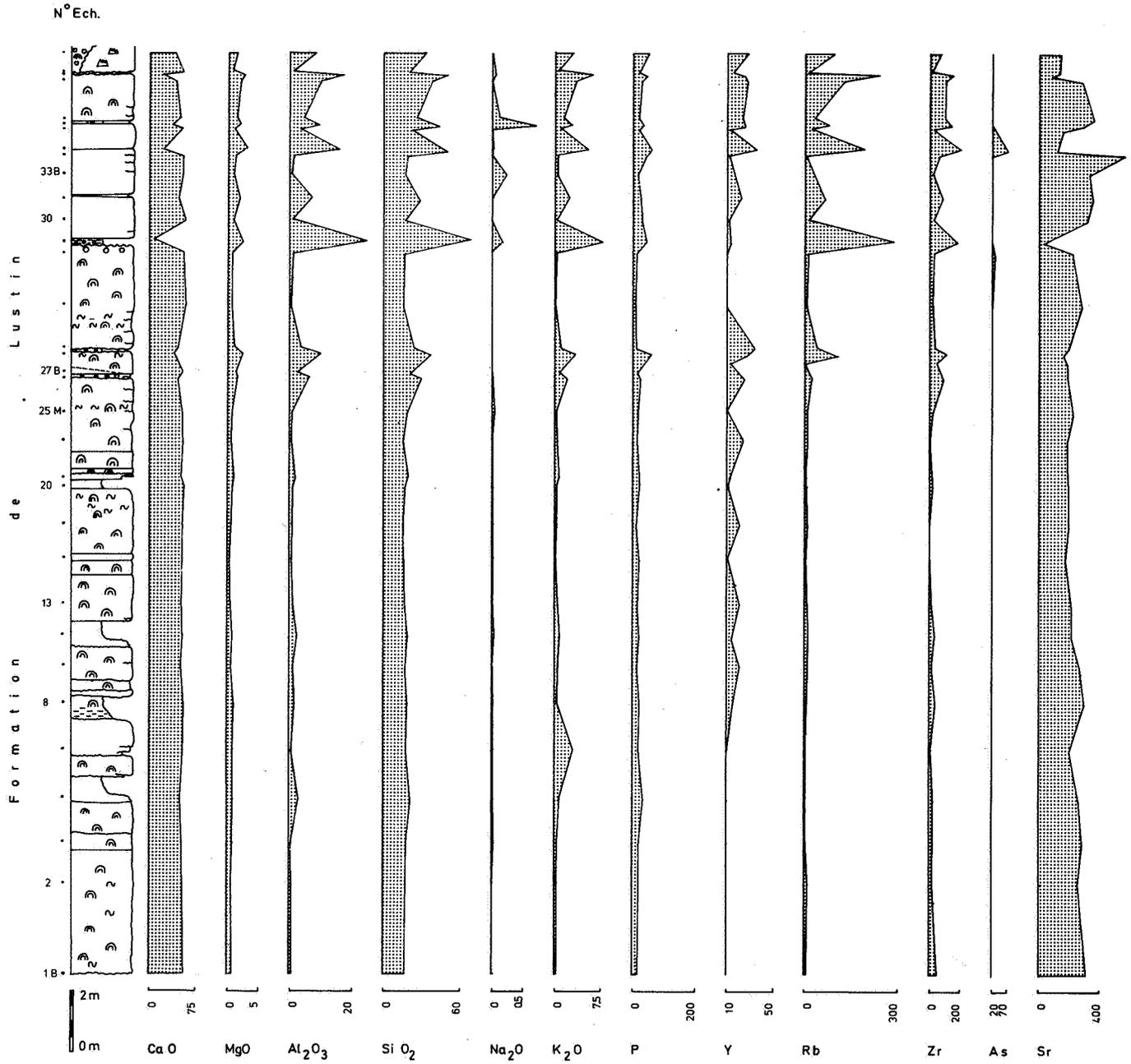


N° Ech.



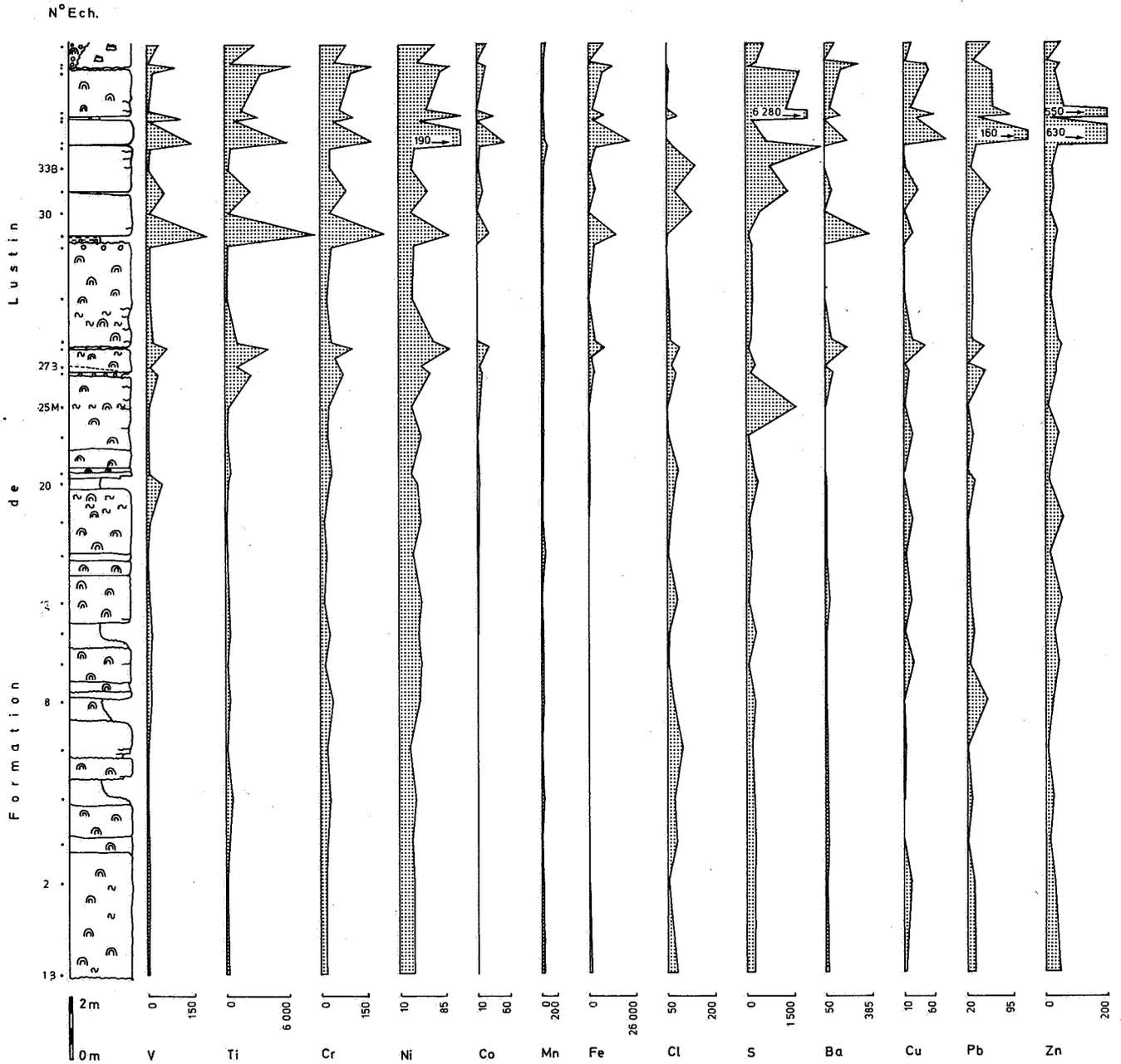
PEPINSTER - 135 E 94

II



PEPINSTER - 135 E 94

II



SOUMAGNE - SONDAGE 135 W 349

Localisation

- carte topographique IGN 42/7
- coordonnées Lambert : X = 248 472.95; Y = 144 713.24; Z = 256.58.

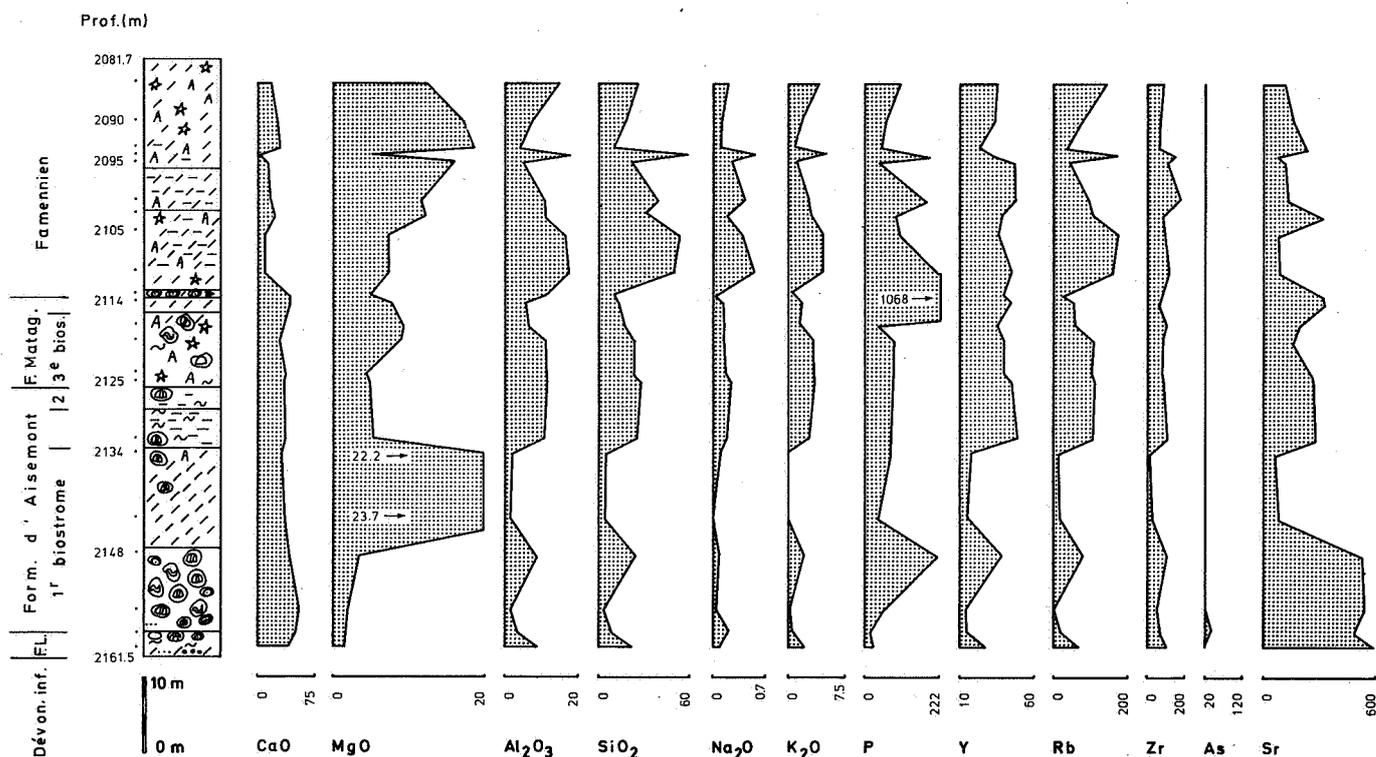
Références

Coen-Aubert (1974); Graulich (1977, 1984); Houbaille (1982).

Géologie

Sondage de 2528.28 m de profondeur. Sur le Dévonien inférieur, reposent directement, en inconformité, 3.5 m de calcaires à gravelles de quartz rapportés à la formation de Lustin. Il y a donc lacune stratigraphique des formations de Naninne, Nèvremont, Roux et Presles. Par contre, les trois biostromes à *Phillipsastraea* sont présents. La limite supérieure de la formation de Matagne varie selon Coen-Aubert (1974) et Houbaille (1982). Graulich (1984) s'est rallié à l'interprétation la plus récente. Dans le sondage de Soumagne, la limite supérieure de la formation de Matagne se situe donc à présent à la base d'un banc à encroûtements oncolithiques isolé au sein d'une série dolomitique. La rectification est importante car d'une part, l'épaisseur de la formation de Matagne est réduite des deux tiers et d'autre part, l'anhydrite qui envahit çà et là le sommet de la série de dolomies et shales dolomitiques appartient de ce fait principalement au Famennien.

