

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

Géochimie de surface et minéralisations du Paléozoïque de Belgique

**III. Plomb, zinc et fer au voisinage
de l'ancienne exploitation minière de Heure-en-Famenne**

par

L. de WALQUE – J. BOUCKAERT – H. MARTIN

Pl. Maffe 168 W

PROFESSIONAL PAPER 1976 N° 1

Dijon

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

Géochimie de surface et minéralisations du Paléozoïque de Belgique

**III. Plomb, zinc et fer au voisinage
de l'ancienne exploitation minière de Heure-en-Famenne**

par

L. de WALQUE – J. BOUCKAERT – H. MARTIN

Pl. Maffé 168 W

PROFESSIONAL PAPER 1976 N° 1

GÉOCHIMIE DE SURFACE ET MINÉRALISATIONS
DU PALÉOZOÏQUE DE BELGIQUE.

*III. Plomb, zinc et fer au voisinage de l'ancienne
exploitation minière de Heure-en-Famenne.*

Pl. Maffe 168 W

par

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

GÉOCHIMIE DE SURFACE ET MINÉRALISATIONS
DU PALÉOZOÏQUE DE BELGIQUE.

*III. Plomb, zinc et fer au voisinage de l'ancienne
exploitation minière de Heure-en-Famenne*

Pl. Maffe 168 W

par

L. de WALQUE (*) (***) , J. BOUCKAERT (**) et H. MARTIN (***)

INTRODUCTION

Un gisement de fer et de plomb a été exploité jusqu'au début du siècle près du village de Heure-en-Famenne. Le choix du terrain prospecté a été défini en fonction des buts recherchés.

Le premier but de cette étude géochimique a été de préciser l'auréole de dispersion du plomb et du fer dans les sols au voisinage de l'ancienne exploitation minière, après avoir effectué le levé détaillé de la zone étudiée. En effet, lors des processus d'altération et de dissolution chimique des roches, les éléments métalliques provenant de la roche mère ou d'une minéralisation sous-jacente peuvent diffuser sous forme soluble et être incorporés dans les sols, soit par adsorption sur les argiles, soit par coprécipitation avec le fer et le manganèse (HAWKES et WEBB, 1962).

Le second but a été d'apporter des informations d'ordre lithostratigraphique par la distribution d'autres éléments en traces dans les sols de la zone étudiée.

(*) Stagiaire de Recherche au F.N.R.S.

(**) Service Géologique de Belgique

(***) Laboratoire de Géochimie de l'Université de Louvain.

1. Caractères physiographiques

1.1 Géographie

Le village de Heure-en-Famenne est situé à une dizaine de kilomètres au nord-ouest de Marche-en-Famenne, sur la route n° 29 (Barvaux-Givet) entre Sinsin et Baillonville, à mi-chemin entre la route Namur-Marche et Liège-Marche.

Le village s'étend sur les deux versants de la vallée creusée par le ruisseau de Heure qui le traverse d'ouest en est, se dirigeant vers l'Ourthe.

L'ancienne exploitation minière de Heure se trouve à 750 m environ à l'ouest du centre du village. Le filon exploité a comme direction le nord-ouest, à partir de la borne 38 sur la route n° 29 (Fig. 1).

La partie nord de la zone étudiée (Fig. 1) est peu accidentée et le relief est en pente douce vers le nord. A l'extrême nord, un petit ruisseau prend sa source et coule vers le village de Nettinne (amorce de bassin versant). La partie centrale est en pente plus prononcée vers le sud. La partie sud montre un relief tourmenté et correspond bien au type de relief de la région famennienne. Le ruisseau de Heure a fortement entaillé le versant et s'est encaissé dans la vallée. Le côté est du secteur prospecté ("Le Pierreux") présente une crête qui semble prolonger celle qui forme le "Bois de Saumont". Entre les deux se forme une dépression. Le flanc nord de cette crête orientale est bordé par une zone d'effondrement qui laisse supposer une activité karstique.

La nature du sol influence fortement son affectation ; les bois se localisent sur la crête ("Bois de Saumont"). Le feuillu y domine largement, mais des résineux y ont été introduits récemment. En bordure de la crête calcaire se localisent les terres de culture sur les terrains schisto-calcaires. Les herbages prédominent dans les zones schisteuses.

1.2 Géologie

La région de Heure se situe non loin de la limite entre le Condroz et la Famenne. C'est le début de la vaste dépression schisteuse Famennienne traversée entre Nettinne et Heure par deux crêtes à substrat composé de calcaire Frasnien. C'est la plus méridionale de ces deux crêtes qui traverse la zone de prospection (Fig. 2). Il s'agit d'un anticlinal à noyau de calcaires et de dolomies, ennoyé vers le nord-est.

Ce substrat paléozoïque a été recouvert par des sédiments sableux d'âge tertiaire (probablement oligocène), par des dépôts du Pléistocène inférieur ou du Pliocène (argiles à silexite) et par des dépôts limoneux d'origine nivéo-éolienne d'épaisseur variable (limons loessiques). Ces sédiments se sont conservés dans des poches de dissolution des roches calcaires ou sur les parties les plus élevées des zones à substrat de calcaire condrusien. Ainsi, on retrouve une zone de dépôt de loess au voisinage de l'ancienne mine de Heure (cfr. § 1.3 et Fig. 3).

Nous nous sommes efforcés de lever et de tracer de façon exhaustive la carte lithostratigraphique des environs de Heure au 1/5000e pour les besoins de l'étude géochimique (cfr. § 3).

1.3 Pédologie

La correspondance étroite entre la pédologie et la lithostratigraphie est évidente. Comme pour la carte géologique, nous avons refait la carte pédologique au 1/5000e suite à l'échantillonnage des sols (Fig. 3).

Les grands types de sols sont les sols à charge calcaire, où la roche calcaire non altérée se rencontre à faible profondeur. Ensuite on a les sols à charge schisto-calcaire qui forment la transition entre les sols à charge calcaire et les sols à charge schisteuse. Ces sols sont en général peu développés. Puis viennent les sols à charge schisteuse. La roche schisteuse s'y trouve les plus souvent à faible profondeur, faiblement ou non altérée. Les classes de drainage sont évidemment variables pour ces types de sols.

Il faut encore citer les sols à charge argilo-calcaire, peu caillouteux, qui se localisent en bordure nord de la crête anticlinale calcaire, et les sols développés à partir d'un placage limoneux (loess) d'un à deux mètres d'épaisseur. Dans la région, la composition générale de ce genre de placage limoneux est de 80 % de limon, 15 % d'argile et de 5 % de sable (MARECHAL, 1957).

Le placage limoneux peut faire office d'écran pour les éléments en traces entre la roche ou la minéralisation sous-jacente et les sols développés sur ce limon. Ceux-ci correspondent très bien à l'expression de "sol non résiduel" de GRANIER (1973), ellipse de "sol non résiduel du corps minéralisé".

2. L'ancienne exploitation minière

La "mine de fer" de Heure est déjà citée par de FERRARIS (1777), dans sa description de la carte des Pays-Bas Autrichiens. Il signale plusieurs mines de fer aux alentours du "Bois de Saumont". En fait, il semble que la minéralisation devait affleurer non loin de la route actuelle de Heure à Nettinne, et que certains puits avaient été foncés plus au nord.

Le 25 novembre 1843, une concession de 161 ha 59 ares est accordée à Monsieur Dieudonné DELVIGNE, notaire à Namur. Les bornes délimitant la concession des "mines de plomb et de pyrite de Heure" sont placées en 1846 (Fig. 1). Les premiers plans des galeries sont dressés en 1857. Ils signalent que la puissance moyenne du filon de pyrite et de plomb est de 4 m, puis de 8 m.

La mise en exploitation de la mine est conduite de façon régulière jusqu'en 1863. Par la suite, les travaux reprennent à diverses dates, notamment en 1884-1887, puis en 1892, en 1915, 1919-1921 et enfin en 1938-1939.

En 1883, un puits de 42 m de profondeur atteint à son extrémité l'ancienne galerie d'exploitation. Il sert l'année suivante à l'extraction de 30 tonnes de limonite dont la tête du filon était composée.

Un second puits de 16 m de profondeur est terminé en 1885 et rencontre la galerie à 42 m de son orifice. Pendant ce temps, l'ancienne galerie d'exploitation est maintenue en bon état. Ce second puits est continué en profondeur sous le niveau de la galerie pour exploiter un massif de pyrite reconnu anciennement et explorer le filon en profondeur. Les venues d'eau sont considérables.

En 1892, les propriétaires de la "Société Anonyme des Mines de plomb et de pyrite de Heure" recommencent des travaux de recherches.

En 1915, la société procède à certains travaux dans sa concession (rétablissement d'anciens puits et galeries) et fait dessiner de nouveaux plans (Fig. 4).

De nouvelles recherches sont effectuées en 1920 et en 1921.

Fin 1938, on projette la remise en activité des installations. A cette époque, il existe encore deux puits :

- l'un à 5 m de profondeur donnant accès à une galerie d'écoulement qui débouche dans le ruisseau en contrebas de la grand-route,

- l'autre à 43,20 m de profondeur, dont 27,20 m sont noyés. Ce dernier a recoupé anciennement deux filons, à 29,10 m et à 40,50 m, que l'on se propose d'explorer à nouveau.

Au cours des travaux qui sont entrepris en 1938 et en 1939 pour les recherches et études en vue de la remise en activité éventuelle de la mine métallique de Heure, la Société concessionnaire remet en état l'ancien puits d'extraction, dit puits Kulhman, et la galerie d'écoulement qui assure l'épuisement des eaux. Elle rétablit ensuite la galerie d'exploitation dans le filon de pyrite qui fait l'objet de la concession et conduit son front jusque dans le calcaire. Finalement, elle établit pour assurer la ventilation des travaux un petit puits de 8 m de profondeur sur l'ancien affleurement du gisement.

C'est l'importance de la venue d'eau rencontrée dans la partie du filon qui se continue dans le calcaire qui, jointe au peu de richesse du gisement et aux difficultés d'évaluation des produits extraits, a fait décider de l'abandon définitif des travaux. A ce moment, on pompait journallement 5.000 m³. Le puits de 43,20 m, approfondi de quelques mètres, aurait donné entre 20 et 25.000 m³ par jour. Actuellement, l'entrée de la galerie d'épuisement et les puits sont bouchés.

Outre la pyrite et la galène exploitées, le minerai comprend aussi de la chalcopryrite, de la blende et de la baryte (VAN WAMBEKE, 1955).

3. Lithostratigraphie

3.1 Succession lithostratigraphique

La succession biolithostratigraphique des couches affleurant dans les environs du site de Heure a été décrite par COEN (1974).

La route de Nettinne à Heure coupe de façon oblique l'anticlinal, du flanc nord vers le flanc sud. Les affleurements successifs le long de cette grand-route nous ont permis de retrouver les grandes séquences lithologiques. Du bas vers le haut, nous avons rencontré :

- a) des schistes avec quelques nodules calcaires, qui constituent le coeur de l'anticlinal.
- b) une dizaine de mètres de calcaire noir et fin. Ces calcaires noirs et les schistes décrits sous "a" n'affleurent pas dans le voisinage immédiat de l'ancienne exploitation minière de Heure, mais beaucoup plus à l'ouest, vers Nettinne.
- c) suivent des dolomies d'épaisseurs variables (30 à 35 m environ). Du sable dolomitique a été extrait le siècle dernier. Les lieux d'exploitation sont encore partiellement visibles.

d) la séquence immédiatement supérieure est calcaire (plus de 35 m) et peut être divisée en trois parties :

- calcaire à stromatopores et gastéropodes à la base
- calcaire stérile. Ce niveau stérile a été exploité systématiquement le siècle dernier. Il affleure actuellement dans presque toutes les anciennes carrières des environs
- au sommet, calcaire de nouveau à stromatopores massifs et branchus, à tabulés branchus, ...

e) les couches supérieures sont schisteuses. Elles démarrent à la base par des niveaux de plus en plus noduleux, avec un niveau caractéristique très noduleux d'une dizaine de mètres de puissance. Cette séquence noduleuse est surmontée d'une forte épaisseur de schistes contenant un double banc de calcaire de 1,50 m d'épaisseur et un banc de calcschiste de même puissance. L'épaisseur de ces couches schisteuses est considérable et il faut compter au moins 100 m à partir des calcschistes avant de pouvoir arriver aux schistes du Famennien. Toutes les séquences décrites ci-dessus sont datées du Frasnien.

3.2 Affleurements

Les sites d'affleurements sont reportés à la figure 5. Leurs numéros sont ceux qui ont été donnés par le Service Géologique de Belgique (planchette Maffe 168 W).

Affl. 213 : Le long de la route N 29, à 3 m de la borne 38 dans la direction de Nettinne. Dans des schistes nous avons rencontré un banc de calcschistes durs, jaunâtres superficiellement, sinon gris clairs. Ils sont assez résistants. Ils ne se débitent pas en feuillets mais en plaques d'un centimètre d'épaisseur environ. La direction de la schistosité est N80°E, inclinaison + 20°S. Ces schistes contiennent de nombreux spirifères. A 25 m de la borne 38 dans la direction de Nettinne. Bancs de calcaire dans des schistes (un bon mètre de puissance). Calcaire foncé à grain fin.

Affl. 214 : Le long de la route N 29, à 40-45 m de la borne 38 vers Nettinne. Schistes en fines lamelles, se débitant fort. La direction de leur schistosité est de N60°E, et l'inclinaison de 30°S. Ces schistes sont un peu violacés et rougeâtres, ils sont affectés par la présence de nodules (dimension pomme de terre) et par de nombreux fauchages. Ils sont fossilifères (spirifers principalement). L'affleurement continue par une succession de schistes de lithologie semblable, avec des niveaux plus noduleux sur un ou deux mètres tout au plus. La direction de la schistosité est ouest-est et est bouleversée par endroits (talus, fauchages, ...). Il est très difficile d'y repérer des joints de stratification ou des différences de couleurs.

Affl. 215 : Le long de la route N 29, à \pm 130 m de la borne 38, vers Nettinne. Niveau de schistes à nodules en abondance. Ce sont des schistes gris pâles, un peu jaunâtres mais plus clairs que ceux décrits à l'affleurement 214. La présence de nodules en quantité donne un aspect bosselé aux schistes de l'affleurement. La direction des couches est de N70°E, inclinaison de 48°S. La schistosité n'est pas mesurable ici. Ces schistes deviennent un peu plus violets quand on monte la séquence (vers Heure).

Affl. 216 : Le long de la route N 29, à \pm 210 m de la borne 38, vers Nettinne. Le contact schistes-calcaires est assez difficile à repérer avec précision. A \pm 235 m de la borne 38, vers Nettinne. Premier bon affleurement de calcaire. C'est un calcaire fin avec beaucoup de calcite. Les bancs stratifiés se présentent assez mal. La direction des couches est de N50°E, inclinaison de 50°S. A \pm 255 m de la borne 38, vers Nettinne. Les bancs calcaires sont beaucoup plus épais (80 cm), plus francs et plus massifs. La direction des couches est de N45°E, leur inclinaison de 40°S.

Suivent le long de la route des éboulis de calcaire. Bords de la rivière. Il n'y a presque pas d'affleurements si ce n'est quelques traces de schistes sous un arbre déraciné. Plus à l'ouest, le contact schiste-calcaire est recouvert par les alluvions et ne peut être suivi. Il n'est que supposé.

Affl. 217 : Ancienne fosse d'aération, à 85 m au sud de la "Chapelle Notre-Dame-de Walcourt". Cet ancien puits nous permet de voir des schistes fossilifères (brachiopodes) en place. Aucune bonne mesure n'est faisable. Le contact schiste-calcaire n'est pas loin, quelques mètres plus haut seulement. Ce contact peut être suivi grossièrement de l'affleurement 216 jusqu'ici, puis semble s'infléchir brutalement vers le nord-est.

Affl. 218 : Quelques petits affleurements de calcaire le long du chemin forestier.

Affl. 219 : Ancienne carrière, à 80 m au sud-ouest de la "Fosse à plomb". Des calcaires stériles décrits plus haut dans le log lithologique affleuraient vraisemblablement à cet endroit. Les bancs supérieurs sont fossilifères (stromatopores, Hexagonaria) et montrent une certaine alternance : quelques bancs de 20 cm à 1 m, mais souvent encore plus épais. La direction des couches varie entre N50°E et N52°E, leur inclinaison entre 38°N et 40°N. Ces calcaires présentent de nombreuses diaclases, orientées préférentiellement suivant deux directions (N35°E et N117°E).

Affl. 220 : Anciennes carrières, à 350 m au sud-ouest de la "Chapelle Notre-Dame-de-Walcourt". Les affleurements décrits ici sont considérables et présentent la particularité de se trouver dans l'axe de l'anticlinal. La longueur des affleurements dépasse 150 m. On trouve en allant du nord vers le sud des calcaires, des dolomies puis de nouveau des calcaires. Les couches sont subhorizontales au milieu de la zone d'affleurement. Ces calcaires sont riches en fossiles du genre Hexagonaria, Phillipsastrea, brachiopodes, tabulés, ... Le grain des calcaires est assez fin. L'épaisseur des bancs est de l'ordre d'un mètre, parfois plus. Les

veinules de quartz et de calcite sont rares. La direction des couches du flanc nord de l'anticlinal varie de $N40^{\circ}E$ à $N60^{\circ}E$, leur inclinaison de $30^{\circ}N$ à $40^{\circ}N$. Cette inclinaison diminue très rapidement et les couches demeurent longtemps subhorizontales (calcaires dolomitiques). La direction des couches du flanc sud n'est guère différente, elle varie de $N60^{\circ}E$ à $N80^{\circ}E$. Par contre, après des inclinaisons faibles (moins de 10°) l'allure de l'inclinaison des couches devient plus raide que celle de l'autre flanc de l'anticlinal. Des pendages de $40^{\circ}S$ à $50^{\circ}S$ ne sont pas rares à mesurer. De nombreuses mesures ont été effectuées en vue de trouver la direction d'envoyage du pli et de son inclinaison. Elles donnent une direction d'envoyage de $N63^{\circ}E$ et une inclinaison de $23^{\circ}E$. Cette valeur a été confirmée à plusieurs endroits.

Affl. 221 : A 175 m environ de la "Fosse à plomb", direction sud-est, le long de la petite route, dans les fourrés. Affleurement de roche calcaire (sans doute le niveau stérile exploité), subhorizontal. La direction des couches est de $N30^{\circ}E$, leur inclinaison est inférieure à $10^{\circ}N$. Il faut noter également à 35 m au sud-ouest un affleurement de calcaire, direction $N70^{\circ}E$, inclinaison $30^{\circ}N$.

Affl. 222 : Doline et aiguigeois à 200 m au nord-est de la "Fosse à plomb". Au nord de cette doline, des schistes affleurent dans le ruisseau. Leur direction est $N70^{\circ}E$ et leur inclinaison $40^{\circ}N$. Le contact entre ces schistes et les calcaires ne doit pas être fort éloigné. Dans la partie sud de la doline affleurent quelques roches calcaires.

Affl. 223 : Talus aux alentours de la "Chapelle Notre-Dame-de-Walcourt". Affleurement de schistes fort noduleux, ce qui laisse supposer que nous sommes dans le niveau décrit à l'affleurement 215. Il est intéressant de remarquer que nous ne sommes pas du point de vue géométrique dans le prolongement des couches de l'affleurement 215. La direction des couches est de $N53^{\circ}E$, leur inclinaison de $40^{\circ}S$. Plusieurs directions de schistosité apparaissent.

Affl. 224 : Lieu-dit "le Pierreux", camping-caravanes. La densité des propriétés privées et des caravanes chalets restreint le domaine d'investigation. Quelques affleurements de calcaire dans des excavations creusées pour construire des garages retiennent l'attention. Le calcaire est à organismes assez fins ressemblant fort au calcaire surmonté par des bancs stériles. La direction des couches varie de N70°E à N80°E, leur inclinaison de 30°S à 35°S.

A l'extrême nord du terrain affleurent des schistes cartographiés comme Famennien. Ce sont les seules roches d'âge Famennien rencontrées sur le terrain. Ce sont des schistes verts, en menu débris avec quelques rangées blanchâtres et rougeâtres de nodules grésiformes très fossilifères. On y rencontre des rhynchonellidés.

3.3 Interprétation

La figure 2 montre l'interprétation du levé lithostratigraphique quant au tracé des contacts entre les schistes et les calcaires, y compris les dolomies.

Au voisinage de la "Chapelle Notre-Dame-de-Walcourt", le contact se perd en affleurement et se retrouve une centaine de mètres plus au nord. Les schistes noduleux décrits aux points 215 et 223 sont situés dans le même niveau lithostratigraphique, mais ces couches ne sont pas dans le prolongement l'une de l'autre, compte tenu de la topographie.

Une explication plausible du manque de continuité de ces couches serait l'existence d'une *faille* qu'on pourrait tracer avec une orientation NW-SE, parallèlement à la galerie principale de la mine qui précisément poursuit le filon. La partie orientale du pli semble former le "downthrow side" et elle paraît s'être affaissée. Le rejet stratigraphique est d'environ 60 m.

Cette hypothèse, soulevée par le caractère même des affleurements, est soutenue par la découverte de brèches de faille minéralisées, dans l'ancien terril d'exploitation, le long de la route N 29, près de l'entrée de la galerie d'écoulement sur le talus de la même route.

3.4 Conclusions

En plus des informations obtenues à partir de la carte géologique officielle et des plans de l'ancienne exploitation minière, le levé lithostratigraphique a apporté :

- le tracé du contact schiste-calcaire du sud de la zone étudiée avec une évidence de faille minéralisée
- une partie du contact schiste-calcaire sur le flanc nord de l'anticlinal (contact néanmoins tracé avec imprécision)
- des affleurements datés du Famennien, à l'extrême nord-ouest de la surface étudiée (le contact Frasnien-Famennien a été tracé d'après les profils de la carte géologique officielle).

Ainsi, les résultats du levé effectué permettent de préciser les buts énoncés dans l'introduction et de déterminer suivant une logique lithostratigraphique et minière l'orientation et la maille du réseau d'échantillonnage pédogéochimique.

4. Pédogéochimie

4.1 Mode d'échantillonnage

Nous avons prélevé 238 échantillons de sols sur une surface de 850 m x 450 m. Treize profils ont été tracés parallèlement à la direction approximative de la galerie principale de la mine qui suit sur toute sa longueur le filon minéralisé (Fig. 6). Ces profils sont distants entre eux de 50 mètres. Nous avons choisi un pas égal à 25 m au lieu de 50 m à l'aplomb du filon. Nous avons tracé 22 profils perpendiculaires aux premiers. On a respecté l'équidistance de 50 m, sauf à l'approche des contacts schistes-roches carbonatées, où un pas de 25 m a été également pris.

Les échantillons de sols ont été prélevés et recueillis au moyen d'une tarière, à une profondeur variant de 25 à 50 cm, soit le plus possible dans l'horizon B, plus riche en colloïdes inorganiques.

4.2 Méthodologie analytique

Ramenés au laboratoire, les échantillons de sols sont d'abord séchés pendant 24 heures à une température de 60°C environ. Les sols sont ensuite traités dans un creuset pour détruire les éventuels agrégats afin de dissocier le plus possible les grains entre eux.

Les échantillons sont ensuite tamisés. La fraction fine passant au travers d'un tamis de 80 mesh contient principalement les colloïdes inorganiques (argiles, hydroxydes de fer et de manganèse, ...). Elle est retenue pour l'analyse.

Pour mettre en solution les échantillons tamisés, nous avons employé l'attaque acide qui permet une extraction totale des éléments métalliques étudiés. La méthode de mise en solution pour le dosage des éléments en traces dans les sols a été décrite par SONDAG, LECOMTE et MARTIN (1972). Rappelons brièvement le mode opératoire utilisé :

Un gramme d'échantillon est pesé dans un bécher en téflon. On ajoute ensuite 3 ml d'HCl concentré, 2 ml d'HNO₃ fumant et 1 ml d'HF à 40 %. Le tout est évaporé sur une plaque chauffante (150°C) et le résidu est repris avec 10 ml d'HCl 10 %, au lieu de 8 ml d'HClO₄, préconisé par SONDAG, LECOMTE et MARTIN (1972), et porté à 25 ml dans un flacon jaugé. La partie insoluble est séparée par centrifugation et le liquide surnageant contenant les éléments en traces métalliques mis en solution est retenu pour l'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique.

4.3 Traitement des données

Nous avons analysé les 238 échantillons de sols pour les teneurs en fer, cuivre, plomb, zinc, cobalt, nickel et manganèse. Les 1666 résultats des analyses sont montrés au tableau III.

Des traitements statistiques relativement simples (histogramme, droite de probabilité des fréquences cumulées, corrélation) mais comprenant, pour chaque élément étudié un grand nombre de données, sont effectués avec l'aide de l'ordinateur IBM 370 de l'Université de Louvain.

A chacun des 238 échantillons de sol recueillis, correspond une carte perforée dans laquelle sont consignés le numéro, les caractères géologiques et pédologiques indicés ainsi que les teneurs en fer, cuivre, plomb, zinc, cobalt, nickel et manganèse.

43.1 Distribution de fréquence

Les histogrammes et les droites de fréquences cumulées ne comprennent pas les teneurs très élevées en plomb et en zinc. Ainsi, les valeurs supérieures à 200 ppm de plomb et à 500 ppm de zinc sont écartées pour le traitement statistique ; ceci permet une meilleure résolution des histogrammes et des droites de fréquences cumulées pour le reste des valeurs.

Les populations traitées statistiquement en plomb et en zinc comprennent respectivement 209 et 212 échantillons sur un total de 238.

Zone "minéralisée"

Les droites de probabilité de fréquences cumulées (Fig. 7) montrent que les distributions de teneurs en *plomb* et en *zinc* présentent une allure bimodale. Elles suggèrent l'existence de deux sous-populations distinctes. En séparant les résultats suivant une valeur limite prise au milieu du segment de droite situé entre les deux ruptures de pente (LEPELTIER, 1969), il est possible de discriminer les deux sous-populations, pour le plomb et le zinc. A la figure 7, on peut voir que les valeurs limites ainsi déterminées sont égales respectivement à 132 ppm pour le plomb et à 251 ppm pour le zinc. Ces deux isoteneurs limites ont été cartographiées à la figure 8. Les surfaces "minéralisées" qu'elles circonscrivent comprennent les échantillons de teneurs supérieures à 132 ppm pour le plomb et 251 ppm pour le zinc, y compris les échantillons qui avaient été écartés a priori du traitement statistique pour leurs trop hautes teneurs.

On a défini comme zone "minéralisée" celle qui correspond à l'ensemble des 62 échantillons compris dans les surfaces "minéralisées" en plomb et en zinc. La limite de cette zone "minéralisée" est reportée en traits interrompus aux figures 8 et 9. On peut déjà remarquer que la zone "minéralisée" des sols comprend la trace en surface du filon exploité, un prolongement vers le nord-ouest d'environ 400 m présentant une discontinuité au lieu-dit "Aux Minières", ainsi qu'une extension latérale vers le sud-ouest.

Il n'a pas été possible de déterminer par analyse discriminante l'isoteneur limite des teneurs en *fer* distinguant la population "minéralisée" de la population "non minéralisée". La distribution de fréquences des teneurs en fer est complexe à cause probablement de sa nature polymodale. D'autre part, comme le filon

exploité comprend d'importantes quantités de pyrite, on pourrait s'attendre à ce que les teneurs en fer des sols au voisinage de l'ancienne exploitation soient plus élevées qu'ailleurs. C'est ce qui apparaît à la figure 8, où a été cartographiée l'isoteneur de 3,5% en fer. En se référant à la limite en traits interrompus de la zone "minéralisée", on peut estimer que cette limite de 3,5 % délimite cette zone "minéralisée" du reste de la zone prospectée. Les distributions du fer, comme celles du cobalt, du nickel et du manganèse en dehors de la zone minéralisée seront analysées lors du traitement des échantillons non minéralisés.

Bien que VAN WAMBEKE (1955) signale la présence de chalcopryrite dans le minerai, on n'a observé aucun enrichissement en *cuivre* dans les sols au voisinage de la minéralisation reconnue.

Zone "non minéralisée"

Rappelons que la zone "non minéralisée" comprend les échantillons (N = 176) de sol dont les teneurs en plomb et en zinc sont respectivement inférieures à 132 et 251 ppm. Ces 176 échantillons ont été groupés, sans à priori, suivant leurs teneurs en fer, cuivre, plomb, zinc, cobalt, nickel et manganèse, également par analyse discriminante à partir des histogrammes et des droites de probabilité de fréquences cumulées. Un exemple en est donné pour le *nickel* à la figure 7 où on peut remarquer que la distribution des teneurs en nickel, pour les échantillons "non minéralisés" est de nature bimodale. Deux groupes d'échantillons, l'un de valeurs "hautes" et l'autre de valeurs "basses" peuvent être distingués dans la zone prospectée. Ils sont séparés (LEPELTIER, 1969) par l'isoteneur limite de 45 ppm en nickel laquelle est cartographiée à la figure 9. On peut y constater que cette isoteneur délimite plusieurs surfaces. L'une de ces surfaces se situe vers le bord nord-ouest de la zone prospectée, là où affleurent principalement des schistes d'âge Famennien (Fig. 2). La deuxième surface importante de valeurs "hautes" en nickel se situe au bord sud-est du terrain étudié. Elle est traversée en son

milieu par la trace en surface du filon exploité et s'étale vers le nord-est et le sud-ouest à un endroit où la pente topographique est très forte.

Des surfaces approximativement analogues à celles du nickel sont obtenues pour le *fer* et le *cobalt* (Fig. 9). Les isoteneurs limites séparant les surfaces de valeurs "hautes" des surfaces de valeurs "basses" ont pu également être déterminées suivant la technique de LEPELTIER (1969) à partir des droites de fréquences cumulées. Ces isoteneurs valent respectivement 3,5 % pour le fer et 27 ppm pour le cobalt. Il en est de même pour le *manganèse* avec cependant la disparition de la surface de valeurs hautes au coin nord-ouest de la région étudiée.

Il sera discuté par après si l'enrichissement des sols en nickel, fer, cobalt et manganèse est la manifestation d'un effet primaire lié à la minéralisation sous-jacente ou bien d'un effet secondaire d'ordre pédogénétique. Les distributions des teneurs en *plomb*, en *zinc*, en *cuivre* et en *manganèse* des sols situés dans la zone "non minéralisée" sont de nature unimodale et d'allure lognormale.

43.2 Corrélation entre éléments métalliques

On doit tenir compte de la loi de distribution des variables pour pouvoir effectuer certains traitements statistiques comme le calcul des coefficients de corrélation. En effet, ces calculs ne peuvent être faits qu'avec les valeurs de la variable qui présentent une distribution normale. C'est pourquoi si ces teneurs se distribuent suivant la loi lognormale, ces calculs de corrélation doivent être faits avec les logarithmes des teneurs.