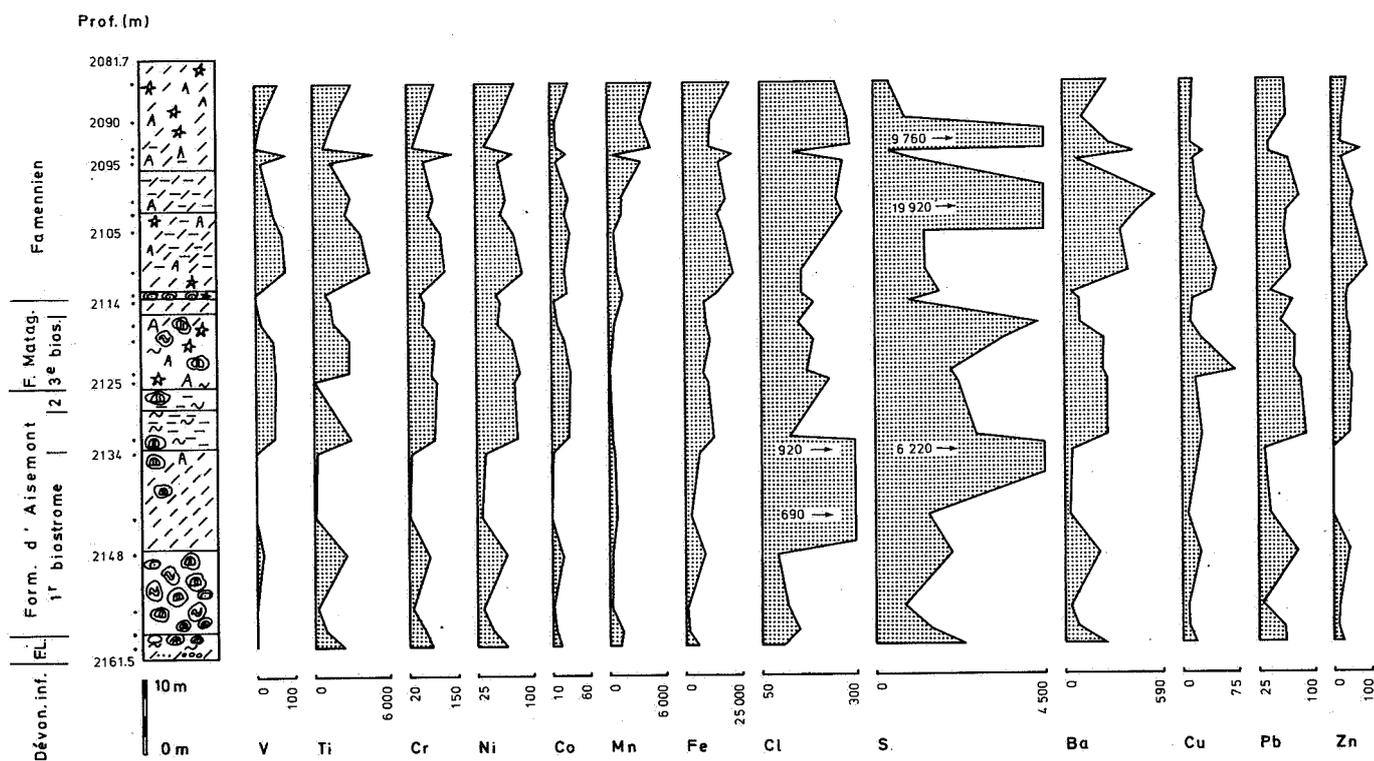
SOUMAGNE - SONDAGE 135 W 349



Géochimie

C'est très probablement à des nodules épars d'anhydrite que doivent être rapportées les très fortes anomalies en S (jusqu'à 19920 ppm) dans le Famennien. A signaler également une anomalie en S (6220 ppm) dans la dolomie «fleurie» (Graulich, 1977) coiffant le premier biostrome. Cette dolomie fleurie se signale également par une augmentation importante des teneurs en Cl (jusqu'à 920 ppm) mais par une diminution des teneurs en métaux (le Zn par exemple est situé sous la limite de détection). La forte anomalie en P (1068 ppm) correspondant au banc à encroûtements oncolithiques est également présente au même niveau stratigraphique dans le sondage de Bolland. Néanmoins, à Soumagne, elle n'est pas comme à Bolland accompagnée d'une anomalie en Fe.

SOUMAGNE - SONDAGE 135 W 349



MEMBACH - SONDAGES 136 W 1613, 1616 et 1617**Localisation**

- carte topographique IGN 43/5
- route N 31 Verviers-Eupen, entre les bornes K4 et K5, au lieu-dit «Perkiets». Forages inclinés effectués par l'Union Minière sur le plateau adjacent au flanc N de la vallée de la Vesdre. Site de l'ancienne mine Pb-Zn de Membach.

Référence

Coen-Aubert (1974).

Géologie

Dans cette région, les petits affleurements sont nombreux, mais discontinus et jamais de grande étendue, d'où l'intérêt de ces trois sondages. Ces couches, de direction NE et de pendage N modéré, sont décalées par de nombreuses failles transversales N-NW.

Géochimie

Parmi les trois sondages, seul le 136 W 1613 a été échantillonné de façon systématique. Dans le sondage 136 W 1616, quelques échantillons ont été prélevés au sommet de la formation de Nèvremont non recoupée dans le sondage 136 W 1613. Quelques échantillons complémentaires ont aussi été prélevés dans la formation de Lustin du sondage 136 W 1617. La base de la formation du Roux, de nature dolomitique, se caractérise par des fonds géochimiques élevés en Zn et même quelques petites anomalies (jusqu'à 440 ppm). Une passée calcaire préservée au sein de cette zone dolomitique présente également une petite anomalie en Pb (110 ppm). Enfin, le caractère singulier de la formation de Presles se dégage nettement, notamment par des teneurs élevées en P et S.

TILFF - 134 E 160**Localisation**

- carte topographique IGN 42/6
- route N33 Liège-Esneux, à proximité de la borne K9. Grotte Sainte-Anne. Ecole d'escalade.

Références

Coen-Aubert (1974) qui mentionne des travaux plus anciens de Fourmarier et de Gosselet.

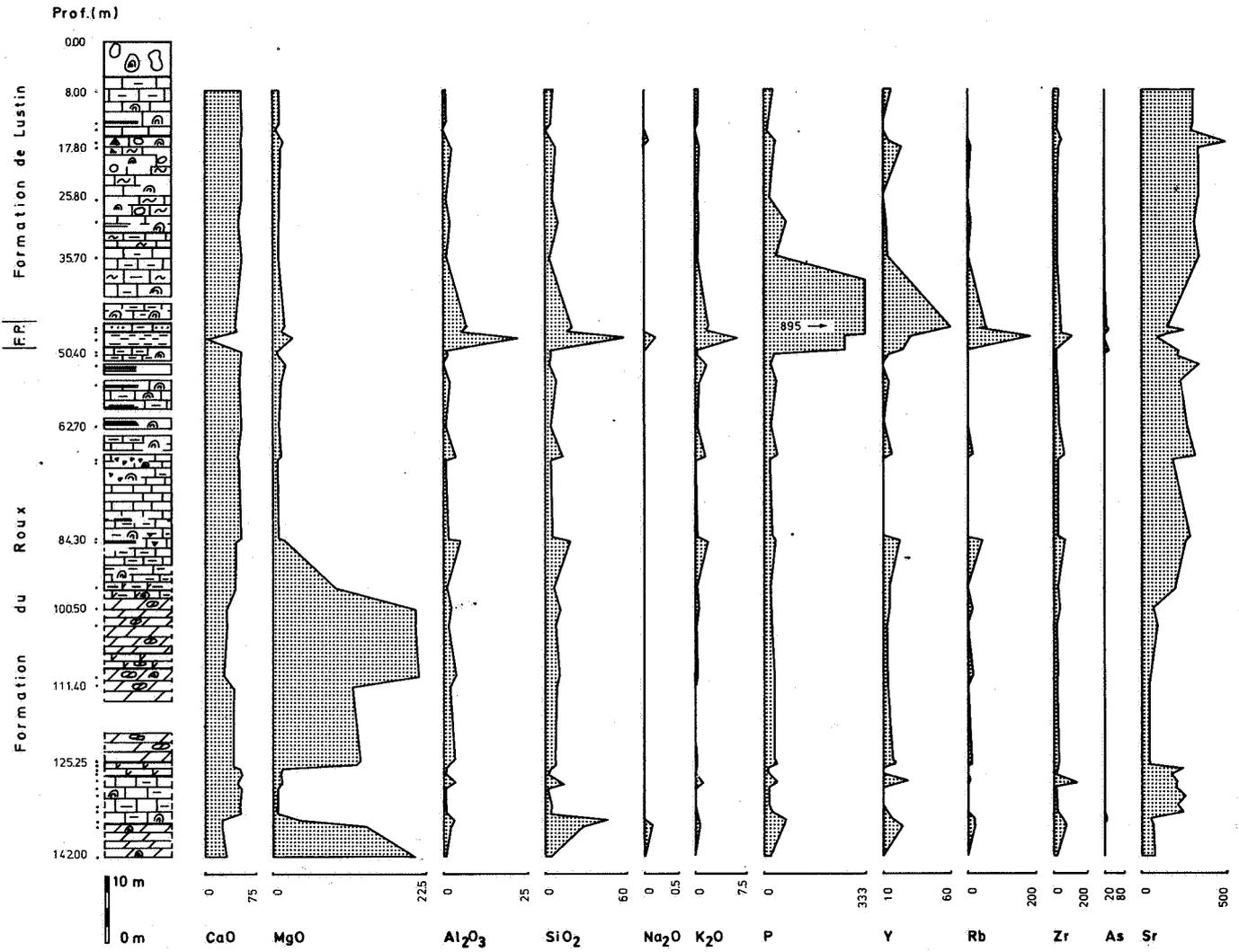
Géologie

A l'extrémité méridionale de la coupe, la formation de Naninne pro parte, la formation de Nèvremont et la formation du Roux pro parte sont exposées le long de la route N33 et dans une petite carrière désaffectée. Ces couches subverticales buttent par faille contre les calcaires de la formation de Lustin qui occupent toute la partie septentrionale de la coupe. Ceux-ci sont affectés par deux beaux plis redressés, la grotte Sainte-Anne étant située dans la partie axiale du pli synclinal.