Le seuil de signification (ρ_0) des coefficients de corrélation calculé suivant la loi de Student (DIXON & MASSEY, 1957) dépend du nombre de données. Ainsi, le seuil de signification au niveau de probabilité de 99 % pour la "zone minéralisée" (N = 62) s'élève à 0,33 et pour la "zone non minéralisée" (N = 176) à

0,19. Pour mieux apprécier la force des coefficients de corrélation significatifs, de nombreux auteurs comme par exemple LE MARECHAL et TEIL (1973) les classent en coefficients faibles, moyens et forts. Ce classement des coefficients est établi à partir de l'intervalle du seuil de signification et de la valeur la plus haute du coefficient. Comme lors de la discussion des résultats, il sera utile de comparer les coefficients de corrélation des zones "minéralisée" et "non minéralisée" d'effectif différent, nous avons préféré grouper les coefficients de corrélation en trois classes arithmétiques dans l'intervalle $1 - \rho_0$ (Tableaux I et II).

Zone "minéralisée"

Les coefficients de corrélation calculés sur la base des échantillons minéralisés sont montrés au tableau I.

TABLEAU I

Matrice des coefficients de corrélation entre les teneurs en éléments métalliques pour la zone "minéralisée" (N = 62 ; seuil de signification à 99 % ; 0,33)

	Fer	Cuivre	Plomb	Zinc	Cobalt	Nickel	Manganèse
Fer	1,00						
Cuivre	0,46*	1,00					
Plomb	0,59**	0,10	1,00				
Zinc	0,62**	0,28	0,91***	1,00			
Cobalt	0,33*	0,61**	-0,03	0,15	1,00		
Nickel	0,37*	0,71**	-0,05	0,17	0,82***	1,00	
Manganèse	0,55*	0,48*	0,36*	0,55*	0,54*	0,65**	1,00

*** : forts, de 0,79 à 1,00

** : moyens, de 0,56 à 0,78

* : faibles, de 0,33 à 0,55

Les coefficients de corrélation indiquent les covariations des éléments. Le *plomb* et le *zinc* sont fortement corrélés positivement. Etant donnée la minéralisation sous-jacente en galène et en blende dans la zone appelée "minéralisée", on devait s'attendre à cette forte liaison entre le plomb et le zinc. Les coefficients de corrélation entre, d'une part, le *fer* et, d'autre part, le zinc et le plomb sont faiblement moyens. Etant donné que la mine de Heure contient aussi des quantités importantes de pyrite, il est étonnant que les trois éléments plomb-zinc-fer ne soient pas fortement associés dans les sols surincombants.

Les corrélations, comme les distributions de fréquences et les cartes d'isoteneurs, montrent que la minéralisation en pyrite, galène, blende et chalcopryrite se manifeste fortement dans les sols par leurs teneurs en plomb et en zinc, de manière moyenne par le fer et pas du tout par le *cuivre*.

Si la relation entre les teneurs en plomb, en zinc et en fer dans les sols et ces mêmes teneurs dans la roche sous-jacente ne semble pas être perturbée par les conditions physico-chimiques (pH, Eh, ...) régnant dans les sols, il n'en est sans doute pas de même pour le *cuivre*.

La forte corrélation entre le *cobalt* et le *nickel* ainsi que la corrélation significative de tous les éléments avec le fer et le *manganèse* seront commentées lors de la discussion des coefficients de corrélation entre les teneurs dans la zone "non minéralisée".

Zone "non minéralisée"

Les coefficients de corrélation entre les teneurs d'éléments dans la zone "non minéralisée" sont repris au tableau II.

TABLEAU II

Matrice des coefficients de corrélation entre les teneurs en éléments métalliques pour la zone "non minéralisée" (N = 176 ; seuil de signification à 99 % : 0,19)

	Fer	Cuivre	Plomb	Zinc	Cobalt	Nickel	Manganèse
Fer	1,00						
Cuivre	0,49**	1,00					
Plomb	0,17	0,23*	1,00				
Zinc	0,49**	0,30*	0,70**	1,00			
Cobalt	0,88***	0,46**	0,16	0,42*	1,00		
Nickel	0,95***	0,50**	0,01	0,44*	0,92***	1,00	
Manganèse	0,46**	0,35*	0,51**	0,38*	0,50**	0,42*	1,00

*** : forts, de 0,73 à 1,00

** : moyens, de 0,46 à 0,72

* : faibles, de 0,19 à 0,45

L'influence de la minéralisation filonienne de Heure sur la teneur en éléments métalliques dans les sols de la zone "non minéralisée" n'est plus prépondérante. De très fort (0,91), le coefficient de corrélation entre le *plomb* et le *zinc* est devenu moyen (0,70). De plus, le plomb qui était corrélé au fer suivant un coefficient moyen (0,59) dans la zone minéralisée ne l'est plus du tout (0,17) en dehors de cette zone.

Le résultat dominant montré au tableau II est l'apparition dans la zone "non minéralisée" de la très forte corrélation entre le *fer*, le *cobalt* et le *nickel* à laquelle il faut ajouter la corrélation moyenne entre, d'une part, le fer et, d'autre part, le *cuivre*, le *zinc* et le *manganèse*.

Ces corrélations ne sont pas surprenantes car elles traduisent des associations géochimiques connues dans les sédiments argileux. Elles sont explicables pour les corrélations significatives entre le fer, le cobalt, le nickel, le zinc et le manganèse par

l'affinité que possèdent ces cinq éléments pour les sites octaédriques. Deux éléments en traces présentent une corrélation positive s'ils ont coprécipité ou s'ils ont été adsorbés sous la même forme chimique (TREUIL et al., 1970). Des études de cinétique de dissolution d'échantillons de sols riches en cuivre ont montré que le cuivre fait partie d'une phase amorphe d'aluminium et de fer (WARNANT, 1975). Nous trouvons donc à Heure une confirmation de ce qui commence généralement à être observé à savoir que ce sont les hydroxydes de fer plutôt que les argiles qui sont les principaux fixateurs des éléments en traces métalliques dans les sols dépourvus de matière organique (LOGANATHAN & BURAU, 1973 ; LECOMTE, SONDAG & MARTIN, 1975). A l'exception des corrélations qui concernent le plomb, les autres corrélations significatives du tableau II sont sans doute de nature transitive dont l'explication est la corrélation significative de tous les éléments avec le fer.

5. Discussion des résultats

Les résultats sont discutés d'une part en liaison avec la minéralisation filonienne de Heure-en-Famenne, et d'autre part en relation avec la lithostratigraphie de la zone "non-minéralisée". Les effets éventuels de l'environnement secondaire sur la distribution des teneurs en traces dans les sols, comme le type de sol et la topographie, seront commentés dans chaque partie.

5.1 Pédogéochimie et minéralisation

L'objectif principal de ce travail a été d'ordre méthodologique. Il s'agissait de détecter et de définir l'influence d'une minéralisation en galène, en blende et en pyrite dans les sols surincombants, à substrat calcaréo-schisteux. Il semble que cet objectif ait été atteint en ce qui concerne la distribution du plomb et du zinc dans les sols au voisinage de la

minéralisation de Heure.

La présence de deux ruptures de pente dans les droites de probabilité de fréquences cumulées (Fig. 7) traduit l'existence de deux populations distinctes, tant pour les teneurs en plomb que pour celles en zinc. La forte corrélation entre le zinc et le plomb (Tableau I) indique que la population des hautes teneurs en ces deux éléments est liée à la minéralisation sous-jacente en galène et en blende.

L'analyse discriminante (Fig. 7) a permis de déterminer les isoteneurs limites de ces deux populations en plomb et en zinc, lesquelles ont été cartographiées à la figure 8. La distribution des teneurs en plomb et en zinc supérieures aux isoteneurs limites respectives de 132 et 251 ppm définissent géographiquement une zone "minéralisée" de sols qui subit l'influence du filon de Heure. Or, d'une part, on connaît d'après les plans miniers (Fig. 4) la position dans l'espace du filon exploité et d'autre part, le levé lithologique a permis de situer en surface la position, la direction et l'extension de la faille à laquelle est liée la minéralisation (Fig. 2). Dès lors, on a pu délimiter en surface le *tracé du filon exploité*. On peut voir (Fig. 10) que celui-ci est compris dans la zone "minéralisée", à l'exception d'une centaine de mètres à l'extrémité sud-est du filon. Dans sa plus grande partie, la minéralisation, exploitée à plus de trente mètres de profondeur, se manifeste en surface par une auréole de dispersion en plomb et en zinc dans des sols à substrat calcaréo-schisteux. Les figures 8 et 9 montrent que la zone "minéralisée" se trouve partiellement enrichie en fer, en manganèse, en nickel et en cobalt. L'accroissement de teneur en fer dans les sols au voisinage de l'ancienne exploitation minière se comprend par la présence de pyrite dans le corps minéralisé. Plus encore que les coefficients de corrélation (Tableau I), les surfaces "minéralisées" qui se correspondent géographiquement à l'aplomb du filon dans sa partie nord-ouest (Fig. 8 et 9) montrent que les augmentations de teneurs en manganèse, en nickel et en cobalt peuvent s'expliquer par l'association pédogénétique de ces éléments avec le fer.

Comme on l'a souligné plus haut, l'extrémité sud-est de la trace du filon "minéralisé" n'est pas compris dans la zone "minéralisée". La figure 10 montre que cette partie non minéralisée correspond à une *forte pente topographique*. Les sols y sont très minces et la roche en place affleure. L'érosion s'y manifeste de façon intense et les sols sont constamment renouvelés.

On peut voir à la figure 10 que la zone "minéralisée" se prolonge sur une longueur d'environ 400 m, dans des sols développés à partir de schistes datés du Frasnien, dans la même direction de la trace en surface du filon exploité. De plus, toujours dans la même direction, après une discontinuité d'une centaine de mètres environ, on retrouve une zone minéralisée d'environ 100 mètres de côté, dont les sols correspondent à des schistes datés du Famennien. Si l'on se base sur la relation géographique étroite entre les teneurs en plomb et en zinc des sols "minéralisés" et le filon exploité, on peut émettre l'*hypothèse d'une extension de la minéralisation en blende et en galène sur une distance d'environ 600 m vers le nord-ouest*. On remarque aussi (Fig. 10) une extension de la zone minéralisée vers le sud-ouest. Cela se marque surtout par l'auréole de dispersion du zinc dans les sols. On pourrait en trouver une explication par l'existence d'un filon ou d'une apophyse filonienne parallèle au filon exploité. L'auréole de dispersion du plomb et du zinc dans les sols calcaréo-schisteux de Heure semble moins étendue qu'à Longvilly (SONDAG, LECOMTE et MARTIN, 1972) où l'on observe aussi une dispersion d'éléments en traces métalliques dans des sols schisteux au voisinage d'une minéralisation plombo-zincifère. Le zinc est réputé plus mobile que le plomb (SONDAG, DENUDT et MARTIN, 1974). L'auréole de dispersion de cet élément dans les sols de Heure confirme ce fait.

Enfin, la figure 10 montre une surface anormale négative en plomb et en zinc. Elle correspond étroitement à un type de sol (AbB) développé à partir d'un placage limoneux, à proximité du filon exploité. Seuls les échantillons prélevés en bordure de ce recouvrement loessique semblent subir une influence du filon exploité. *On trouve ainsi une confirmation du rôle d'écran géochimique que joue du matériel d'origine allochtone représenté ici par du limon loessique. Les sols non résiduels qui s'y développent oblitèrent la minéralisation sous-jacente.*

5.2 Pédogéochimie et lithostratigraphie

L'analyse discriminante met en évidence une distribution bimodale des teneurs en nickel (Fig. 7), en fer et en cobalt dans les sols résiduels de la zone "non minéralisée". Les isoteneurs limites séparant la population de hautes valeurs et celle de basses valeurs sont égales à 45 ppm pour le nickel, à 27 ppm pour le cobalt et à 3,5 % pour le fer. Elles ont été cartographiées aux figures 8 et 9.

Pour ces trois éléments, la population de hautes teneurs se répartit en petites zones qui ne coïncident pas toujours. Par contre, il existe deux grandes surfaces de hautes teneurs en nickel, en fer et en cobalt, supérieures à leurs isoteneurs limites respectives, dont les distributions géographiques correspondent étroitement. En raison de cette coïncidence géographique et aussi parce que l'analyse discriminante du nickel est plus précise que celle du fer et du cobalt, on a choisi de cartographier à la figure 11 l'isoteueur limite du nickel (45 ppm).

Le contact Frasnien-Famennien, repris d'après la carte géologique officielle et confirmé par un levé détaillé, coïncide avec cette isoteneur limite du nickel (Fig. 11), au nord-ouest de la région prospectée. L'une des deux grandes surfaces enrichies en nickel, en fer et en cobalt située au bord nord-ouest du terrain étudié correspond à des sols sur schistes d'âge Famennien (Zone A, Fig. 11).

On pourrait admettre que les sols de cette surface sont plus concentrés en nickel, en fer et en cobalt parce que les schistes Famenniens sous-jacents ont des teneurs plus élevées en ces éléments. Par contre, il se pourrait aussi que la distinction chimique entre les schistes d'âge Frasnien et Famennien se base uniquement sur une différence de teneurs en fer. Dans ce dernier cas, l'augmentation des teneurs en nickel et en cobalt dans les sols sur schistes Famenniens par rapport aux sols sur schistes Frasnien serait alors due à un effet pédogénétique. Le fer en plus grande quantité précipiterait alors plus de nickel et de cobalt, même si leurs teneurs étaient les mêmes dans les roches des deux zones lithostratigraphiques délimitées par la géochimie.

En réalité, les phénomènes sont beaucoup plus complexes et ne peuvent pas uniquement être expliqués par ces seules suppositions. La distribution de ces éléments dans la zone "non minéralisée" est sans doute la manifestation des effets résonnants de plusieurs facteurs : minéralisation, stratigraphie et pédogenèse.

En premier lieu, il ne faut pas négliger le rôle joué par la minéralisation. Les effets de la minéralisation filonienne de Heure sont marquants dans la zone que nous avons décrite comme "minéralisée". Mais il est évident que son action sur la distribution des éléments métalliques se prolonge implicitement en dehors de cette zone et dans son prolongement, par exemple dans les sols du nord-ouest de la région prospectée.

En second lieu, il faut souligner la différence du milieu entre les étages Frasnien et Famennien. La sédimentation principalement calcaire est interrompue à la fin du Frasnien par un retour d'une sédimentation terrigène, le Famennien. Tout comme à ce concept général de géosynclinal qu'à une échelle plus locale, cette différence subsiste et peut se traduire par des conditions de milieu différentes (pH, Eh, ...).

L'abondance de fer au nord-ouest de la région prospectée pourrait alors s'expliquer par cette variation de milieu. Du fer en forte concentration, lié directement au prolongement de la minéralisation dans le Famennien, rencontrerait un milieu nettement plus acide, plus apte à favoriser sa mobilisation. Le fer plus mobile dans les schistes Famenniens pourrait précipiter en grande quantité dans les sols surincombants et les enrichir en nickel et en cobalt par coprécipitation. Cette coprécipitation pédogénétique contribue à la forte corrélation (Tableau II) calculée pour les couples fer-nickel, fer-cobalt et nickel-cobalt.

La limite cartographiée à la figure 11 serait en réalité une limite entre deux milieux, dont les caractéristiques de l'un seraient de mobiliser préférentiellement certains éléments métalliques issus d'un prolongement de la minéralisation. Comme ces deux milieux, dans le prolongement de la zone "minéralisée", correspondent à deux étages géologiques, leurs limites coïncident avec la stratigraphie.