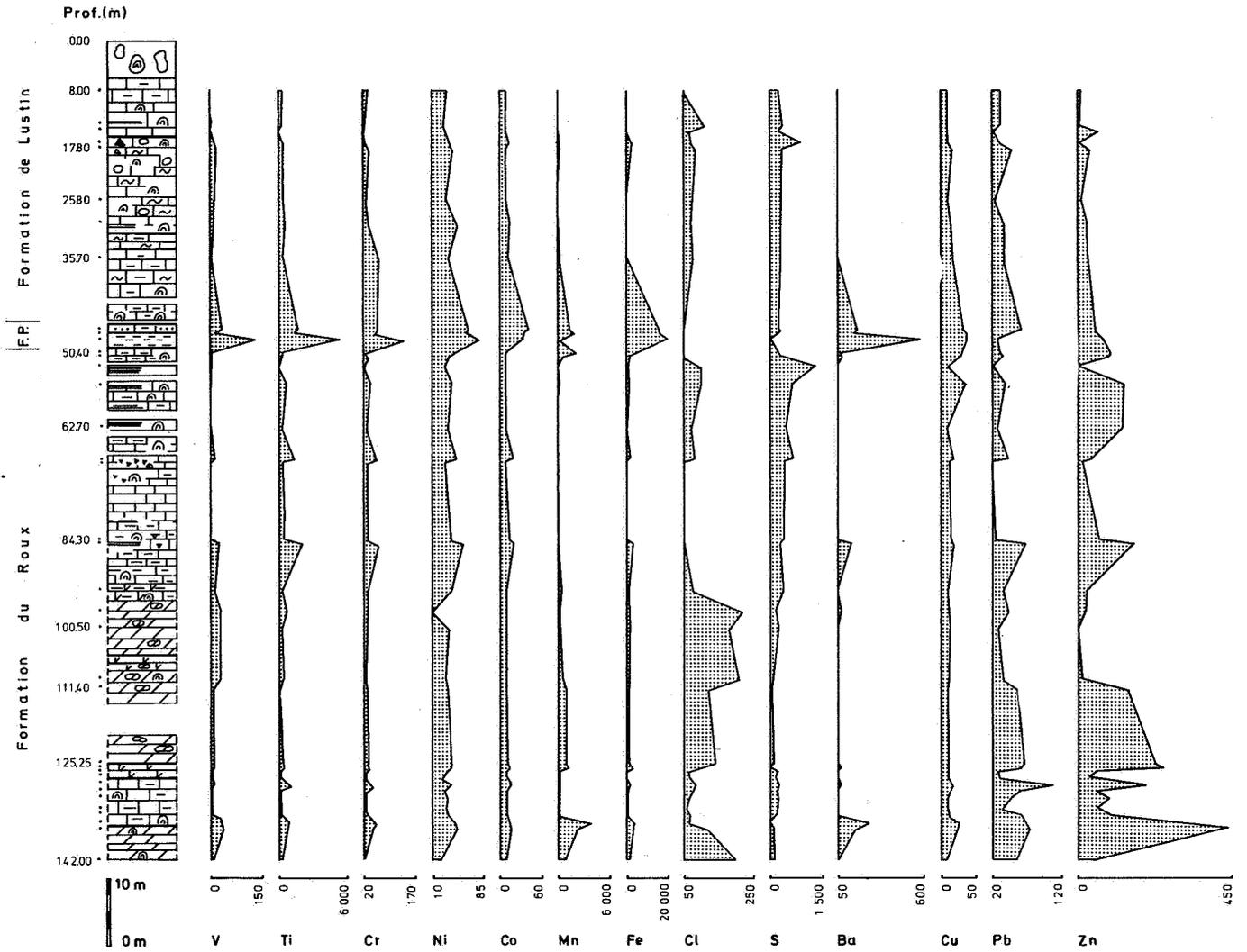
Géochimie

Pour des raisons de commodité, la coupe a été échantillonnée en trois tronçons : le premier concerne l'ancienne carrière (formations de Naninne, de Nèvremont et du Roux); le deuxième est situé au flanc S du célèbre anticlinal de Tilff (formation de Presles, base et milieu de la formation de Lustin); le troisième est localisé au flanc N de cet anticlinal, derrière la Chapelle Sainte-Anne (sommet de la formation de Lustin). Dans la formation de Naninne : faible anomalie en Pb (180 ppm). Dans la formation de Nèvremont : anomalies en Co (100 ppm), Cu (95 ppm), Ni (190 ppm), Pb (jusqu'à 1139 ppm), Zn (jusqu'à 710 ppm) et S (jusqu'à 14780 ppm). En outre, dans la partie supérieure de cette formation, fond géochimique élevé en Cl pour une dolomitisation qui reste à un niveau relativement faible. Dans la formation du Roux : faibles anomalies en Zn (jusqu'à 399 ppm) et S (jusqu'à 6326 ppm). A la base de la formation de Lustin : anomalies en Zn (709 ppm), S (1400 ppm) et Ba (740 ppm). Au milieu de cette formation : faible anomalie en Pb (120 ppm) dans une interstrate plus argileuse.

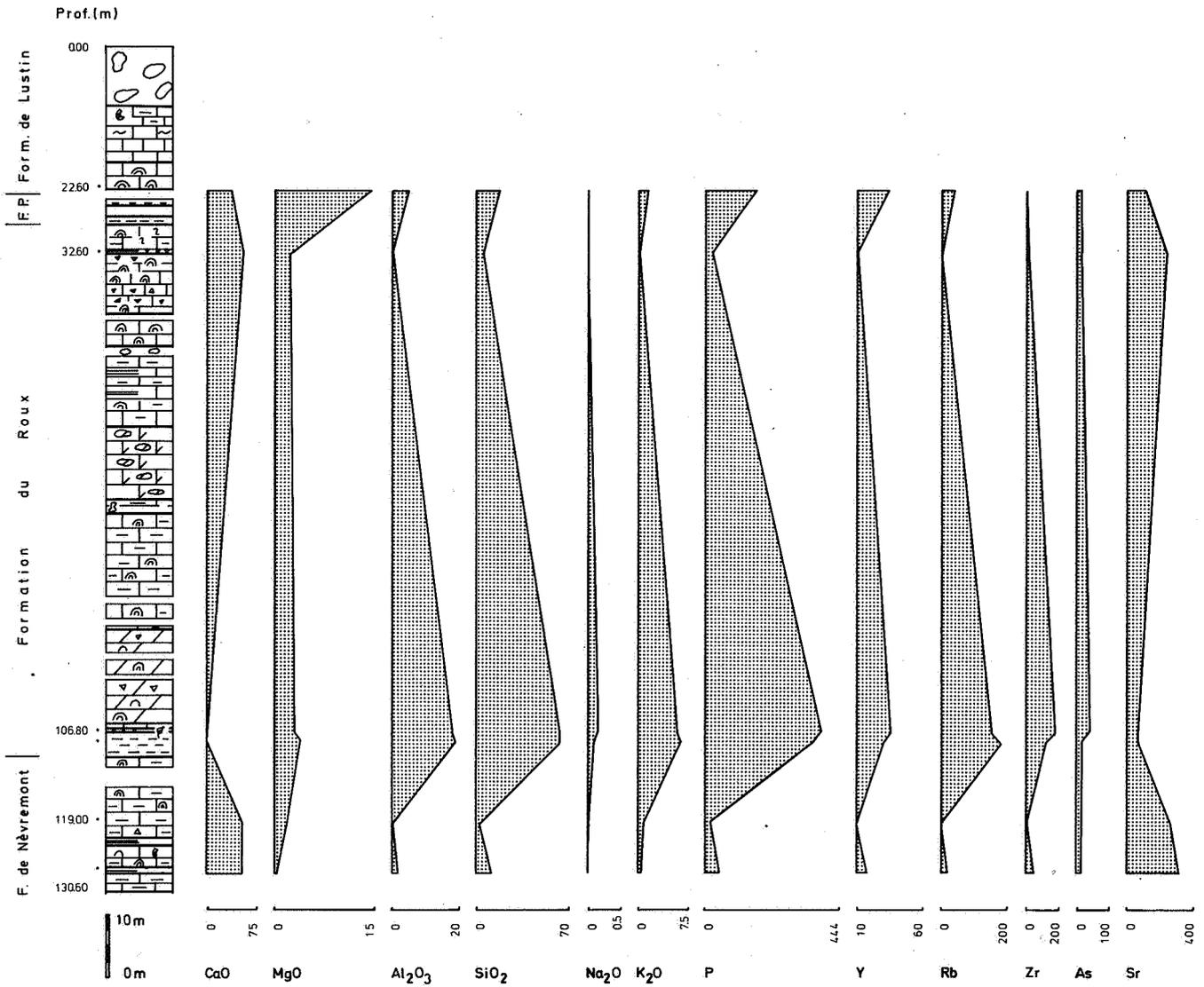
MEMBACH - SONDAGE 136 W 1613



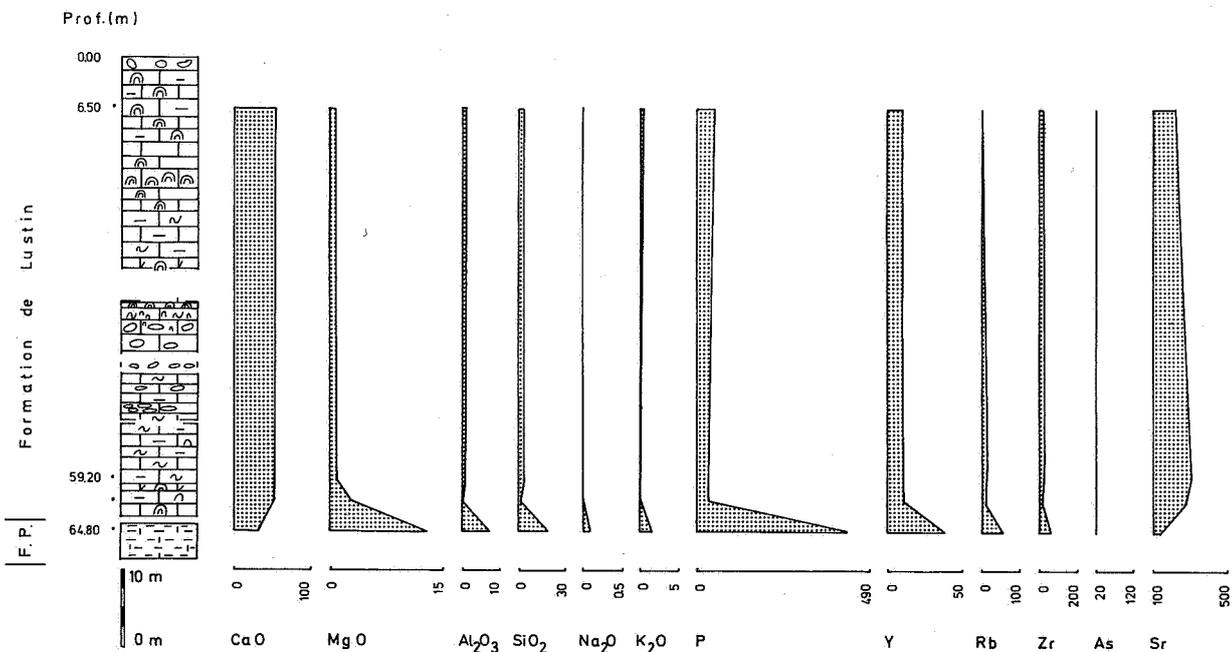
MEMBACH - SONDAGE 136 W1613



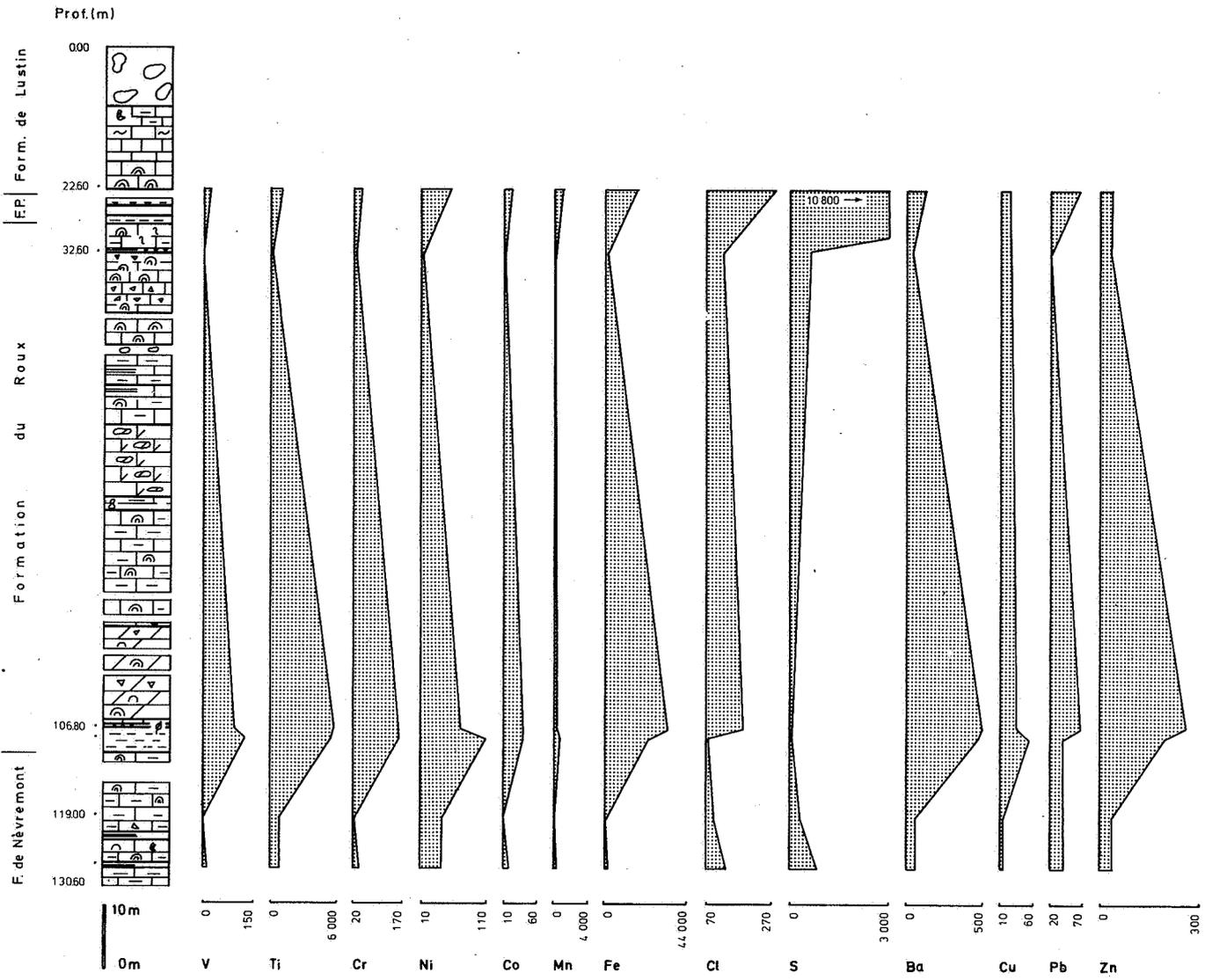
MEMBACH - SONDAGE 136 W 1616



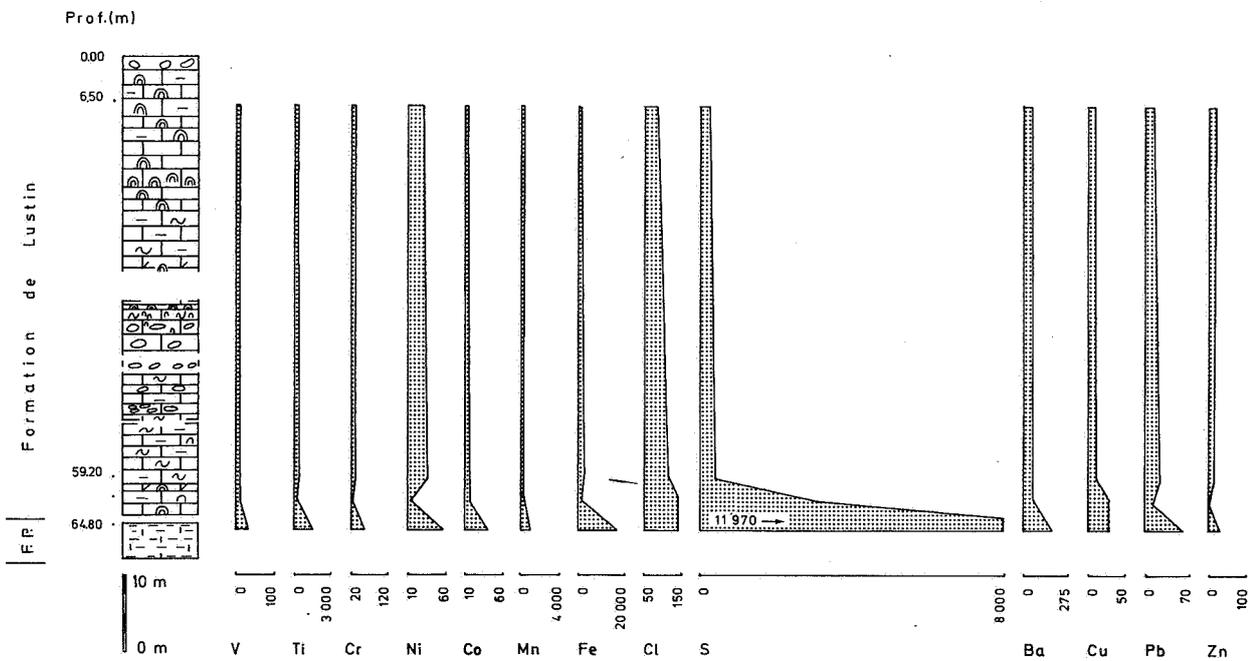
MEMBACH - SONDAGE 136 W 1617



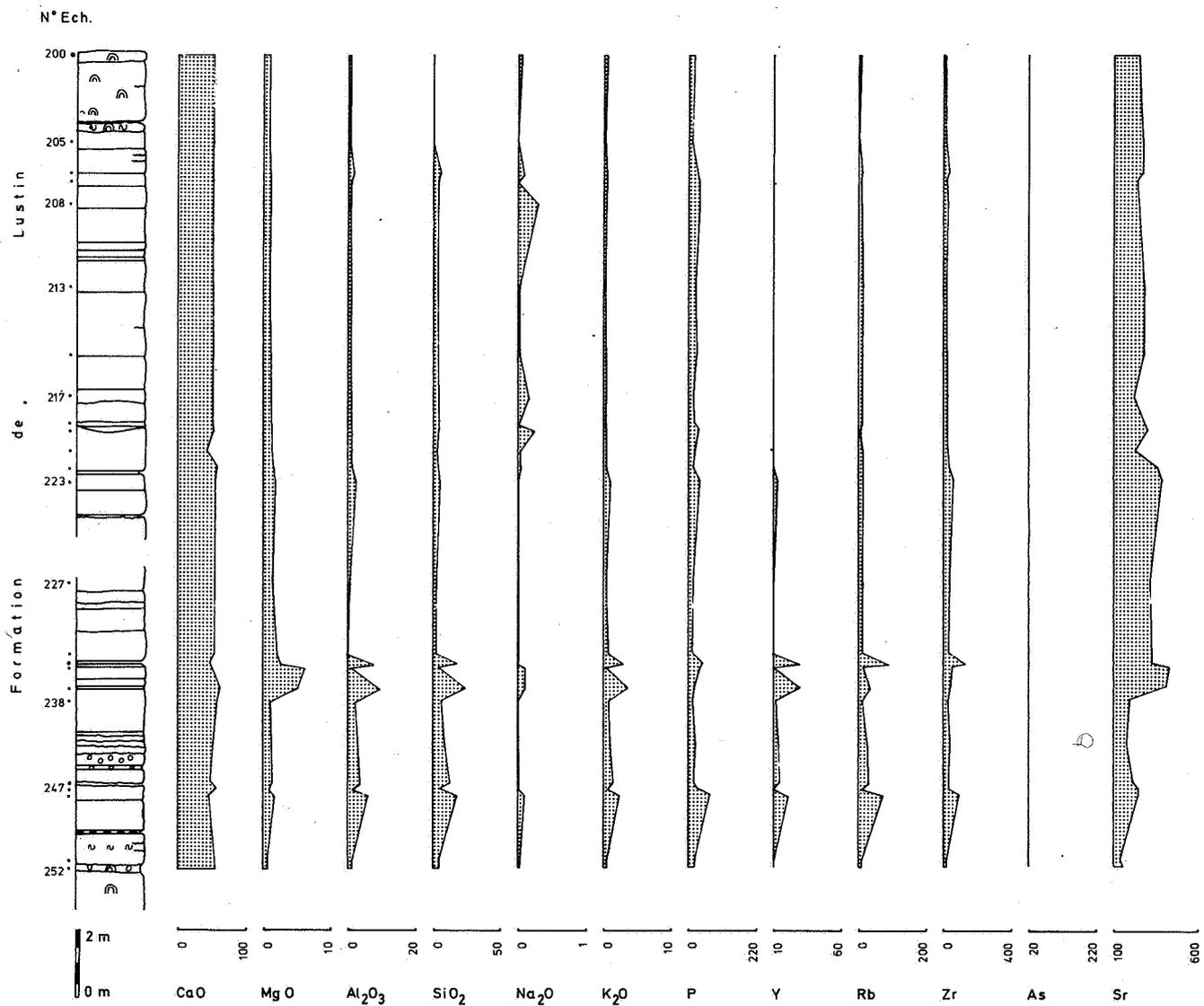
MEMBACH - SONDAGE 136 W 1616



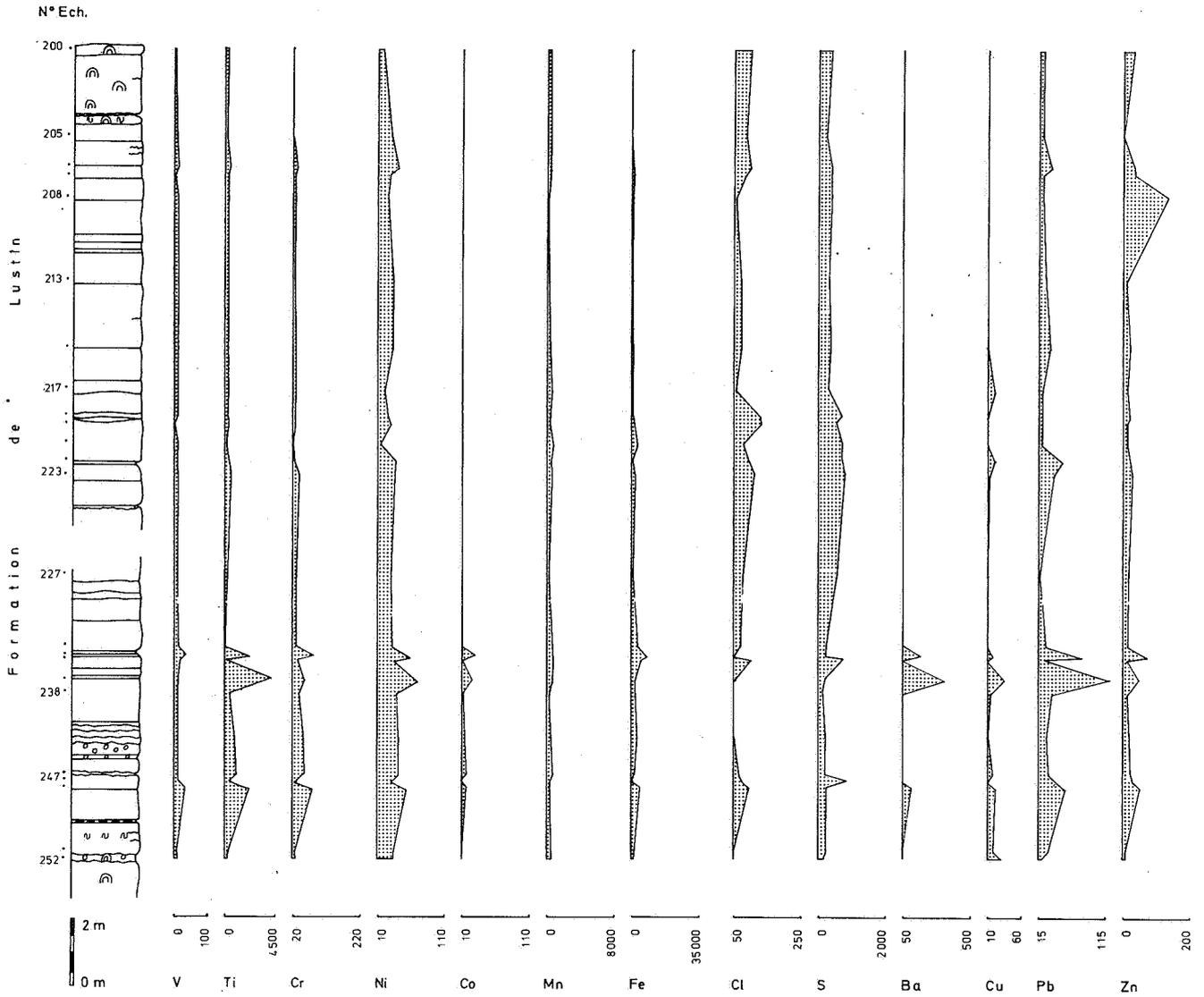
MEMBACH - SONDAGE 136 W 1617



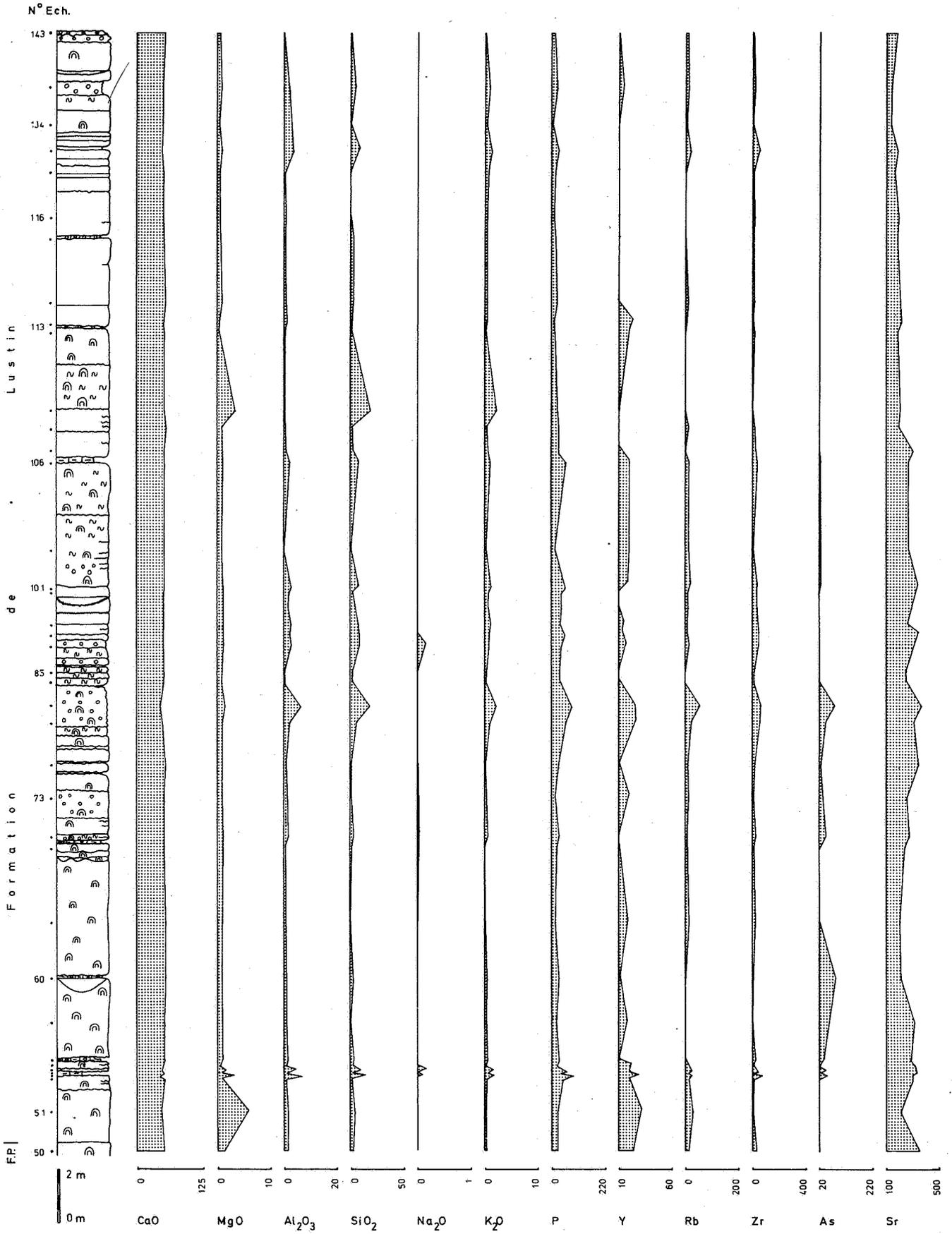
TILFF - CHAPELLE - 134 E 160



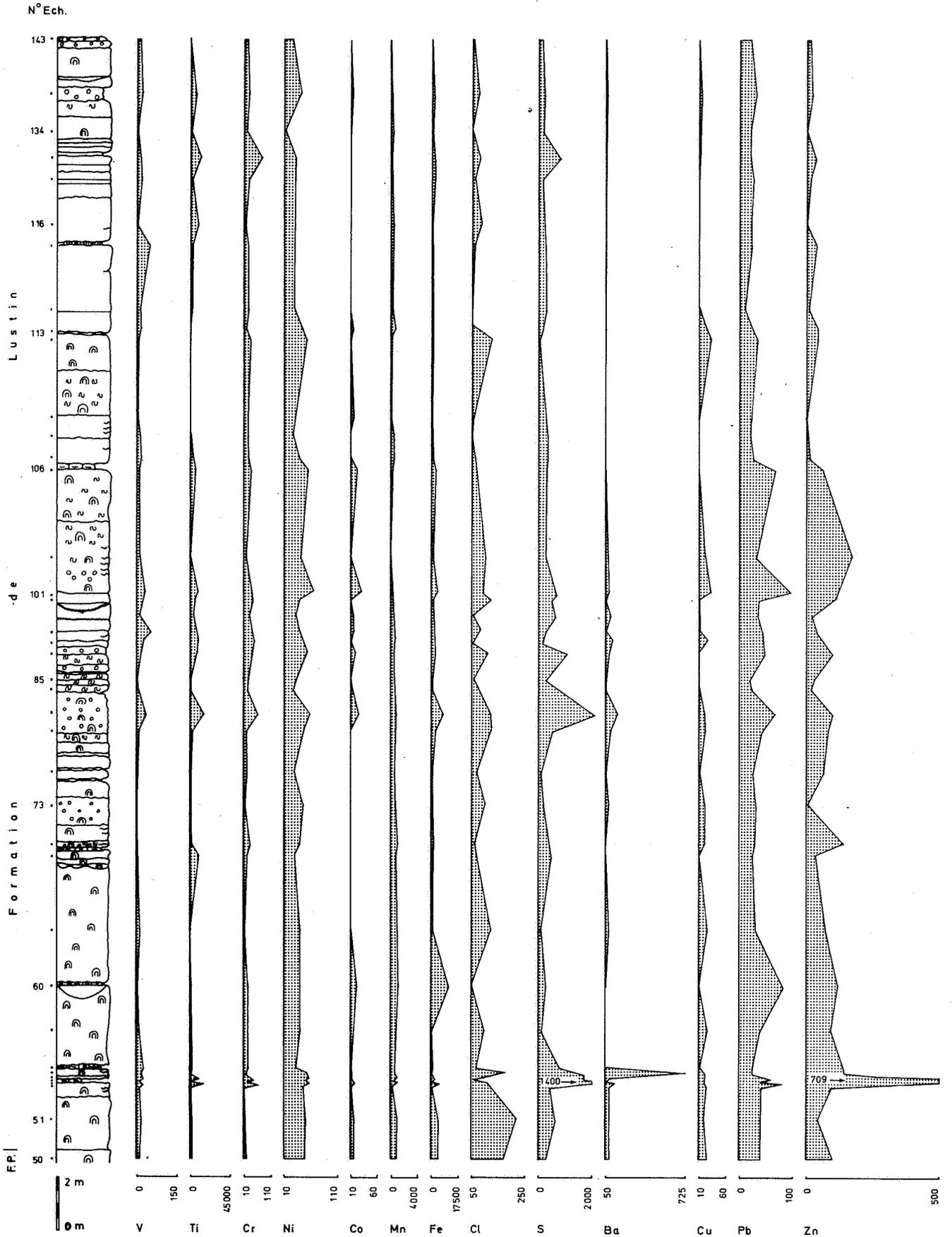