La deuxième surface (Zone B, Fig. 11) enrichie en fer, cobalt et nickel en dehors de la zone "minéralisée" correspond à des sols développés à partir de schistes d'âge Frasnien. La limite à son bord nord coïncide avec le contact schistes-calcaires d'âge Frasnien. La proximité du corps minéralisé semble se faire sentir préférentiellement dans les schistes par une mobilisation plus grande du fer que dans les sédiments calcaires.

6. Conclusions

En relation avec une faille existe un filon minéralisé. Des anomalies significatives en plomb et en zinc ont été trouvées dans les sols résiduels à l'aplomb et de part et d'autre de la minéralisation de pyrite et de galène exploitée. Ce filon principal pourrait se poursuivre vers le nord-ouest, au-delà des limites de l'ancienne exploitation. Une apophyse filonienne pourrait se retrouver parallèlement à la minéralisation principale.

Une zone enrichie en *fer, cobalt* et *nickel* caractérise l'extrême nord-ouest de la zone prospectée et correspondrait à des sols surincombant des schistes datés du Famennien. Ceux-ci, de caractère plus acide, favoriseraient une mobilisation, vers la surface, du fer issu de la minéralisation et une coprécipitation pédogénétique du cobalt et du nickel.

Le rôle d'écran joué par le recouvrement loessique (sol non résiduel) confirme le fait que les sols étudiés doivent être résiduels si on veut se servir de la distribution des éléments en traces dans les sols comme traceurs géologiques et miniers de la roche mère sous-jacente.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le FONDS DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE ET COLLECTIVE pour son soutien à cette recherche. L. de WALQUE bénéficiait d'un mandat de stagiaire de recherches au FONDS NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

BIBLIOGRAPHIE

- COEN, M., 1974.- Le Frasnien de la bordure orientale du bassin de Dinant. Ann. Soc. Géol. de Belgique, t. 97, pp. 67-103.
- DIXON, W.J. and MASSEY, F.J., 1957.- Introduction to statistical analysis. Mc Graw-Hill Cie, New-York, Toronto, London, 488 pp.
- de FERRARIS, J., 1777.- Mémoires historiques, chronologiques et oeconomiques (commentaires n° Y 10 de la feuille n° 156 Heure). Réédition Bibliothèque Royale de Belgique et Editions Pro Civitate, Bruxelles, 1965.
- GRANIER, C.L., 1973.- Introduction à la prospection géochimique des gîtes métallifères. Masson et Cie Ed., 143 pp.
- HAWKES, H.E. et WEBB, J.S., 1962.- Geochemistry in mineral exploration. Harper and Row Ed., New-York, N.Y., 415 pp.
- LECOMTE, P., SONDAG, F. et MARTIN, H., 1975.- Geochemical soil surveys over Cambrian and Lower Devonian formations in the Belgian Ardennes as a tool for geologic mapping. J. Geochem. Exploration (sous presse).
- LE MARECHAL, A. et TEIL, H., 1973.- Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques des sources thermominérales du Cameroun. Cah. ORSTOM, sér. Géol., vol. V, n° 2, pp. 217-234.
- LEPELTIER, C., 1969.- A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. Econ. Geol., 64, pp. 538-550.
- LOGANATHAN, P. and BURAU, R.G., 1973.- Sorption of heavy metals ions by a hydrous manganese oxyde. Geochim. et Cosmochim. Acta, 37, pp. 1277-1293.
- MARECHAL, R., 1957.- Texte explicatif de la planchette de Maffe 168 W. Edité sous les auspices de l'Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.), 84 pp.

- SONDAG, F., DENUDT, G. et MARTIN, H., 1974.- Prospection du zinc et du cuivre dans les sols et les plantes au voisinage de l'ancienne mine de Longvilly près de Bastogne (Belgique). Accumulation de zinc chez *Taraxacum officinale*. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 279, série D, pp. 219-222.
- SONDAG, F., LECOMTE, P. et MARTIN, H., 1972.- Détection du filon de galène dans la mine de Longvilly (Bastogne) par la géochimie de surface. Distribution du plomb et du cuivre dans les sols et cartographie de leurs isote-neurs. Ann. Soc. Géol. de Belgique, t. 95, pp. 413-424.
- TREUIL, M., FAUCHERRE, J. et MACQUAR, J.C., 1970.- Contribution à l'étude du comportement géochimique de quelques éléments métalliques dans la sédimentogenèse. Mineral. Deposita (Berl.) 5, pp. 1-22.
- VAN WAMBEKE, L., 1955.- La minéralisation des tonalites de la Helle et de Lammersdorf et leurs relations avec les autres minéralisations. Bull. Soc. belg. Géol., t. LXIV, pp. 534-581.
- WARNANT, P., 1975.- Thèse de Doctorat. Université de Louvain (en préparation).

TABLEAU III
MATRICE DES DONNEES INITIALES

NUMERO	FER (%)	CUIVRE (PPM)	PLOMB (PPM)	ZINC (PPM)	COBALT (PPM)	NICKEL (PPM)	MANGANESE (PPM)
JDL001	4.14	14.	53.	122.	32.	54.	795.
JDL002	4.23	17.	51.	187.	32.	59.	762.
JDL003	3.34	14.	40.	119.	28.	51.	376.
JDL004	3.89	19.	45.	138.	30.	54.	403.
JDL005	3.97	19.	56.	128.	31.	54.	865.
JDL006	3.65	22.	71.	152.	30.	51.	610.
JDL007	3.83	23.	88.	130.	32.	54.	837.
JDL008	3.03	16.	54.	133.	24.	40.	692.
JDL009	2.08	10.	64.	164.	19.	29.	329.
JDL010	2.91	12.	152.	402.	21.	34.	448.
JDL011	1.93	10.	51.	102.	19.	29.	271.
JDL012	3.52	18.	47.	133.	30.	51.	568.
JDL013	3.52	16.	45.	114.	29.	52.	484.
JDL014	3.01	15.	46.	107.	26.	47.	384.
JDL015	3.59	15.	48.	116.	26.	49.	492.
JDL016	3.09	35.	45.	97.	27.	49.	610.
JDL017	2.98	13.	78.	119.	24.	38.	588.
JDL018	2.47	9.	144.	232.	22.	30.	453.
JDL019	3.48	15.	312.	508.	26.	35.	622.
JDL020	1.87	10.	60.	111.	18.	24.	401.
JDL021	2.24	17.	60.	95.	24.	35.	545.
JDL022	1.91	11.	38.	92.	18.	29.	273.
JDL023	4.20	21.	34.	127.	34.	57.	385.
JDL024	3.31	15.	35.	110.	28.	46.	381.
JDL025	3.16	13.	34.	90.	29.	48.	710.
JDL026	2.56	14.	70.	115.	24.	35.	603.
JDL027	3.21	19.	69.	116.	27.	47.	701.
JDL028	2.53	20.	77.	142.	20.	39.	555.
JDL029	4.31	18.	590.	736.	27.	42.	766.
JDL030	3.57	14.	396.	555.	20.	32.	597.
JDL031	6.99	34.	626.	1315.	26.	35.	618.
JDL032	2.55	33.	67.	150.	20.	31.	605.
JDL033	2.23	25.	53.	106.	21.	30.	492.
JDL034	1.78	27.	40.	87.	18.	27.	253.
JDL035	2.64	30.	52.	128.	22.	38.	253.
JDL036	3.13	30.	57.	172.	27.	45.	550.
JDL037	2.54	30.	42.	123.	25.	39.	470.
JDL038	3.95	27.	78.	161.	28.	54.	978.
JDL039	4.16	19.	404.	409.	17.	45.	1363.
JDL041	4.10	42.	180.	348.	30.	54.	1007.

NUMERO	FER (%)	CUIVRE (PPM)	PLOMB (PPM)	ZINC (PPM)	COBALT (PPM)	NICKEL (PPM)	MANGANESE (PPM)
JDL042	3.93	32.	715.	774.	26.	38.	735.
JDL043	8.71	37.	650.	1191.	30.	43.	1172.
JDL044	2.91	32.	101.	276.	21.	32.	433.
JDL045	3.62	25.	32.	80.	27.	57.	1554.
JDL046	1.85	25.	55.	99.	18.	28.	282.
JDL047	2.55	26.	54.	92.	20.	37.	513.
JDL048	3.48	26.	69.	112.	26.	48.	943.
JDL049	3.89	32.	97.	157.	27.	55.	990.
JDL051	2.86	22.	124.	227.	22.	38.	585.
JDL052	4.95	27.	788.	1015.	28.	48.	1159.
JDL053	4.28	29.	164.	399.	30.	52.	698.
JDL054	4.53	26.	67.	206.	30.	55.	836.
JDL055	4.32	16.	42.	123.	31.	52.	615.
JDL056	2.49	18.	44.	102.	18.	32.	327.
JDL057	3.45	18.	40.	112.	23.	44.	470.
JDL058	4.39	25.	115.	198.	38.	56.	1321.
JDL059	2.83	18.	45.	121.	31.	43.	533.
JDL060	8.13	26.	626.	1840.	33.	56.	1612.
JDL061	3.62	23.	337.	577.	26.	43.	875.
JDL062	4.45	47.	76.	274.	33.	58.	761.
JDL063	4.17	75.	56.	179.	30.	60.	712.
JDL064	2.73	18.	72.	167.	25.	39.	434.
JDL065	3.67	23.	43.	162.	28.	53.	355.
JDL066	2.78	14.	62.	130.	26.	41.	702.
JDL067	3.19	21.	73.	169.	25.	47.	632.
JDL068	2.25	17.	77.	172.	20.	35.	594.
JDL069	2.83	15.	66.	127.	25.	40.	532.
JDL070	3.29	25.	130.	300.	26.	47.	684.
JDL072	3.59	22.	146.	265.	29.	45.	647.
JDL073	2.81	19.	73.	148.	29.	41.	402.
JDL074	2.51	16.	50.	104.	24.	34.	433.
JDL075	3.57	21.	97.	211.	28.	48.	668.
JDL076	3.52	25.	54.	126.	32.	51.	680.
JDL077	2.88	17.	68.	155.	25.	40.	539.
JDL079	3.79	22.	86.	160.	28.	52.	865.
JDL080	2.18	12.	46.	78.	24.	31.	701.
JDL081	2.81	23.	78.	162.	25.	46.	647.
JDL082	3.52	27.	121.	323.	28.	53.	611.
JDL083	4.73	37.	130.	568.	30.	66.	966.
JDL084	4.85	28.	270.	668.	29.	55.	1357.
JDL085	2.73	14.	69.	124.	22.	35.	450.
JDL086	2.10	15.	395.	810.	23.	32.	353.
JDL087	2.34	17.	53.	124.	19.	35.	446.
JDL088	2.21	13.	37.	95.	14.	29.	414.
JDL089	2.74	17.	48.	131.	23.	41.	515.
JDL090	1.89	11.	36.	72.	22.	27.	547.
JDL091	2.01	15.	48.	97.	19.	29.	434.
JDL092	4.82	41.	74.	444.	23.	73.	969.
JDL093	3.40	20.	417.	449.	26.	46.	810.
JDL094	2.23	12.	38.	66.	22.	30.	562.

NUMERO	FER (%)	CUIVRE (PPM)	PLOMB (PPM)	ZINC (PPM)	COBALT (PPM)	NICKEL (PPM)	MANGANESE (PPM)
JDL095	3.04	15.	44.	80.	20.	36.	492.
JDL096	2.71	18.	79.	221.	21.	41.	673.
JDL097	5.55	33.	180.	694.	28.	73.	1144.
JDL098	2.51	17.	85.	189.	22.	37.	488.
JDL099	1.72	12.	49.	104.	16.	26.	312.
JDL100	1.52	8.	34.	68.	19.	23.	357.
JDL101	1.87	12.	51.	86.	20.	30.	420.
JDL105	2.66	14.	107.	208.	22.	37.	503.
JDL106	2.95	18.	89.	164.	23.	39.	523.
JDL107	2.96	17.	65.	108.	18.	36.	488.
JDL108	2.12	14.	100.	115.	18.	30.	652.
JDL109	2.25	10.	45.	79.	23.	29.	589.
JDL110	14.30	25.	2067.	3015.	25.	42.	2690.
JDL111	14.90	27.	4113.	6775.	27.	48.	2420.
JDL112	1.80	12.	51.	102.	18.	26.	415.
JDL113	1.66	11.	50.	82.	18.	25.	436.
JDL118	3.15	16.	88.	228.	30.	48.	872.
JDL119	3.50	17.	111.	337.	28.	51.	1176.
JDL120	2.50	12.	86.	228.	22.	35.	597.
JDL121	5.19	17.	53.	148.	19.	33.	867.
JDL122	2.29	13.	58.	97.	18.	29.	602.
JDL123	2.33	9.	96.	272.	21.	25.	617.
JDL124	2.25	10.	101.	280.	21.	24.	614.
JDL125	3.59	17.	199.	468.	21.	35.	796.
JDL126	2.00	8.	74.	141.	21.	26.	506.
JDL131	2.98	14.	77.	163.	22.	37.	711.
JDL132	2.99	14.	93.	278.	25.	43.	1129.
JDL133	4.39	24.	2359.	2827.	25.	55.	2140.
JDL134	3.92	25.	309.	859.	23.	57.	1480.
JDL135	2.94	13.	92.	242.	25.	42.	846.
JDL136	4.30	14.	199.	428.	20.	33.	747.
JDL137	11.02	23.	1848.	2059.	24.	45.	2140.
JDL138	3.11	17.	82.	186.	20.	39.	671.
JDL139	2.46	14.	62.	128.	22.	32.	539.
JDL140	1.95	13.	56.	110.	22.	31.	542.
JDL144	1.99	8.	60.	179.	21.	29.	484.
JDL145	3.35	15.	106.	317.	26.	46.	778.
JDL146	4.87	16.	1959.	1653.	23.	51.	2420.
JDL147	4.45	23.	289.	1231.	30.	54.	3315.
JDL148	4.70	24.	266.	957.	29.	64.	2080.
JDL149	1.81	25.	1180.	3615.	33.	50.	1944.
JDL150	7.87	34.	476.	1159.	32.	56.	1589.
JDL151	8.32	20.	417.	836.	29.	53.	998.
JDL152	4.55	20.	147.	397.	36.	58.	1132.
JDL153	2.53	12.	48.	119.	25.	39.	594.
JDL154	3.15	15.	147.	594.	25.	48.	1222.
JDL155	2.82	7.	93.	274.	25.	40.	895.
JDL156	2.89	7.	191.	324.	24.	40.	590.
JDL157	3.46	11.	162.	313.	27.	48.	983.
JDL158	3.25	14.	199.	453.	26.	48.	1707.