TILFF - CHAPELLE - 134 E 160



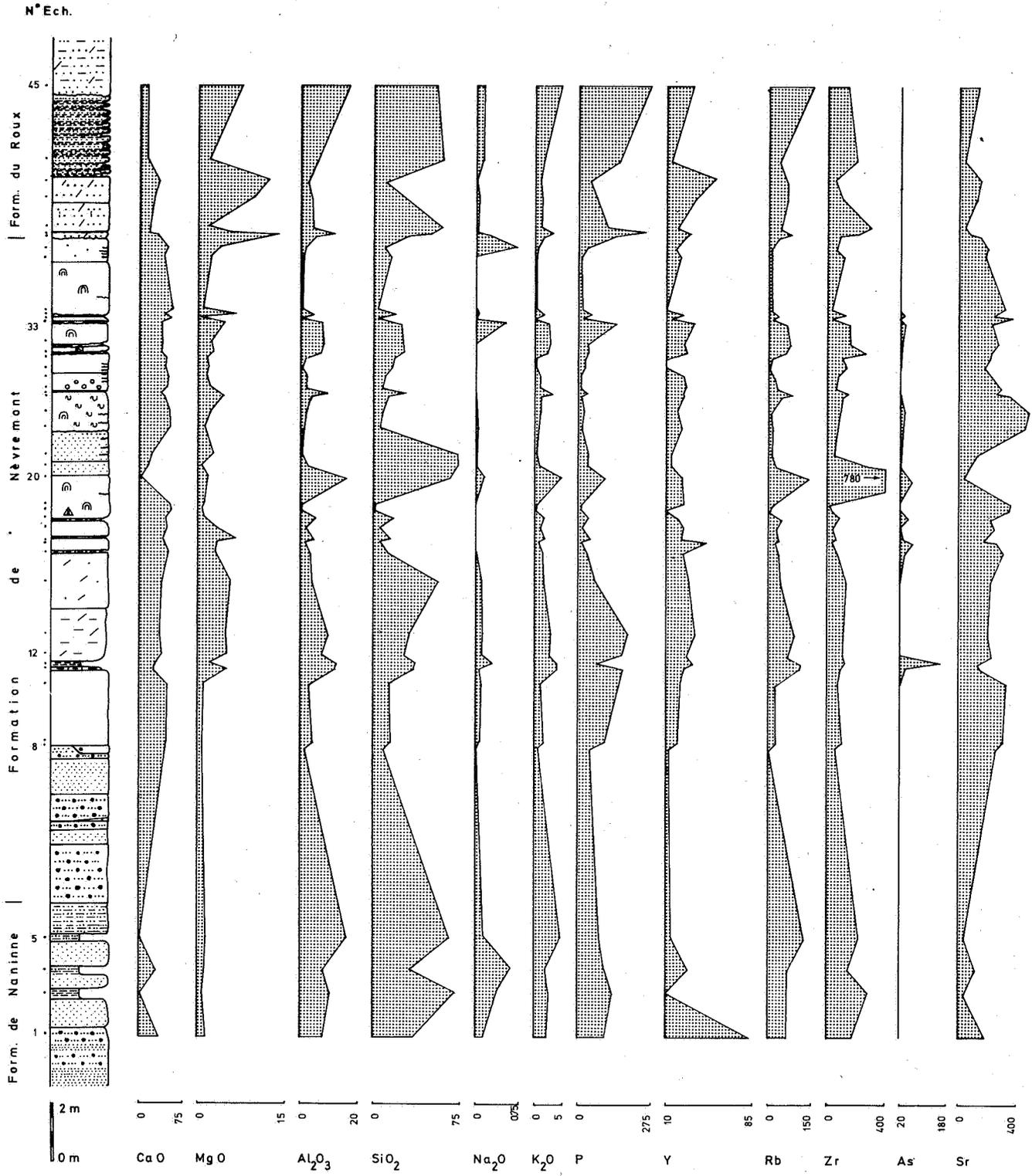
TILFF - GROTTÉ - 134 E 160



TILFF - GROTTÉ - 134 E 160

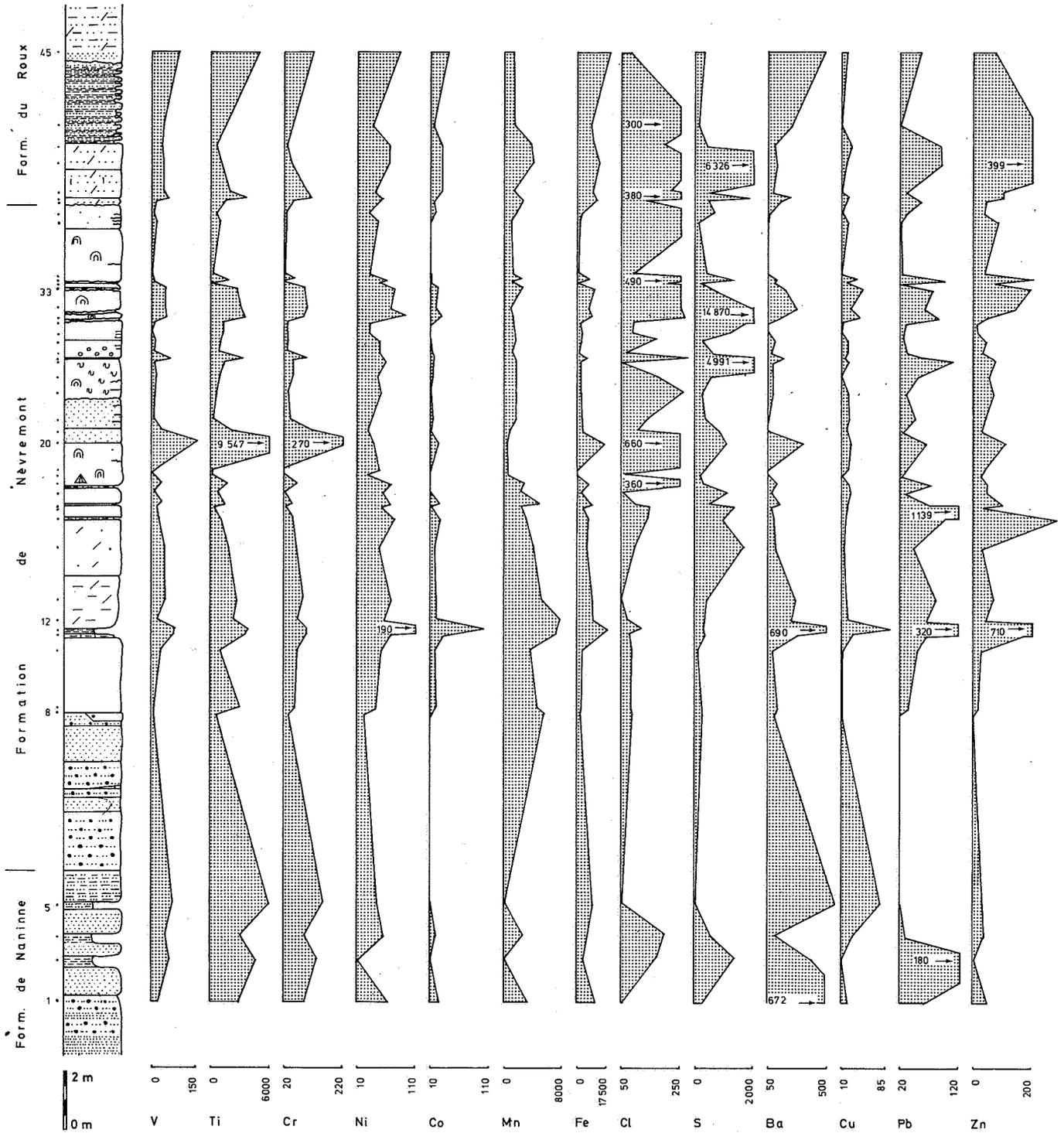


TILFF - CARRIERE - 134 E 160



TILFF - CARRIERE - 134 E 160

N° Ech.



G.2.- PARAMETRES DE DISTRIBUTION ET MATRICES DE COEFFICIENTS DE CORRELATION

Les paramètres de distribution et les matrices de coefficients de corrélation ont été calculés à l'aide de l'ordinateur du Centre de Traitement de l'Information (C.T.I.) du Ministère des Affaires Economiques de Belgique.