NUMERO	FER (%)	CUIVRE (PPM)	PLOMB (PPM)	ZINC (PPM)	COBALT (PPM)	NICKEL (PPM)	MANGANESE (PPM)
JDL159	3.90	18.	89.	198.	29.	57.	1100.
JDL160	4.52	19.	70.	150.	34.	67.	844.
JDL161	4.11	28.	98.	257.	31.	59.	907.
JDL162	3.98	50.	60.	150.	35.	64.	1151.
JDL163	4.01	19.	72.	182.	29.	61.	1014.
JDL164	1.89	10.	44.	94.	19.	31.	623.
JDL165	2.07	11.	54.	127.	17.	31.	570.
JDL166	1.91	10.	42.	93.	15.	29.	560.
JDL167	3.98	26.	69.	170.	30.	56.	761.
JDL168	3.31	12.	54.	125.	28.	49.	785.
JDL169	3.75	15.	311.	462.	26.	48.	1572.
JDL170	4.52	14.	304.	482.	33.	56.	2113.
JDL171	4.13	20.	162.	214.	32.	57.	2130.
JDL172	4.01	14.	50.	127.	29.	55.	714.
JDL173	5.07	19.	140.	428.	31.	60.	1487.
JDL174	4.09	23.	63.	166.	29.	59.	1090.
JDL175	4.97	26.	36.	114.	32.	65.	1146.
JDL177	3.91	12.	57.	114.	35.	58.	733.
JDL178	3.21	16.	57.	121.	28.	48.	833.
JDL179	3.56	12.	77.	121.	30.	43.	802.
JDL180	4.04	21.	81.	145.	32.	57.	1078.
JDL181	4.40	54.	83.	139.	35.	64.	1000.
JDL182	5.23	45.	68.	166.	36.	68.	1589.
JDL183	4.57	21.	53.	172.	36.	57.	953.
JDL184	4.86	32.	63.	212.	36.	58.	1208.
JDL185	4.79	31.	53.	145.	34.	61.	1016.
JDL186	3.14	28.	130.	204.	22.	41.	537.
JDL187	3.48	22.	115.	216.	27.	47.	629.
JDL188	3.79	21.	101.	187.	29.	49.	631.
JDL192	3.71	18.	62.	118.	31.	50.	939.
JDL193	3.88	22.	165.	197.	36.	52.	995.
JDL194	4.71	4.	2834.	442.	10.	11.	103.
JDL195	3.85	22.	126.	148.	35.	51.	1057.
JDL196	4.50	23.	99.	181.	35.	58.	1835.
JDL197	4.11	22.	76.	132.	35.	56.	1210.
JDL198	4.48	22.	67.	123.	36.	56.	970.
JDL199	4.75	25.	70.	133.	36.	57.	935.
JDL200	4.60	25.	72.	136.	32.	57.	682.
JDL203	4.16	22.	110.	151.	35.	55.	1085.
JDL209	4.24	37.	66.	121.	32.	56.	599.
JDL210	4.18	22.	79.	124.	33.	52.	807.
JDL211	3.87	23.	111.	144.	26.	48.	789.
JDL212	2.54	14.	50.	126.	24.	34.	698.
JDL213	3.68	14.	37.	128.	29.	55.	391.
JDL214	5.12	12.	41.	112.	30.	55.	260.
JDL215	2.42	14.	40.	67.	20.	33.	583.
JDL216	2.76	11.	44.	73.	21.	30.	870.
JDL217	1.61	10.	34.	65.	15.	24.	312.
JDL218	2.67	13.	40.	93.	21.	40.	473.
JDL219	3.42	15.	34.	112.	24.	52.	350.

NUMERO	FER (%)	CUIVRE (PPM)	PLOMB (PPM)	ZINC (PPM)	COBALT (PPM)	NICKEL (PPM)	MANGANESE (PPM)
JDL 220	3.71	14.	39.	102.	31.	54.	315.
JDL 221	5.37	13.	259.	334.	35.	67.	893.
JDL 222	4.27	25.	160.	121.	37.	55.	1182.
JDL 223	2.53	24.	75.	139.	30.	64.	338.
JDL 224	4.21	21.	47.	94.	36.	58.	823.
JDL 225	3.42	26.	93.	123.	27.	46.	830.
JDL 226	1.91	16.	50.	83.	20.	33.	488.
JDL 227	3.57	13.	46.	125.	17.	27.	713.
JDL 228	2.48	13.	56.	90.	26.	36.	595.
JDL 229	1.94	11.	46.	76.	20.	31.	317.
JDL 230	3.21	17.	39.	121.	27.	51.	376.
JDL 231	4.40	16.	44.	114.	31.	61.	431.
JDL 232	3.07	20.	48.	109.	25.	44.	622.
JDL 233	3.49	77.	36.	102.	31.	50.	763.
JDL 234	3.45	19.	39.	88.	28.	45.	618.
JDL 235	2.71	18.	55.	86.	24.	37.	546.
JDL 236	2.99	20.	51.	83.	23.	41.	477.
JDL 237	3.14	18.	51.	101.	23.	42.	574.
JDL 238	2.73	17.	40.	80.	22.	36.	451.
JDL 239	2.99	17.	45.	113.	24.	41.	412.
JDL 240	4.87	27.	72.	165.	32.	67.	881.
JDL 241	5.22	28.	150.	225.	35.	74.	1254.
JDL 242	4.23	20.	39.	156.	35.	66.	484.
JDL 243	4.75	14.	30.	133.	37.	67.	462.
JDL 244	4.34	22.	75.	154.	29.	53.	1137.
JDL 245	5.69	19.	30.	125.	30.	65.	345.
JDL 246	5.67	20.	956.	973.	34.	61.	605.
JDL 247	5.10	40.	96.	274.	37.	72.	469.
JDL 248	4.54	20.	32.	150.	36.	67.	457.
JDL 249	4.78	13.	21.	122.	32.	68.	501.
JDL 250	3.54	18.	29.	118.	30.	53.	742.
JDL 251	1.70	12.	39.	70.	18.	28.	380.
JDL 252	2.15	14.	36.	70.	20.	31.	572.
JDL 253	2.61	16.	39.	96.	24.	38.	573.
JDL 254	3.86	60.	45.	109.	31.	56.	556.
JDL 255	4.47	25.	36.	147.	34.	64.	367.
JDL 256	4.65	19.	37.	137.	32.	65.	359.
JDL 257	4.10	17.	37.	123.	29.	58.	451.
JDL 258	4.15	15.	43.	108.	32.	62.	680.
JDL 259	4.86	44.	34.	137.	39.	66.	869.
JDL 260	5.25	12.	29.	140.	34.	65.	427.
JDL 261	5.23	10.	22.	133.	37.	72.	402.
JDL 262	4.60	46.	62.	149.	35.	63.	1185.
JDL 263	4.86	19.	27.	132.	38.	71.	606.
JDL 264	2.06	13.	38.	81.	18.	31.	466.
JDL 265	1.96	14.	40.	77.	20.	30.	789.
JDL 266	2.35	17.	35.	77.	17.	33.	353.
JDL 267	2.11	15.	35.	71.	19.	31.	433.

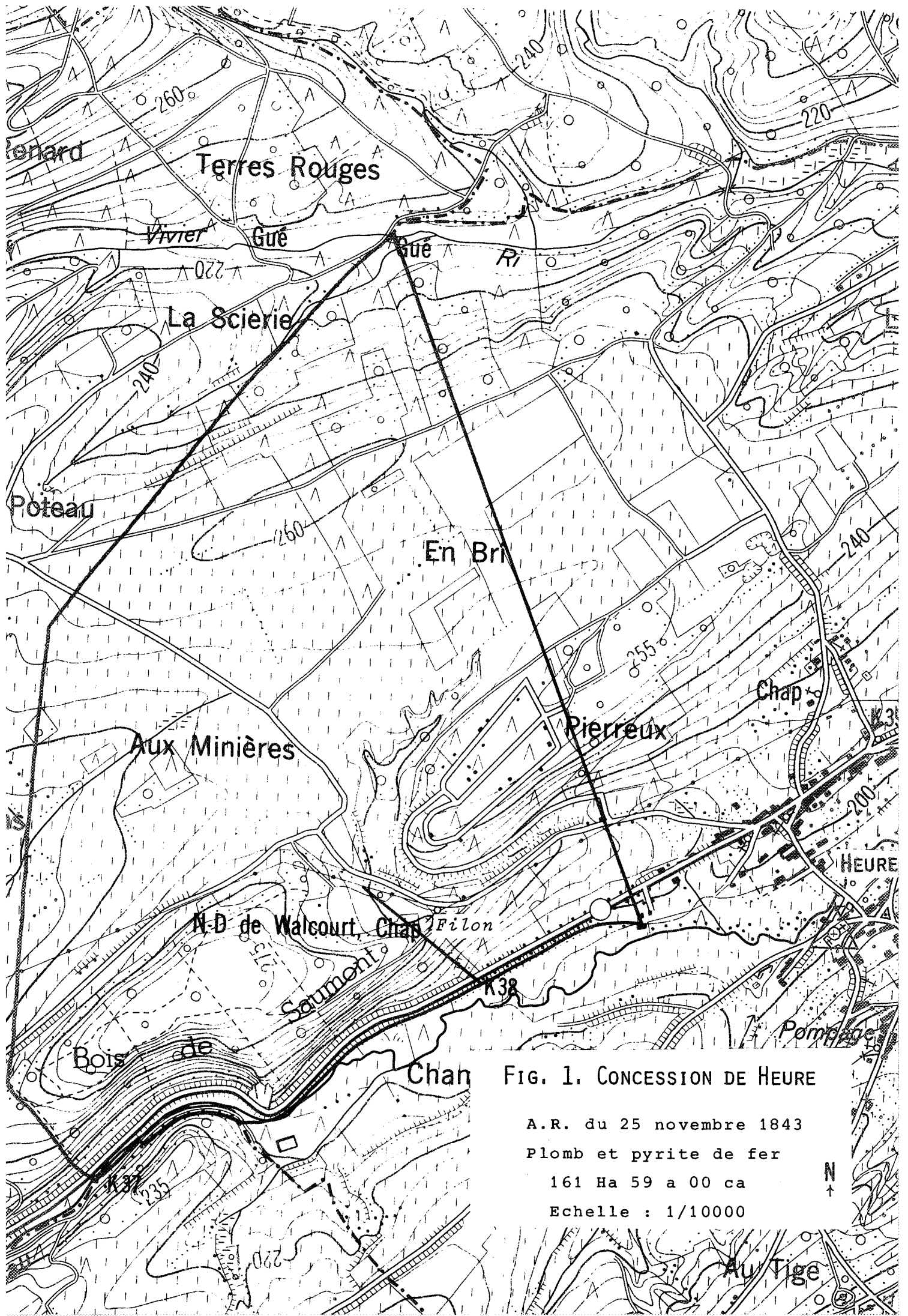


FIG. 1. CONCESSION DE HEURE

A.R. du 25 novembre 1843

Plomb et pyrite de fer

161 Ha 59 a 00 ca

Echelle : 1/10000



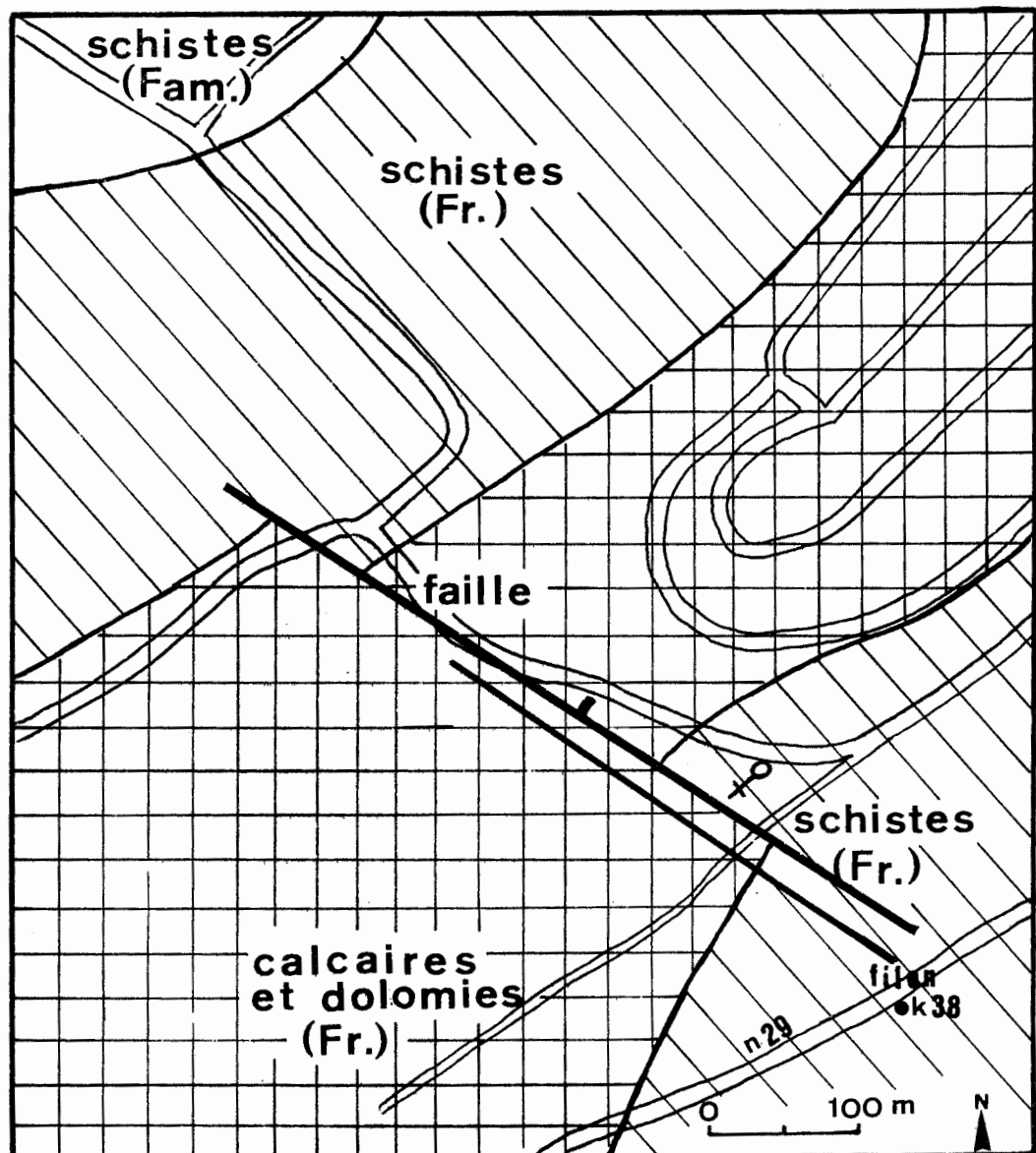
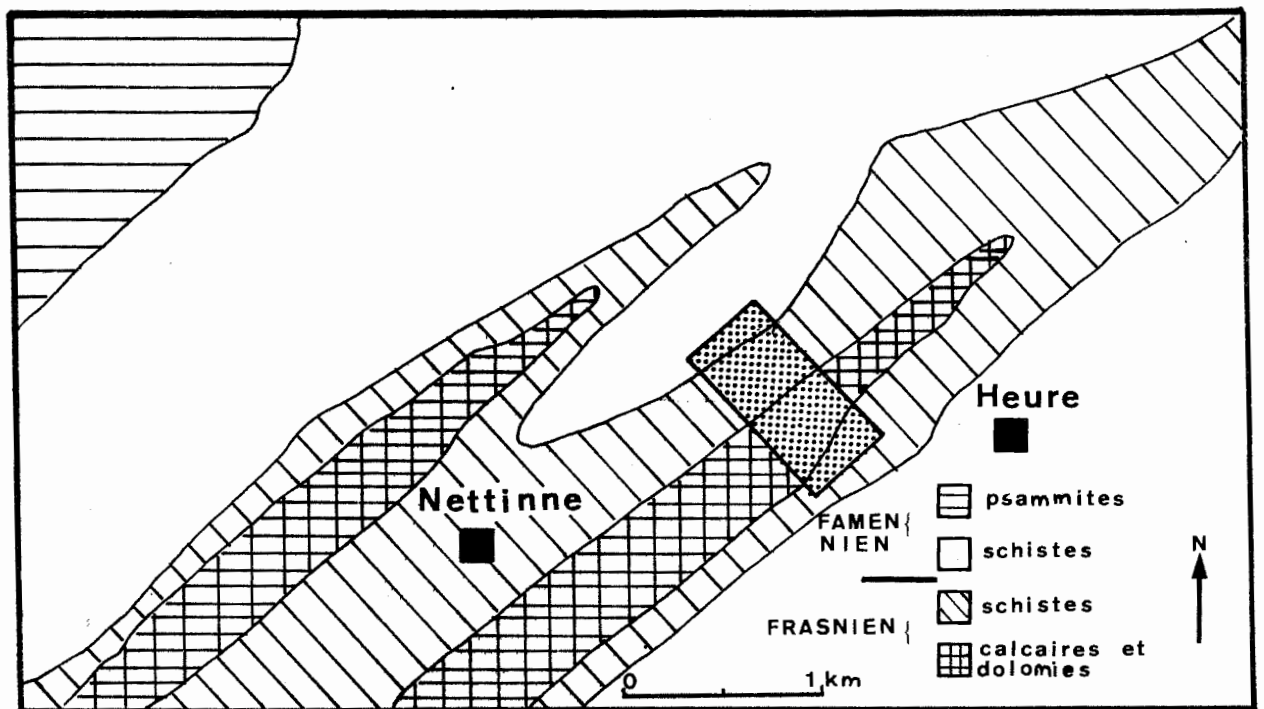


FIG. 2. GÉOLOGIE GÉNÉRALE ET LOCALE.