Pour le calcul des moyennes :

- d'une part, les données situées sous la limite de détection ont été affichées à la moitié de la limite de détection;
- d'autre part, les échantillons anomaux ont été écartés. Les seuils de coupure (t) ont été calculés à partir de la formule suivante : $t = \text{antilog}(\mu_n + 2\sigma_n)$
- avec μ_n = moyenne arithmétique des logarithmes des valeurs
 σ_n = écart type des logarithmes.

Tableau 12.- Seuils de coupure en Zn, Pb, Cu, Ba pour chaque population sélectionnée.

	Nèvremont + Roux	Presles	Lustin	Aisemont + Matagne	de Nèvremont à Matagne
grès	Zn = 90 Pb = 120 Cu = 280 Ba = 1120	Zn = 90 Pb = 120 Cu = 280 Ba = 1120	Zn = 90 Pb = 120 Cu = 280 Ba = 1120	Zn = 90 Pb = 120 Cu = 280 Ba = 1120	Zn = 90 Pb = 120 Cu = 280 Ba = 1120
shales	Zn = 130 Pb = 90 Cu = 100 Ba = 760	Zn = 130 Pb = 90 Cu = 100 Ba = 760	Zn = 170 Pb = 50 Cu = 100 Ba = 680	Zn = 170 Pb = 50 Cu = 100 Ba = 680	Zn = 170 Pb = 90 Cu = 100 Ba = 760
calcaires impurs	Zn = 170 Pb = 90 Cu = 60 Ba = 540	Zn = 170 Pb = 90 Cu = 60 Ba = 540	Zn = 150 Pb = 85 Cu = 45 Ba = 520	Zn = 140 Pb = 85 Cu = 65 Ba = 480	Zn = 160 Pb = 80 Cu = 80 Ba = 720
calcaires purs	Zn = 180 Pb = 80 Cu = 40 Ba = 170	Zn = 185 Pb = 80 Cu = 85 Ba = 240	Zn = 210 Pb = 70 Cu = 45 Ba = 140	Zn = 190 Pb = 90 Cu = 60 Ba = 460	Zn = 210 Pb = 90 Cu = 85 Ba = 460
dolomies	Zn = 80 Pb = 85 Cu = 40 Ba = 100	Zn = 85 Pb = 95 Cu = 60 Ba = 250	Zn = 140 Pb = 80 Cu = 65 Ba = 230	Zn = 140 Pb = 80 Cu = 65 Ba = 230	Zn = 140 Pb = 115 Cu = 60 Ba = 260

Les seuils de coupure choisis pour chaque population sélectionnée sont signalés au tableau 12. Les valeurs maximales renseignées pour Ba, Cu, Pb et Zn sont bien évidemment celles de la population sélectionnée avant d'avoir écarté les échantillons anomaux. Les valeurs sont indiquées en % pour CaO, MgO, Al₂O₃, SiO₂, Na₂O et K₂O et en ppm pour les autres éléments. En ce qui concerne ces derniers, il est clair que les chiffres décimaux n'ont pas de signification analytique.

Les paramètres de distribution et les matrices de coefficients de corrélation ont été calculés pour un grand nombre de populations différentes, en combinant les critères de sélection par composition, par formation et par localité. Pour une raison de place disponible, je ne présente les résultats que pour quelques sélections lithologiques correspondant à l'ensemble des localités et à toutes les formations de Nèvreumont à Matagne.

Grès. Formations de Nèvrement à Matagne.

CA	MG	AL	SI	NA	K	P	Y	RB	ZR	AS	SR	V	TI	CR	NI	CO	MN	FE	CL	S	BA	CU	PB	
0.92	0.38	-0.69	0.71	0.84	-0.97	0.99	-0.88	0.87	0.84	-0.79	0.84	0.80	0.45	0.52	0.26	0.68	0.72	0.82	0.83	0.65	0.74	0.66	0.65	0.83
0.37	0.72	0.45	-0.48	0.45	0.52	0.26	0.68	0.72	0.82	0.74	0.63	0.72	0.82	0.74	0.66	0.54	0.62	0.74	0.66	0.65	0.74	0.66	0.65	0.83
0.20	-0.08	0.45	-0.48	0.45	0.52	0.26	0.68	0.72	0.82	0.74	0.63	0.72	0.82	0.74	0.66	0.54	0.62	0.74	0.66	0.65	0.74	0.66	0.65	0.83
0.26	0.21	0.95	-0.81	0.78	0.97	0.68	0.68	0.72	0.82	0.74	0.63	0.72	0.82	0.74	0.66	0.54	0.62	0.74	0.66	0.65	0.74	0.66	0.65	0.83
0.24	0.05	0.76	-0.50	0.48	0.74	0.63	0.72	0.82	0.83	0.62	0.74	0.66	0.65	0.83	0.65	0.74	0.66	0.65	0.83	0.65	0.74	0.66	0.65	0.83
0.45	0.31	0.65	-0.54	0.54	0.62	0.74	0.66	0.65	0.83	0.62	0.74	0.66	0.65	0.83	0.65	0.74	0.66	0.65	0.83	0.65	0.74	0.66	0.65	0.83
0.43	0.43	0.47	-0.70	0.79	0.55	0.50	0.49	0.52	0.18	0.32	0.56	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
-0.31	-0.44	0.58	-0.21	0.17	0.58	0.23	0.68	0.73	0.83	0.56	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
-0.24	-0.35	0.46	-0.03	0.00	0.40	0.31	0.47	0.52	0.81	0.70	-0.19	0.87	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
0.53	0.23	0.24	-0.21	0.25	0.22	0.47	0.53	0.28	0.68	0.69	0.09	0.29	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
0.35	0.47	0.59	-0.54	0.43	0.53	0.59	0.11	0.44	0.39	0.62	0.02	0.21	0.40	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
0.32	0.06	0.20	-0.13	0.25	0.20	0.41	0.57	0.28	0.61	0.61	0.32	0.34	0.41	0.89	-0.21	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.95	0.91	0.30	-0.61	0.66	0.29	0.69	0.14	0.16	0.14	0.46	0.52	-0.39	-0.26	0.51	0.31	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
-0.08	-0.24	0.28	-0.21	0.32	0.35	0.22	0.75	0.47	0.49	0.51	0.65	0.56	0.42	0.37	-0.17	0.68	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
-0.04	-0.23	-0.23	0.34	-0.33	-0.25	-0.25	-0.12	-0.19	0.08	-0.33	-0.47	0.01	-0.05	0.35	-0.59	0.26	-0.18	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26
0.86	0.66	-0.22	-0.62	0.63	0.28	0.41	0.50	0.26	0.20	0.37	0.61	-0.21	-0.31	0.54	0.04	0.45	0.82	0.23	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
0.03	-0.07	0.64	-0.50	0.59	0.69	0.49	0.75	0.78	0.67	0.59	0.71	0.69	0.49	0.33	0.03	0.59	0.09	0.91	-0.25	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
0.76	0.77	0.05	-0.56	0.54	0.10	0.23	0.02	-0.01	-0.31	-0.05	0.53	-0.62	-0.72	-0.04	0.14	-0.15	0.73	-0.19	-0.27	0.78	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16
0.53	0.39	-0.30	-0.17	0.18	-0.24	-0.03	0.29	-0.24	-0.25	0.16	0.45	-0.47	-0.43	0.22	-0.02	0.22	0.61	0.22	-0.35	0.74	-0.03	0.71	0.71	0.71
0.66	0.72	-0.09	-0.27	0.35	-0.09	0.38	-0.10	-0.22	-0.27	0.23	0.48	-0.63	-0.42	0.20	0.19	0.21	0.84	0.06	-0.46	0.58	-0.06	0.68	0.76	0.76

SEUIL DE SIGNIFICATION A 97.5 % : 0.63
 SEUIL DE SIGNIFICATION A 99.0 % : 0.69
 NOMBRE D'INDIVIDUS : 7

Grès (n=7) Formations de Nèvremont à Matagne.

ELEMENT	MOYENNE ARITHM.	ECART -TYPE	COEFF. VARIATION	MOYENNE GEOM.	DEVIATION GEOM.	VALEUR MINI	VALEUR MAXI
CAO	2.64	3.22	122.03	0.91	0.76	0.10	7.50
MGO	1.84	1.39	75.35	1.41	0.35	0.53	4.30
AL2O3	6.55	2.94	44.97	5.87	0.24	2.10	10.82
SI02	83.37	7.93	9.51	83.06	0.04	76.10	99.10
HA2O	0.34	0.30	89.58	0.15	0.79	0.00	0.77
K2O	1.87	1.13	60.37	1.47	0.39	0.24	3.72
P	199.50	158.33	79.36	136.50	0.44	38.40	409.34
Y	16.71	10.80	64.60	13.95	0.29	5.00	35.00
RB	54.00	29.86	55.30	41.01	0.44	5.00	91.00
ZR	269.86	153.12	56.74	230.23	0.28	93.00	524.00
AS	20.43	12.61	61.72	17.58	0.25	10.00	45.00
SR	40.29	13.95	34.62	38.05	0.16	22.00	57.00
V	50.57	15.98	31.59	47.90	0.16	26.00	66.00
TI	2290.86	1338.85	58.44	1662.13	0.47	173.85	3805.03
CR	127.43	62.05	48.69	115.52	0.21	63.00	235.00
NI	32.29	9.03	27.97	31.30	0.11	22.00	49.00
CO	30.14	27.97	92.80	20.73	0.41	5.00	80.00
MN	475.76	446.11	93.77	292.26	0.51	38.73	1161.75
FE	14260.73	15234.04	106.83	10352.37	0.34	4895.80	47908.90
CL	93.57	86.22	92.15	69.14	0.36	25.00	279.00
S	240.00	282.95	117.89	108.90	0.64	25.00	760.00
BA	253.87	199.19	78.46	195.45	0.35	53.74	635.95
CU	8.29	6.45	77.82	6.92	0.26	5.00	294.00
PB	26.86	18.44	68.67	21.33	0.33	10.00	3800.00
ZN	48.29	15.51	32.12	45.90	0.16	24.00	190.00

Shales. Formations de Nèvrement à Matagne.

	CA	MG	AL	SI	NA	K	P	Y	RB	ZR	AS	SR	V	TI	CR	NI	CO	MN	FE	CL	S	BA	CU	PB	ZN
MG	0.07																								
AL	-0.35	-0.08																							
SI	-0.33	0.04	0.64																						
NA	-0.02	-0.16	-0.08	-0.11																					
K	-0.39	0.17	0.54	0.48	-0.67																				
P	0.28	0.07	-0.23	-0.01	-0.21	-0.03																			
Y	0.48	-0.02	0.04	0.18	0.02	-0.14	0.45																		
RB	-0.09	-0.05	0.52	0.15	-0.40	0.54	-0.05	0.40																	
ZR	-0.00	-0.06	0.20	0.41	-0.38	0.37	0.06	0.53	0.63																
AS	0.17	0.16	0.15	0.15	-0.13	0.28	0.35	0.31	0.26	0.23															
SR	0.68	0.13	-0.40	-0.39	0.37	-0.68	0.28	0.44	-0.24	-0.14	-0.03														
V	-0.47	0.02	0.06	-0.11	-0.07	0.30	-0.42	-0.56	0.10	-0.10	0.04	-0.53													
TI	-0.40	-0.12	0.33	0.44	-0.15	0.28	-0.51	-0.29	0.17	0.41	-0.28	-0.39	0.21												
CR	-0.44	0.06	0.39	0.27	-0.38	0.63	-0.39	-0.49	0.28	0.23	-0.00	-0.62	0.59	0.54											
NI	-0.03	0.03	-0.06	0.01	0.50	-0.37	-0.38	-0.16	-0.38	-0.44	-0.31	0.10	0.13	0.04	-0.21										
CO	0.37	-0.09	0.04	0.14	0.34	-0.39	0.30	0.59	-0.13	-0.03	0.11	0.44	-0.48	-0.43	-0.55	0.25									
MN	0.55	0.15	-0.46	-0.19	0.29	-0.57	0.20	0.42	-0.38	-0.13	-0.11	0.57	-0.39	-0.39	-0.61	0.26	0.58								
FE	0.01	-0.14	-0.18	-0.04	0.53	-0.44	0.21	0.23	-0.32	-0.24	0.11	0.20	-0.11	-0.43	-0.41	0.27	0.68	0.46							
CL	-0.02	-0.04	-0.12	-0.08	-0.09	0.21	0.04	0.09	0.21	0.23	0.27	-0.08	0.10	-0.07	0.01	-0.24	-0.16	-0.22	-0.10						
S	0.18	0.48	-0.15	-0.33	-0.11	0.04	0.09	-0.14	0.02	-0.15	0.25	0.23	0.14	-0.23	0.20	-0.20	-0.17	-0.15	-0.07	0.23					
BA	0.14	0.03	0.24	0.39	0.22	-0.13	0.20	0.41	-0.06	0.06	0.10	0.33	-0.33	-0.00	-0.20	0.03	0.37	0.28	0.18	-0.20	-0.16				
CU	0.05	0.06	-0.27	-0.25	0.29	-0.32	-0.24	-0.37	-0.47	-0.44	-0.40	0.28	0.12	0.01	-0.01	0.39	-0.05	0.16	-0.01	-0.18	0.12	-0.10			
PB	0.42	0.28	-0.21	-0.10	-0.04	-0.12	0.10	0.39	0.12	0.25	-0.02	0.35	-0.08	-0.04	0.04	0.07	0.16	0.30	-0.01	0.09	0.25	0.15	0.10		
ZN	-0.20	-0.20	0.08	0.17	0.39	-0.33	-0.10	0.05	-0.19	-0.04	-0.40	0.11	-0.16	0.32	-0.22	0.38	0.12	0.15	0.08	-0.22	-0.42	0.32	0.12	-0.00	

SEUIL DE SIGNIFICATION A 97.5 % : 0.23
 SEUIL DE SIGNIFICATION A 99.0 % : 0.27
 NOMBRE D'INDIVIDUS : 74

Shales (n=74) Formations de Nèvremont à Matagne.

ELEMENT	MOYENNE ARITHM.	ECART -TYPE	COEFF. VARIATION	MOYENNE GEOM.	DEVIATION GEOM.	VALEUR MINI	VALEUR MAXI
CAO	4.05	3.36	83.03	2.41	0.51	0.18	12.70
MGO	2.80	0.40	14.36	2.78	0.06	2.20	4.30
AL2O3	22.07	1.07	4.85	22.05	0.02	20.30	24.70
SiO2	55.28	3.11	5.62	55.19	0.02	50.00	63.45
NA2O	0.33	0.12	35.04	0.31	0.16	0.10	0.59
K2O	5.81	0.62	10.64	5.78	0.04	4.90	8.00
P	218.88	83.01	37.93	206.91	0.15	45.82	740.13
Y	39.64	13.78	34.77	36.67	0.19	10.00	62.00
RB	207.65	23.51	11.32	206.30	0.05	140.00	280.00
ZR	165.28	42.40	25.65	160.96	0.10	95.00	407.00
AS	20.64	11.52	55.82	17.98	0.23	10.00	64.00
SR	89.91	25.80	28.70	86.27	0.13	30.00	160.00
V	127.64	19.47	15.26	126.25	0.06	92.00	190.00
TI	6391.07	732.46	11.46	6350.95	0.05	4847.55	8992.50
CR	134.62	14.76	10.97	133.97	0.04	113.00	220.00
NI	69.84	12.38	17.72	68.55	0.09	23.00	99.00
CO	40.47	7.60	18.78	39.67	0.09	13.00	69.00
MN	632.38	379.27	59.98	544.01	0.25	77.45	2478.40
FE	25600.09	5250.48	20.51	25135.66	0.08	11540.09	53504.09
CL	48.30	36.03	74.61	39.27	0.26	25.00	182.00
S	330.72	930.62	274.75	69.54	0.62	25.00	5220.00
BA	565.64	61.86	10.94	562.15	0.05	358.28	772.00
CU	23.80	19.25	80.90	17.30	0.37	5.00	94.00
PB	27.66	13.29	48.05	24.44	0.23	10.00	89.00
ZN	95.18	27.76	29.17	91.13	0.13	39.00	4683.00

Calcaires impurs (n=108)
Formations de Nèvremont à Matagne.

ELEMENT	MOYENNE ARITHM.	ECART -TYPE	COEFF. VARIATION	MOYENNE GEOM.	DEVIATION GEOM.	VALEUR MINI	VALEUR MAXI
CAG	31.79	5.64	17.74	31.25	0.08	20.30	39.90
MGO	3.23	2.07	64.04	2.76	0.23	0.84	9.92
AL2O3	10.16	3.22	31.68	9.38	0.21	0.40	16.50
SiO2	28.13	8.68	30.85	26.68	0.15	3.18	68.10
HA2O	0.13	0.09	69.54	0.09	0.47	0.00	0.38
K2O	2.81	0.90	31.90	2.60	0.21	0.09	5.80
P	148.38	120.06	80.91	117.42	0.30	28.37	885.46
Y	37.42	10.09	26.96	35.98	0.13	14.00	64.00
RB	94.51	32.08	33.94	88.19	0.18	11.00	230.00
ZR	111.99	41.17	36.76	105.67	0.15	18.00	352.00
AS	17.53	10.66	60.80	15.16	0.22	10.00	55.00
SR	269.09	114.01	42.37	249.52	0.17	100.00	895.00
V	53.51	21.30	39.80	48.98	0.19	10.00	120.00
TI	2840.42	967.38	34.06	2607.90	0.22	150.47	5095.75
CR	77.27	20.41	26.42	74.35	0.13	27.00	130.00
NI	60.89	11.82	19.41	59.78	0.08	33.00	91.00
CO	29.56	11.42	38.65	27.41	0.18	5.00	79.00
MN	1245.54	1140.99	91.61	922.86	0.33	147.15	7357.75
FE	13548.54	6747.57	49.80	11975.98	0.23	1363.83	40905.46
CL	102.15	136.81	133.93	69.69	0.36	25.00	1151.00
S	1607.12	3029.35	188.50	519.45	0.65	25.00	18139.99
BA	267.52	107.98	40.36	241.37	0.22	22.39	17183.00
CU	25.26	13.11	51.91	22.02	0.24	5.00	139.00
PB	47.35	12.57	26.56	45.71	0.12	20.00	3056.00
ZH	67.26	27.70	41.19	62.20	0.17	24.00	3090.00

Calcaires purs. Formations de Nèvremont à Matagne.

	CA	MG	AL	SI	NA	K	P	Y	RB	ZR	AS	SR	V	TI	CR	NI	CO	MH	FE	CL	S	BA	CU	PB
MG	-0.58																							
AL	-0.66	0.43																			0.08			
SI	-0.57	0.44	0.87																		0.10			
NA	-0.34	0.30	0.41	0.36																				
K	-0.66	0.40	0.98	0.82	0.35																			
P	-0.45	0.31	0.64	0.55	0.45	0.58																		
Y	-0.53	0.19	0.43	0.20	0.12	0.50	0.23																	
RB	-0.78	0.38	0.74	0.56	0.32	0.79	0.40	0.67																
ZR	-0.58	0.53	0.69	0.68	0.41	0.66	0.54	0.32	0.55															
AS	-0.22	0.18	0.15	0.13	0.07	0.15	0.23	0.21	0.19	0.13														
SR	-0.17	0.20	0.25	0.25	0.27	0.20	0.21	0.22	0.17	0.62	0.04													
V	-0.56	0.29	0.53	0.43	0.28	0.52	0.39	0.35	0.56	0.43	0.14	0.07												
TI	-0.66	0.43	0.93	0.85	0.40	0.93	0.64	0.35	0.71	0.69	0.14	0.13	0.55											
CR	-0.49	0.35	0.77	0.73	0.34	0.74	0.57	0.19	0.55	0.62	0.09	0.10	0.49	0.81										
NI	-0.45	0.15	0.42	0.21	-0.03	0.50	0.13	0.82	0.65	0.32	0.25	0.18	0.34	0.35	0.24									
CO	-0.52	0.38	0.64	0.53	0.35	0.63	0.63	0.38	0.55	0.48	0.30	0.10	0.55	0.65	0.61	0.37								
MN	-0.37	0.33	0.32	0.34	0.26	0.28	0.50	0.13	0.22	0.31	0.30	0.03	0.28	0.40	0.33	0.06	0.43							
FE	-0.63	0.53	0.74	0.64	0.37	0.71	0.60	0.48	0.60	0.62	0.28	0.26	0.44	0.71	0.59	0.43	0.67	0.53						
CL	-0.20	0.32	0.05	0.08	0.13	0.03	0.08	0.07	0.06	0.17	0.01	0.14	0.11	0.07	0.03	0.03	0.09	0.18	0.13					
S	-0.28	0.49	0.35	0.40	0.26	0.30	0.38	-0.02	0.13	0.50	0.25	0.42	0.10	0.33	0.31	0.02	0.32	0.22	0.39	0.22				
BA	-0.63	0.23	0.67	0.49	0.33	0.70	0.49	0.65	0.75	0.46	0.18	0.22	0.42	0.63	0.48	0.60	0.53	0.28	0.57	0.06	0.14			
CU	-0.31	0.07	0.19	0.01	0.04	0.26	-0.02	0.61	0.41	0.11	0.11	0.12	0.03	0.09	-0.00	0.55	0.03	-0.07	0.23	0.01	-0.06	0.38		
PB	-0.34	0.24	0.46	0.32	0.18	0.50	0.34	0.56	0.51	0.46	0.28	0.21	0.38	0.45	0.38	0.61	0.45	0.24	0.43	0.11	0.14	0.42	0.28	
ZN	-0.21	-0.02	0.20	0.10	0.04	0.24	0.07	0.45	0.31	0.14	0.17	0.13	0.14	0.14	0.06	0.48	0.18	0.15	0.27	0.05	-0.06	0.33	0.39	0.43

Calcaires purs (n=591)
Formations de Nèvreumont à Matagne.

ELEMENT	MOYENNE ARITHM.	ECART -TYPE	COEFF. VARIATION	MOYENNE GEOM.	DEVIATION GEOM.	VALEUR MINI	VALEUR MAXI
C/O	50.49	3.83	7.58	50.33	0.03	40.10	56.70
MGO	1.41	1.19	83.91	1.15	0.26	0.23	11.90
AL2O3	2.04	2.00	97.82	1.29	0.45	0.00	11.10
STO2	5.68	5.29	93.19	3.28	0.61	0.00	25.40
HA2O	0.05	0.15	305.84	0.01	0.60	0.00	2.70
K2O	0.63	0.59	93.97	0.43	0.40	0.01	3.50
P	55.26	124.70	225.67	27.91	0.45	5.45	1643.26
Y	16.39	9.99	60.96	13.11	0.31	5.00	61.00
PB	15.89	19.38	121.97	9.82	0.39	5.00	130.00
ZR	37.23	27.84	74.78	26.54	0.39	5.00	150.00
AS	12.26	9.29	75.78	11.21	0.15	10.00	170.00
SR	315.19	133.05	42.21	290.47	0.17	45.00	797.00
V	11.56	12.75	110.30	8.09	0.33	5.00	83.00
TI	539.29	592.40	109.85	307.30	0.49	29.98	4496.25
CR	31.31	19.09	60.98	27.44	0.22	5.00	227.00
NI	40.96	11.10	27.09	39.38	0.13	5.00	96.00
CO	10.53	7.98	75.75	8.56	0.27	5.00	72.00
MN	502.92	592.06	117.72	313.62	0.43	38.73	5189.15
FE	2429.29	3880.00	159.72	526.78	0.98	17.49	41614.30
CL	91.28	51.16	56.05	79.02	0.24	25.00	490.00
S	750.31	2368.60	315.68	347.96	0.48	25.00	36288.99
BA	62.99	60.96	96.78	45.11	0.34	22.39	7702.00
CU	15.48	8.77	56.65	12.60	0.30	5.00	230.00
PB	31.30	14.35	45.86	27.88	0.22	10.00	2698.00
ZN	50.28	39.12	77.81	36.79	0.37	5.00	5335.00

Dolomies (n=73) Formations de Nèvremont à Matagne.