Fig. 3.a LEGENDE DE LA CARTE PEDOLOGIQUE

- AbB : Sols limoneux à horizon B textural ou à horizon B structural.
- Gbbk : Sols limoneux à charge calcaire, à horizon B structural.
- GbbK : Sols limoneux à charge argilo-calcaire, à horizon B textural ou à horizon B structural.
- Gbbkf : Sols limoneux à charge schisto-calcaire, à horizon B structural.
- Gbbf : Sols limoneux à charge schisteuse, à horizon B structural.
- GDbf : Sols limoneux à charge schisteuse, faiblement ou modérément gleyfiés, à horizon B structural.
- Glx f : Sols limoneux à charge schisteuse, fortement ou très fortement gleyfiés, à développement de profil non défini.
- A-Gbp : Complexe de sols sur matériaux limoneux ou limono-caillouteux.
- A-GFp : Complexe de sols fortement ou très fortement gleyfiés sur matériaux limoneux ou limono-caillouteux, éventuellement à horizon réduit.

MINE DE PLOMB ET DE PYRITE D'HEURE.

LEGENDE.

- A... Orifice de la galerie.
- B... Ancien puits d'aération.
- C... Nouveau puits de recherche 1916.
- D... Sous-bure Jeune Homme.
- E... Extrémité de la galerie réparée en 1916.
- F... Ancien puits.
- G... Ancien puits d'extraction.
- H... Ancien puits de la machine.
- I... Extrémité de l'ancienne galerie.
- J... Ancien puits dit "fosse à plomb".

Heure, le 29 juin 1916.
(s.) illisible.

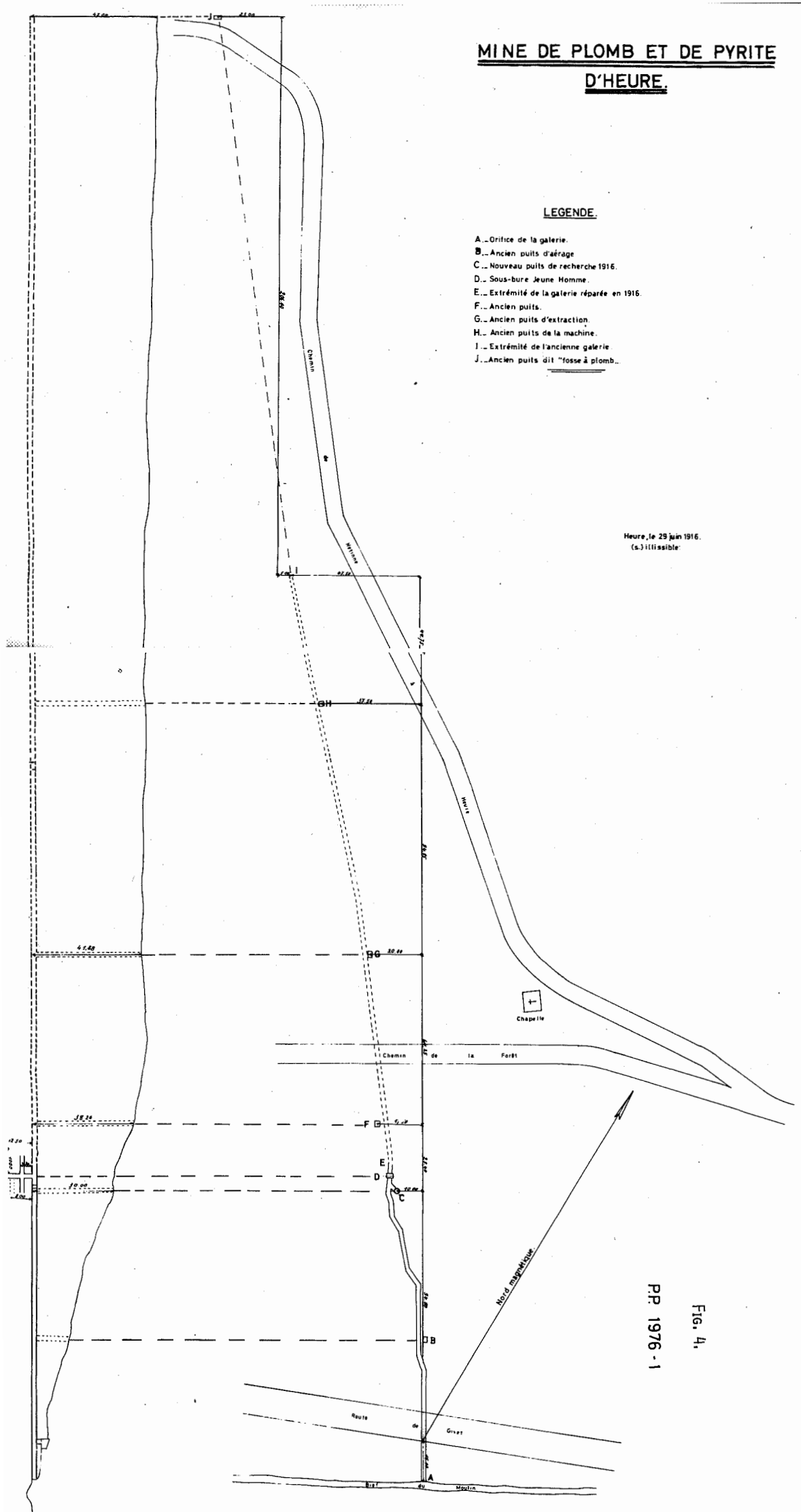


Fig. 4.

PP 1976 - 1

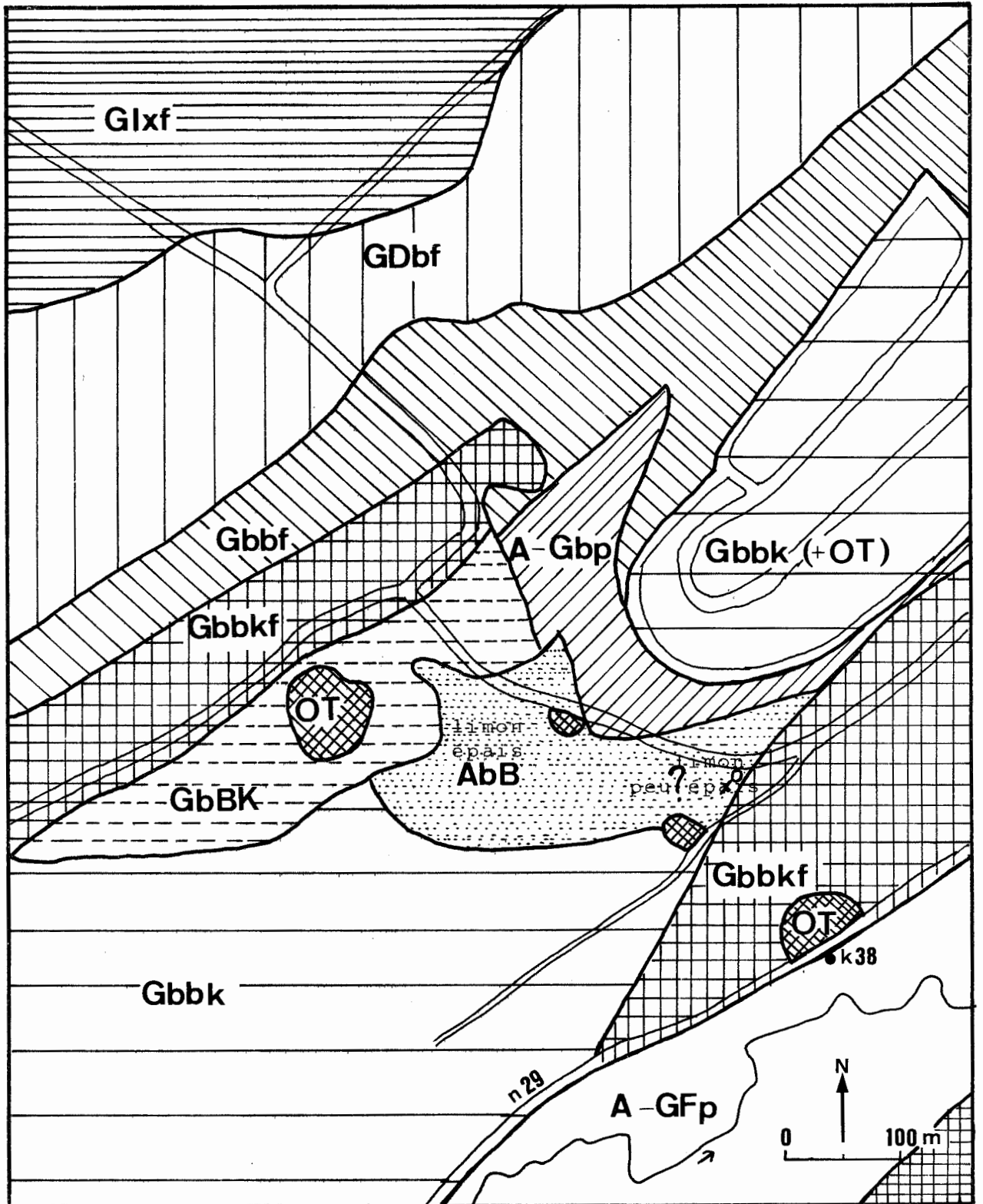


FIG. 3. PÉDOLOGIE LOCALE.

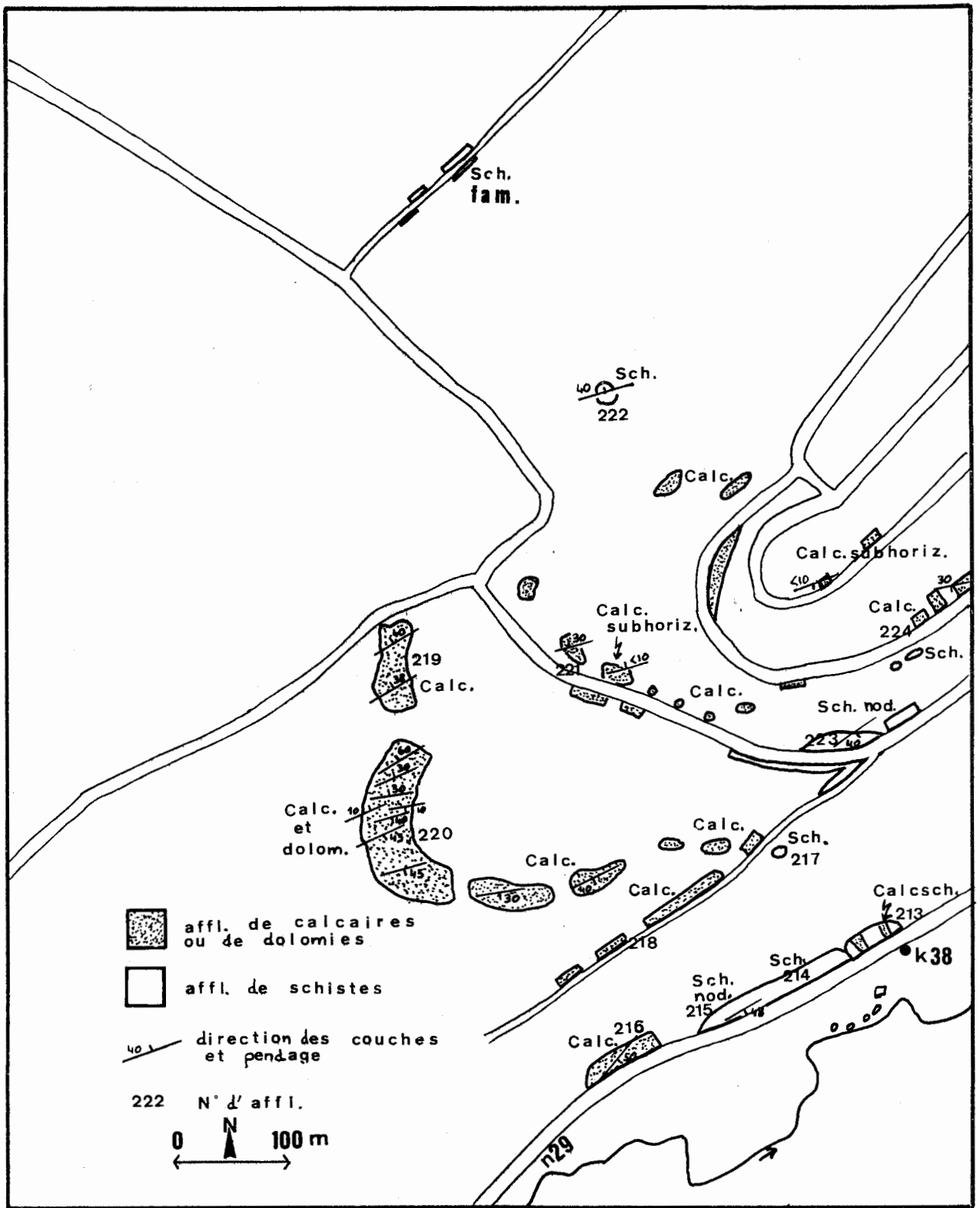


FIG. 5. CARTE D'AFFLEUREMENTS.

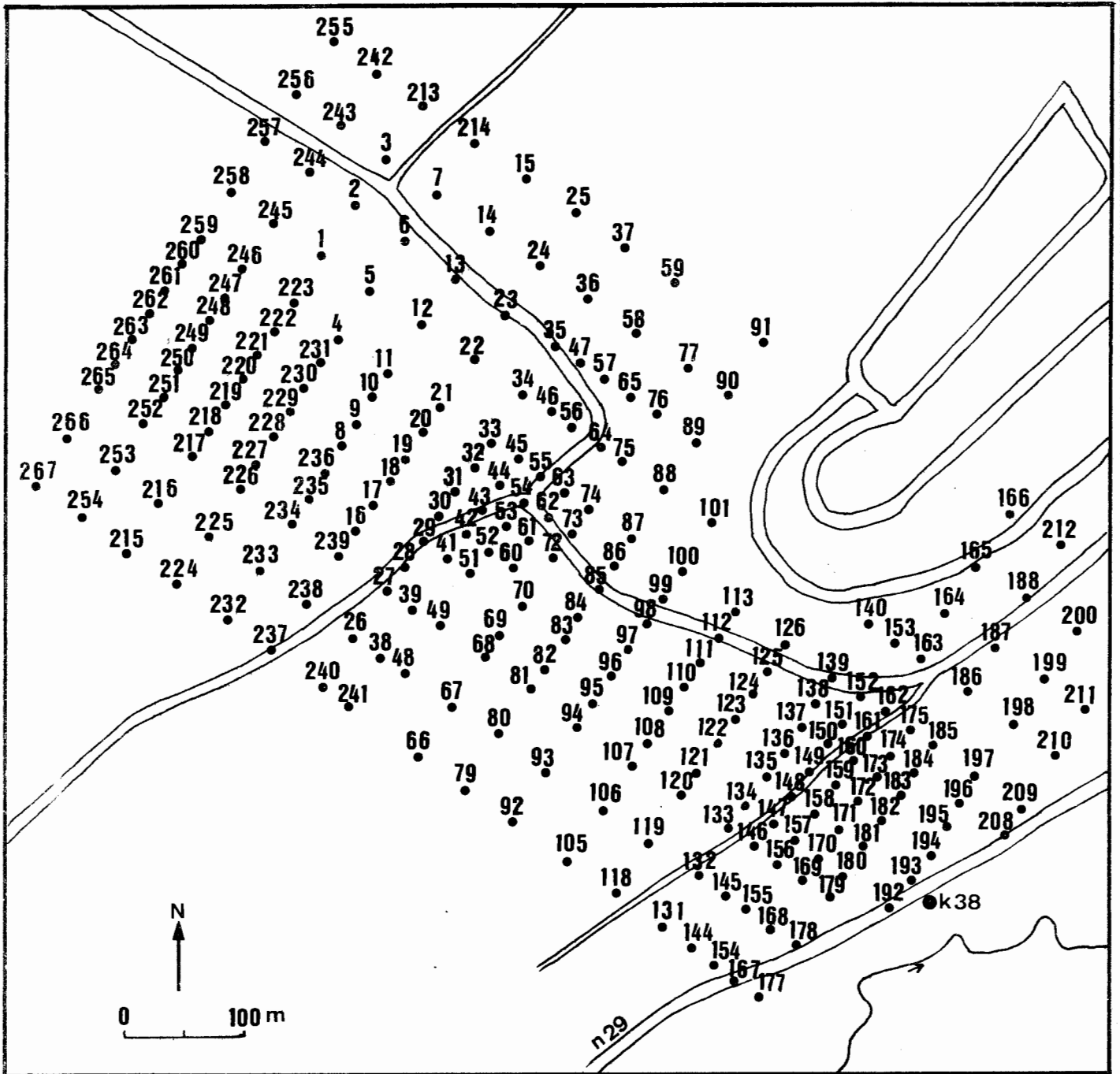
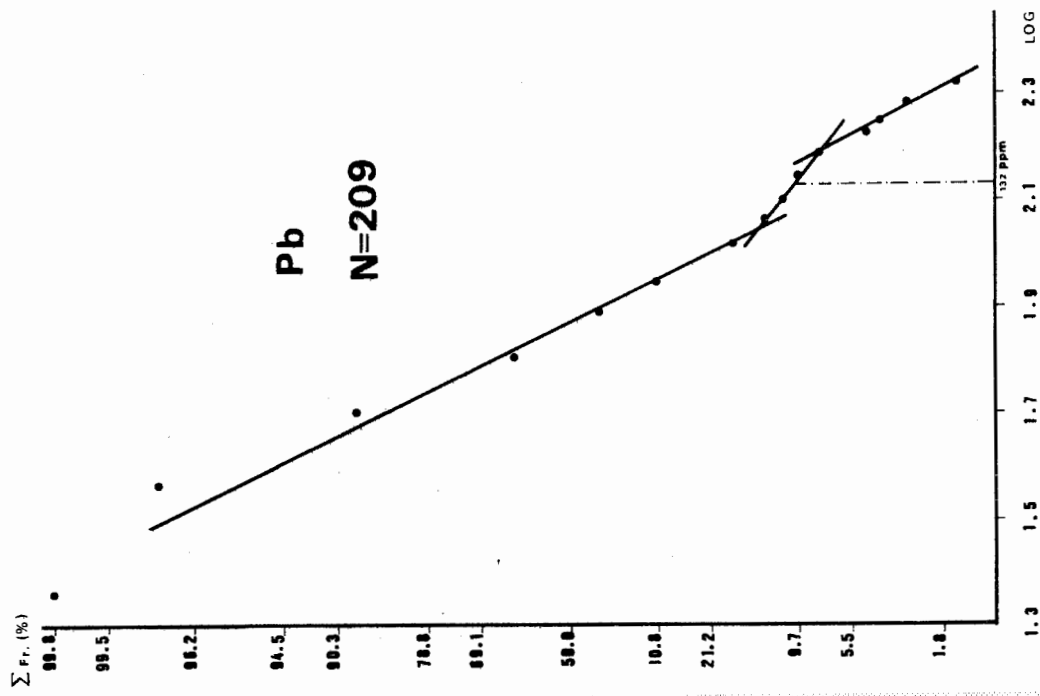
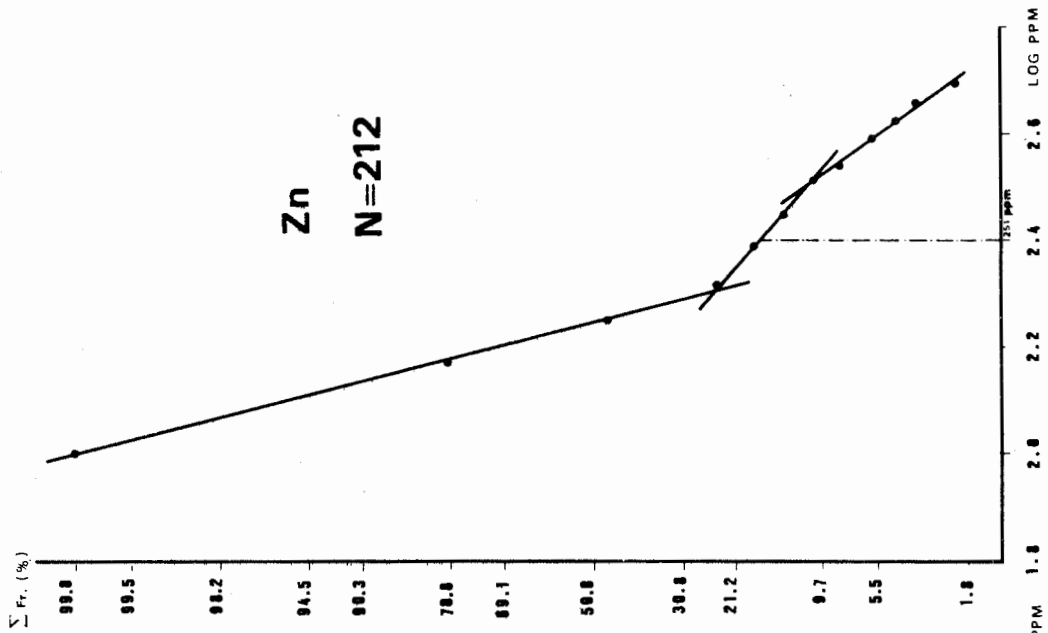
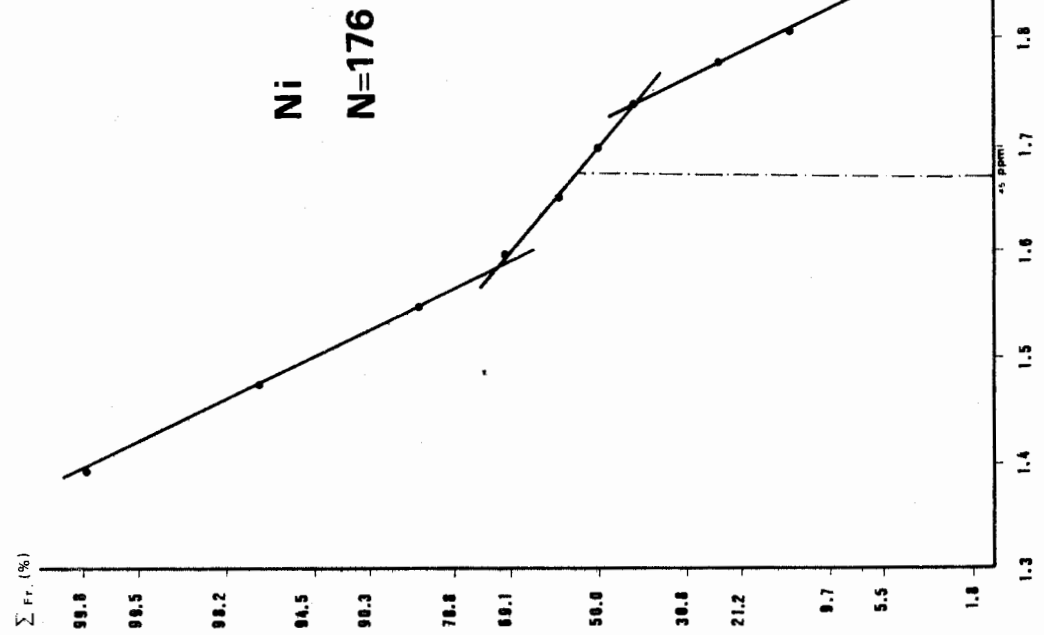


FIG. 6. CARTE DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE.

FIG. 7. DROITES DE PROBABILITÉ
DE FRÉQUENCES CUMULÉES.