ELEMENT	MOYENNE ARITHM.	ECART -TYPE	COEFF. VARIATION	MOYENNE GEOM.	DEVIATION GEOM.	VALEUR MINI	VALEUR MAXI
CAO	30.24	4.25	14.04	29.91	0.07	17.40	39.51
MFO	16.71	3.72	22.25	16.28	0.10	10.11	23.70
AL2O3	3.16	2.85	90.44	2.26	0.36	0.42	16.40
SiO2	11.87	10.31	86.88	8.54	0.36	1.73	49.50
NA2O	0.05	0.09	191.93	0.02	0.52	0.00	0.68
K2O	0.77	0.77	99.50	0.55	0.35	0.10	5.10
P	220.67	408.40	185.07	53.58	0.70	5.45	1789.24
Y	39.10	47.88	122.47	30.30	0.29	5.00	420.00
RB	38.00	27.13	71.38	27.07	0.40	5.00	140.00
ZR	48.75	27.98	57.39	40.53	0.29	5.00	122.00
AS	22.89	23.84	104.13	17.42	0.29	10.00	150.00
SR	137.74	63.98	46.45	126.24	0.18	45.00	448.00
V	42.01	41.79	99.48	29.80	0.36	5.00	230.00
TI	725.26	736.13	101.50	485.84	0.40	80.93	4915.90
CR	36.88	27.57	74.76	29.06	0.32	5.00	190.00
HI	48.05	14.34	29.84	45.82	0.14	19.00	88.00
CO	22.12	17.61	79.59	17.46	0.29	5.00	89.00
MH	1799.21	2385.71	132.60	1038.34	0.43	175.81	10068.49
FE	12641.39	18783.11	148.58	6099.75	0.50	620.37	81130.37
CL	220.70	143.94	65.22	189.72	0.23	56.00	920.00
S	3001.99	10145.34	337.95	850.95	0.60	25.00	82650.00
BA	69.09	55.48	80.30	52.11	0.33	22.39	2329.00
CU	19.92	10.49	52.65	16.99	0.27	5.00	73.00
PB	44.89	15.44	34.40	41.81	0.18	10.00	128.00
ZN	29.40	21.58	73.41	23.22	0.32	5.00	440.00

H.- BIBLIOGRAPHIE

- AUBAGUE, M., L'HOMER, A. & SUREAU, J.F., 1982. — Recherche de gîtes de prospection pour les gîtes de Bois-Madame (Hérault), La Croix-de-Palières (Gard) et Figeac (Lot). *Chron. rech. min.*, 466 : 41-59.
- BARBIER, J., 1979. — Géochimie en roche autour de quelques gîtes ou indices Pb-Zn en milieu carbonaté. *Bull. BRGM, Orléans, II*, 1 : 1-22.
- BISSEL, H.J. & CHILINGAR, G.V., 1967. — Classification of sedimentary carbonate rocks - Glossary. In : *Developments in Sedimentology, Carbonate rocks. Origin, occurrence and Classification*, Elsevier, Amsterdam, 9A : 87-168.
- BOUCKAERT, J. & THOREZ, J., 1965. — Contribution à l'étude du Dévonien supérieur dans la région d'Esneux. *Bull. Soc. belge Géol.*, Bruxelles, 74 : 258-264.
- BOUCKAERT, J., MOURAVIEFF, A.N., STREEL, M., THOREZ, J. & ZIEGLER, W., 1972. — The Frasnian-Famennian Boundary in Belgium. *Geologica et Palaeontologica*, Marburg, 6 : 87-92.
- COEN-AUBERT, M., 1970. — Le Frasnien dans la région des Surdents (Massif de la Vesdre, Belgique). *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 93 : 383-395.
- COEN-AUBERT, M., 1974. — Le Givetien et le Frasnien du Massif de la Vesdre. Stratigraphie et Paléoécologie. *Mém. Acad. roy. Belgique*, Bruxelles, XVIII, 2 : 146 p.
- COEN-AUBERT, M. & COEN, M., 1975. — Le Givetien et le Frasnien dans la vallée de la Meuse, de Tailfer à Yvoir (bord nord du Bassin de Dinant). *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 97 : 499-524.
- COEN-AUBERT, M. & LACROIX, D., 1979. — Le Frasnien dans la partie orientale du bord Sud du synclinorium de Namur. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 101 : 269-279.
- COEN-AUBERT, M. & LACROIX, D., 1985. — Le Frasnien dans la partie orientale du bord Nord du synclinorium de Namur. *Bull. Soc. belge Géol.*, Bruxelles, 94 : 117-128.
- DEJONGHE, L., 1979. — Discovery of a Sedimentary Ba (Fe, Zn, Pb) Ore Body of Frasnian Age at Chaudfontaine, Province of Liège, Belgium. *Mineral. Deposita*, Berlin, 14 : 15-20.
- DEJONGHE, L., 1985. — Contribution à l'étude métallogénique du synclinorium de Verviers (Belgique). *Thèse de doctorat d'état ès sciences naturelles. Université Pierre et Marie Curie*, Paris 6. *Mém. Sc. Terre Univ. P. & M. Curie*, Paris, 85-23 : 389 p.
- DEJONGHE, L. & de WALQUE, L., 1981. — Pétrologie et géochimie du filon sulfuré de Heure (Belgique), du chapeau de fer associé et de l'encaissant carbonaté. *Bull. BRGM, Orléans II*, 3 : 165-191.
- de WALQUE, L., DEJONGHE, L., MARTIN, H. & BOUCKAERT, J., 1977. — Etude d'un sondage effectué dans le Frasnien à Nettinne au lieu-dit «Le Poteau» (Lithologie, macropaléontologie, géochimie, minéralisation). *Prof. paper Serv. géol. Belgique*, Bruxelles, 144, 1977/7, 17 p.
- D'HEUR, M., 1970. — Etude sédimentologique du Givetien du massif de la Vesdre (Région de Verviers). *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 93 : 509-522.
- DREESEN, R. & THOREZ, J., 1982. — Upper Devonian sediments in the Ardennes-Rhenish area; sedimentology and geochemistry. In : «*The Pre-Permian around the Brabant Massif*». *Public. Natuurhist. Gen. Limburg*, XXXII : 8-15.
- DUBRUL, L., 1931. — La stratigraphie du Frasnien aux environs de Chaudfontaine. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 55 : 111-119.
- DUHAMEAU, W. (non daté). — Zone-test de Liège. Etude des retombées en polluants métalliques et en fluor. *Institut national des Industries extractives*, Liège, rapport non publié, 35 p.
- FOURMARIER, P., 1931. — La faille des Rochers de Colonstère. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 64 : 65-71.
- FOURMARIER, P., 1941. — Une application de l'étude de la schistosité à la solution d'un problème tectonique. La coupe du ravin du Fonds des Cris (vallée de la Vesdre). *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 64 : 169-176.
- FOURMARIER, P., 1942. — Observations au sujet de l'origine des lambeaux de poussée des environs d'Angleur. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 65 : 217-220.
- FOURMARIER, P. & ANCIEN, C., 1945. — Compte-rendu de la session extraordinaire de la Société géologique de Belgique et de la Société belge de Géologie tenue à Liège, les 22, 23, 24 et 25 septembre 1945. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 68 : 259-318.
- GRANIER, Cl., 1973. — Introduction à la prospection géochimique des gîtes métallifères. *Masson & Cie*, Paris, 143 p.
- GRAULICH, J.M., 1955. — La faille Eifelienne et le Massif de Herve. Ses relations avec le bassin houiller de Liège. *Mém. expl. Cartes géol. min. Belgique, Serv. géol. Belgique*, Bruxelles, 1, 36 p.
- GRAULICH, J.M., 1964. — Excursion du 15 juin 1963. Visite des sondages du Service géologique de Belgique. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 86 : 589-598.
- GRAULICH, J.M., 1967. — Sondages pour l'étude hydrologique des eaux chaudes à Chaudfontaine. *Prof. paper Serv. géol. Belgique*, Bruxelles, 1967/11, 20 p.
- GRAULICH, J.M., 1975. — Le sondage de Bolland. *Prof. Paper Serv. géol. Belgique*, Bruxelles, 1975/9 : 39 p.
- GRAULICH, J.M., 1977. — Le sondage de Soumagne. *Prof. Paper Serv. géol. Belgique*, Bruxelles, 139, 1977/2 : 55 p.
- GRAULICH, J.M., 1984. — Coupe géologique passant par les sondages d'Hermalle-sous-Argenteau, Bolland, Soumagne, Soiron, Pépinster 2 et 1 et Juslenville - Commentaires. *Bull. Soc. belge Géol. Belgique*, Bruxelles, 93 : 45-49.
- GRAULICH, J.M. & VANDENVEN, G. (coll. COEN-AUBERT, M., BOUCKAERT, J., DEJONGHE, L. & DUSAR, M.), 1978. — Nouveaux sondages pour l'étude hydrologique des eaux chaudes à Chaudfontaine. *Prof. paper Serv. géol. Belgique*, Bruxelles, 152, 1978/4, 70 p.
- GRAULICH, J.M., DEJONGHE, L. & CNUUDE, C., 1984. — La définition du synclinorium de Verviers. *Bull. Soc. belge Géol.*, Bruxelles, 93 : 79-82.
- GWOSDZ, W. & KREBS, W., 1977. — Manganese halo surrounding Meggen ore deposit, Germany. *Trans. Inst. Min. Metall.*, London, B, 86 : 73-77.
- HANCE, L., 1979. — Révision micropaléontologique du Dinantien de Horion-Hozémont. *Bull. Soc. belge Géol.*, Bruxelles, 88 : 253-271.
- HARMAN, H.H., 1967. — Modern factor analysis (2d ed.). *University of Chicago Press*.
- HERBOSCH, A., CAUET, S. & PREAT, A., 1983. — Recherche de métalotectes de nature géochimique pour la prospection des gîtes Pb-Zn belges. Partie I : Géochimie isotopique du Pb et du S. Partie II : Sédimentologie et lithogéochimie : exemple du Givetien du bord sud du synclinorium de Dinant. *Prof. paper Serv. géol. Belgique*, Bruxelles, 197, 1983/2, 123 p.
- HOUBAILLE, C., 1982. — Contribution à l'étude des caractères physiques, lithologiques et stratigraphiques des roches aux environs de la limite Frasnien-Famennien, dans les sondages de Havelange, Focant et Soumagne. Mémoire de fin d'études. *Université de Liège*.
- KIMPE, W.F.M., BLESS, M.J.M., BOUCKAERT, J., CONIL, R., GROESSENS, E., MEESEN, J.P.M.Th., POTY, E., STREEL, M., THOREZ, J. & VANGUESTAINE, M., 1978. — Paleozoic deposits east of the Brabant massif in Belgium and the Netherlands. *Meded. rijks geol. Dienst*, Haarlem, 30, 2 : 37-103.
- LACROIX, D., 1972. — Contribution à l'étude stratigraphique et paléoécologique du Mésodévonien et du Frasnien du synclinorium de Namur. Thèse. *Université catholique de Louvain*, 228 p.
- LACROIX, D., 1974. — Sur la stratigraphie du Mésodévonien et du Frasnien au bord Sud du synclinorium de Namur. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 97 : 11-21.
- LAMBRECHT, L. & SWINNEN, J., 1958. — Compte-rendu de l'excursion du 28 juin 1958 dans la région d'Angleur. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 81 : 521-528.
- LEPELTIER, C., 1969. — A simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation. *Econ. Geol.*, 64 : 538-550.
- PREAT, A., CAUET, S. & HERBOSCH, A., 1983. — Caractère Epigénétique-Etranger des Gîtes Filoniens Pb-Zn(Ba-F) du District du Bord Sud du Synclinorium de Dinant (Belgique). *Mineral. Deposita*, Berlin, 18 : 349-363.
- RUSSEL, M.J., 1974. — Manganese halo surrounding the Tynagh ore deposit, Ireland : a preliminary note. *Trans. Inst. Min. Metall.*, London, B, 83 : 65-66.
- SCHEPS, V. & FRIEDRICH, G., 1983. — Geochemical Investigation of Paleozoic Shales and Carbonates in the Aachen Region. *Mineral. Deposita*, Berlin, 18 : 411-421.
- SINCLAIR, A.J., 1974. — Selection of threshold values in geochemical data using probability graph. *J. Geochem. Explor.*, 3 : 129-149.
- SONDAG, F., 1981. — Selective extraction procedure applied to geochemical prospecting in an area contaminated by old mine workings. *J. Geochem. Explor.*, 15 : 645-652.
- STREEL, M., 1973. — Corrélations palynologiques dans le Tournaisien du synclinorium de Namur. *Bull. Soc. belge Géol.*, Bruxelles, 82 : 397-415.
- SWENNEN, R. & VIAENE, W., 1981. — Lithogéochimie de quelques sections du Dinantien dans la Vesdre Région (Belgium). *Bull. Soc. belge Géol.*, Bruxelles, 90 : 65-80.
- SWENNEN, R., VAN ORSMAEL, J., JACOBS, L., OP DE BEECK, K., BOUCKAERT, J. & VIAENE, W., 1982a. — Dinantian sedimentation around the Brabant Massif, sedimentology and geochemistry. In : «*The Pre-Permian around the Brabant Massif*». *Publ. Natuurhist. Gen. Limburg*, XXXII : 16-23.

SWENNEN, R., BOONEN, P. & VIAENE, W., 1982b. - Stratigraphy and lithogeochemistry of the Walhorn section (lower Viséan; Vesdre Basin, E-Belgium) and its implications. *Bull. Soc. belge Géol.*, Bruxelles, 91 : 239-258.

SWINNEN, J., 1958. — Observations sur la tectonique des massifs de Streupas et de Kinkempois. *Ann. Soc. géol. Belgique*, Liège, 81 : 209-221.

TILL, R., 1974. — Statistical methods for the earth scientist. An introduction. *Macmillan*, 154 p.

VAN ORSMAEL, J., VIAENE, W. & BOUCKAERT, J., 1980. — Lithogeochemistry of Upper Tournaisian and Lower Viséan Carbonate Rocks in the Dinant Basin, Belgium : A preliminary study. *Meded. rijks geol. Dienst*, Haarlem, 32/12 : 96-100.