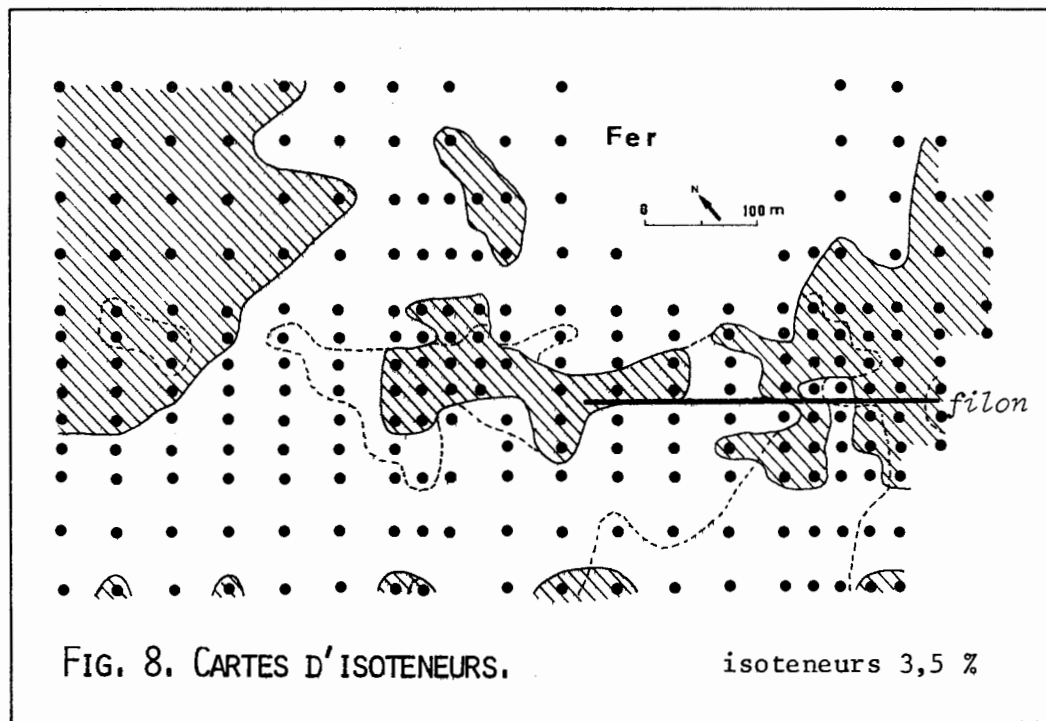
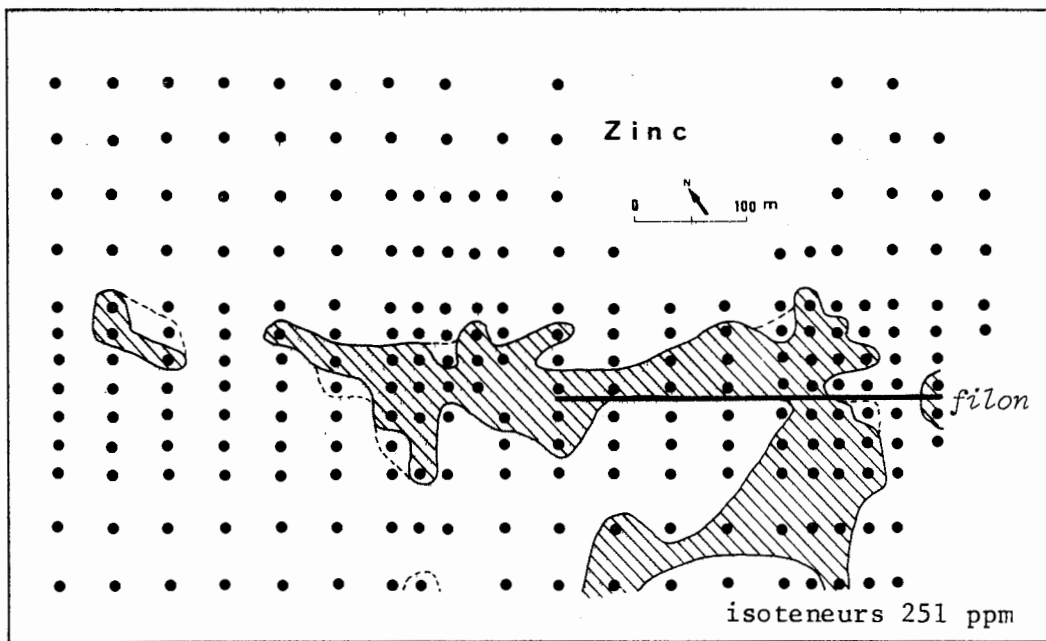
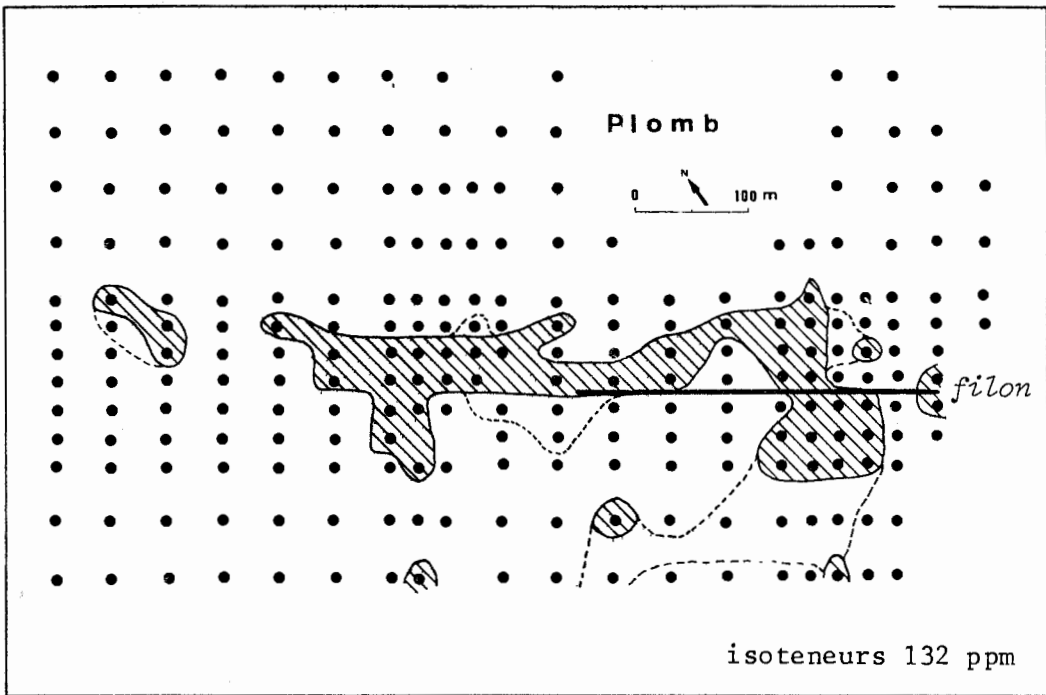
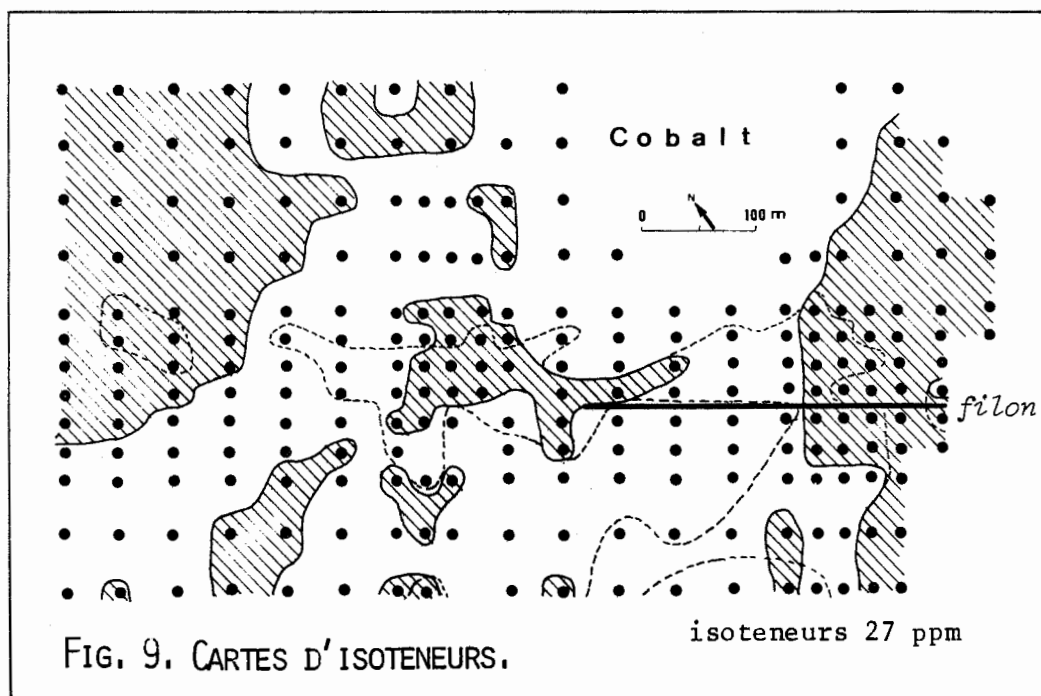
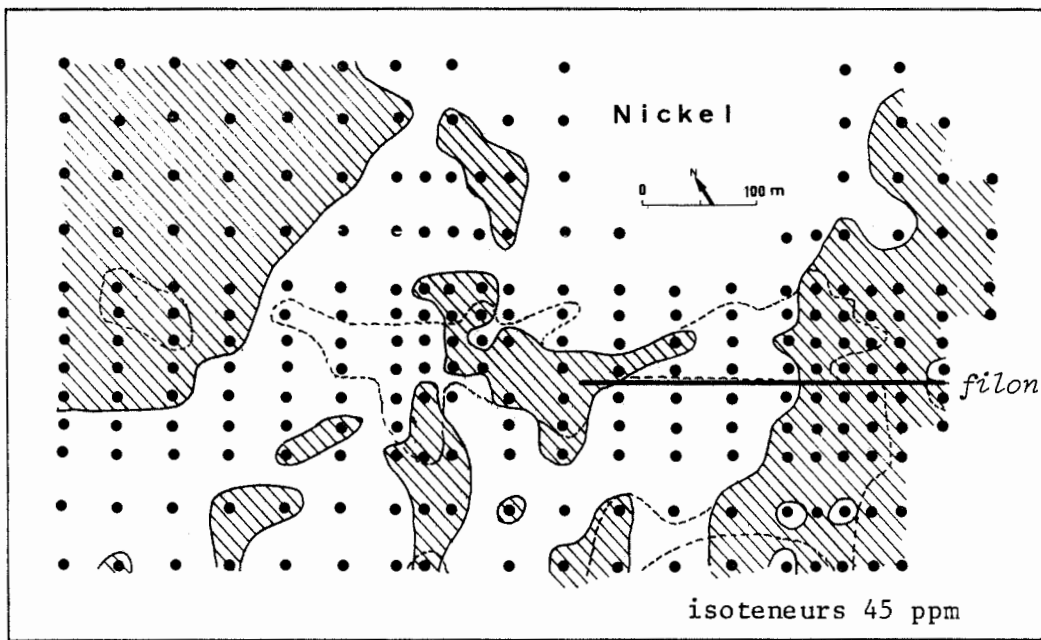
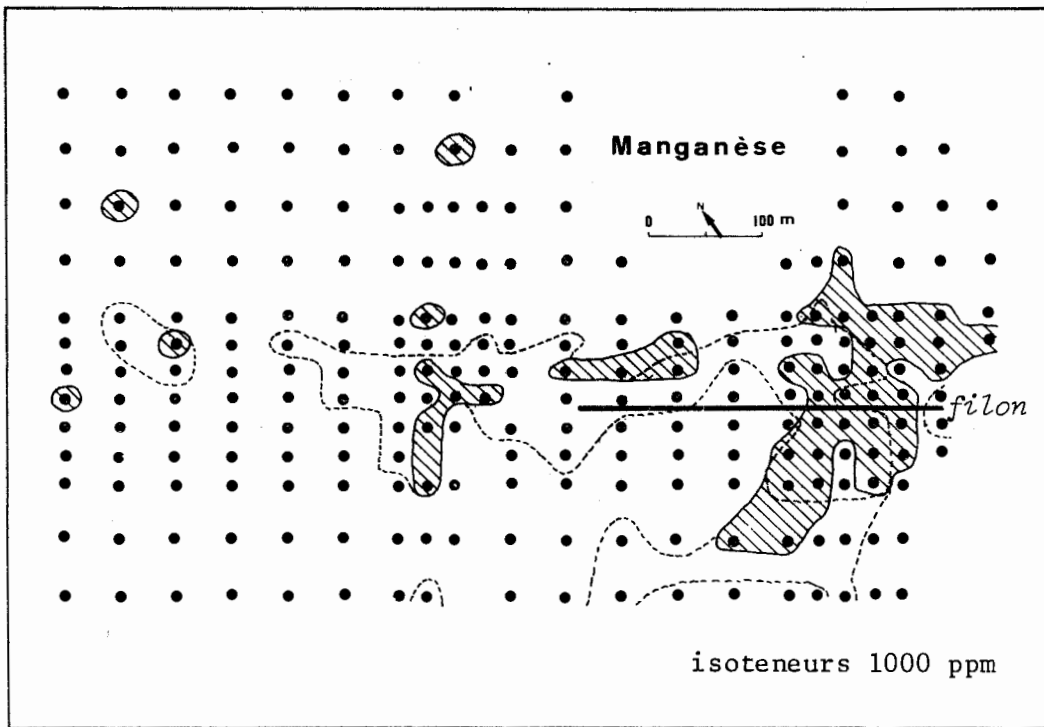


FIG. 8. CARTES D'ISOTENEURS.



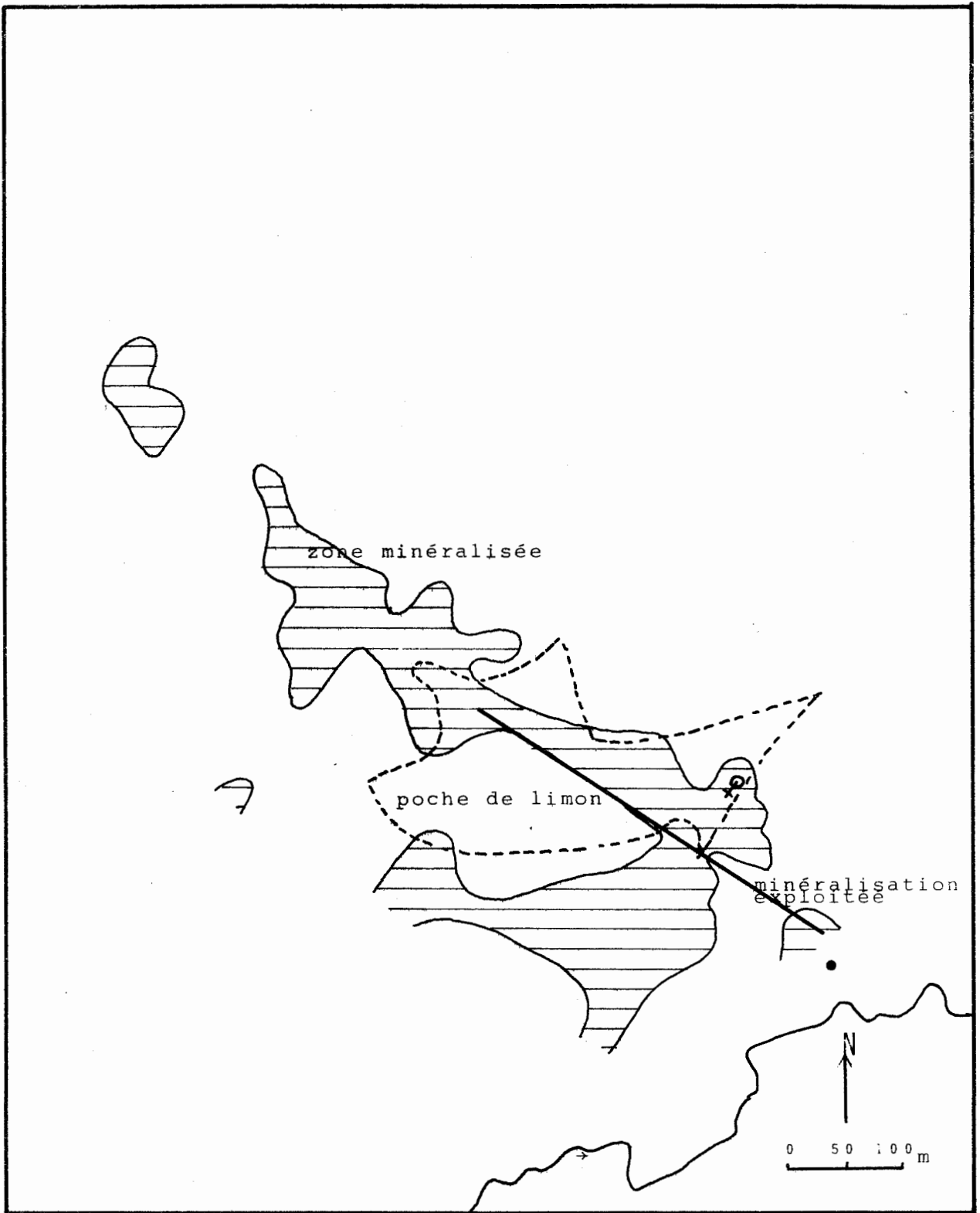


FIG. 10. PÉDOGÉOCHIMIE ET MINÉRALISATION.

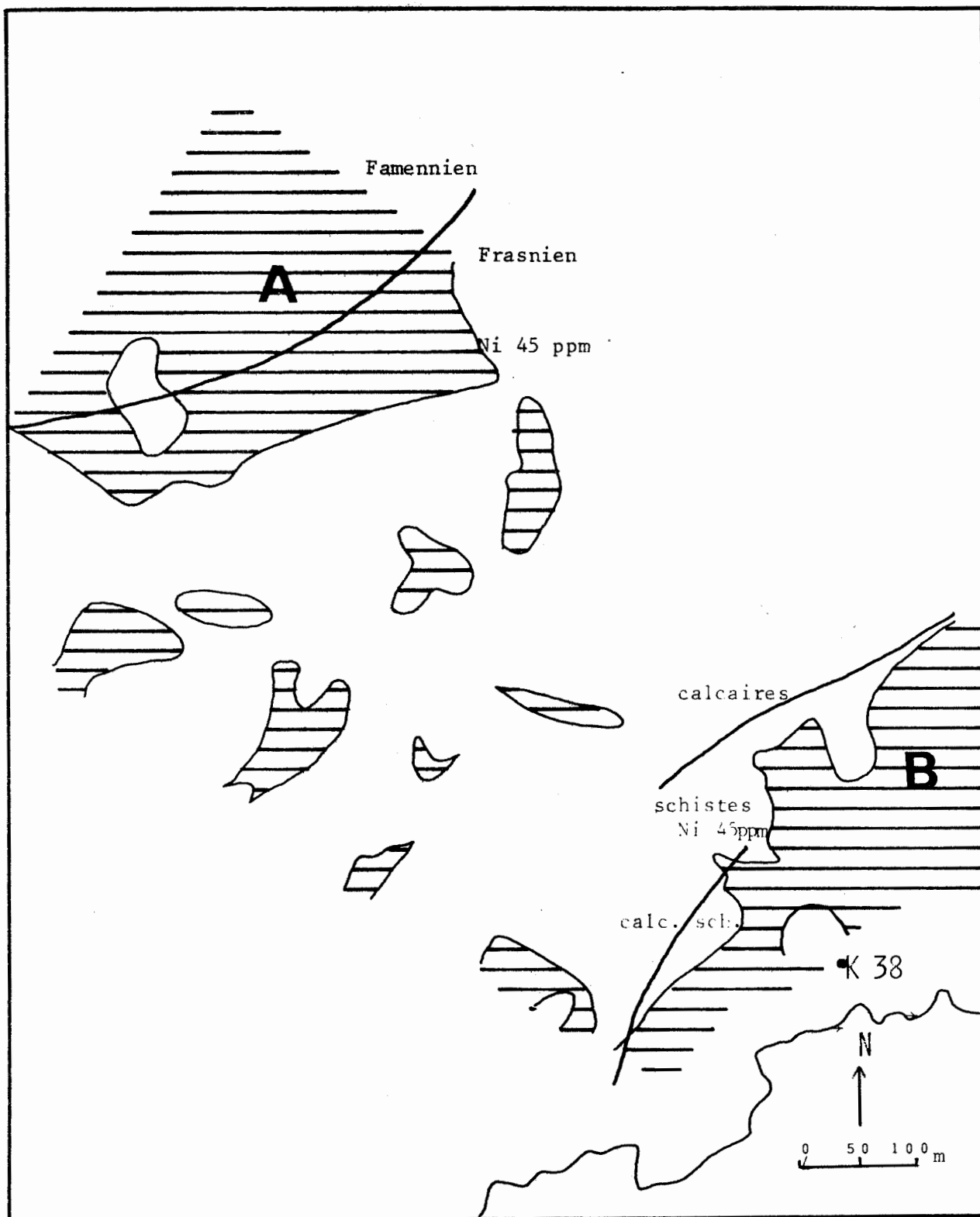


FIG. 11. PÉDOGÉOCHIMIE ET LITHOSTRATIGRAPHIE.

