

DÉTECTION DU FILON DE GALÈNE DE LA MINE DE LONGVILLY (BASTOGNE) PAR LA GÉOCHIMIE DE SURFACE, DISTRIBUTION DU PLOMB ET DU CUIVRE DANS LES SOLS ET CARTOGRAPHIE DE LEURS ISOTENEURS (*)

par F. SONDAG, P. LECOMTE et H. MARTIN (**)

(6 figures dans le texte)

ABSTRACT

A soil geochemical survey was made over a known galena ore body in the old mine of Longvilly (Bastogne). About 350 soil samples were collected in an area of 1.5×1.5 km². The sample sites were 50 m apart near the vein and 100 m apart elsewhere.

The distribution of copper and lead was plotted on a geochemical map using the mobile average technique. A significant lead anomaly occurred above the galena vein which was located in a vertical fault. The copper content only showed a correlation with the outcropping Lower Devonian formations.

The distribution of copper concentration was lognormal for the 323 samples studied. This has been interpreted as a control by the law of mass action of the mechanism of copper distribution in soil. The background value for copper is 13 ppm and the threshold level is 29 ppm. The statistical distribution of lead in soils is complex. The lead content in soils ranges from 60 to 4,000 ppm.

INTRODUCTION

Le premier but de cette prospection, effectuée aux mois de septembre et d'octobre 1971, a été d'essayer d'établir un inventaire aussi exhaustif que possible de toute minéralisation éventuelle des roches de la région de Longvilly (Bastogne).

Un autre objectif a été d'étudier les distributions d'éléments métalliques dans les sols au voisinage d'une minéralisation reconnue, celle du filon de galène de Longvilly. Ensuite, nous avons voulu dégager de cette étude les caractéristiques structurales du système géochimique étudié afin de pouvoir préciser les mécanismes qui entrent en jeu dans la dispersion des éléments métalliques dans les sols à partir de la roche sous-jacente.

Enfin, nous espérons par ce travail mettre au point des techniques de prospection géochimique qui permettront l'optimisation de toute reconnaissance géochimique future dans le Cambrien et le Dévonien inférieur de l'Ardenne.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET CADRE GÉOLOGIQUE

L'ancienne mine de Longvilly est située à une dizaine de kilomètres à l'est de Bastogne, à proximité de la frontière grand-ducale (Fig. 1 et 2). Deux anciens terrils

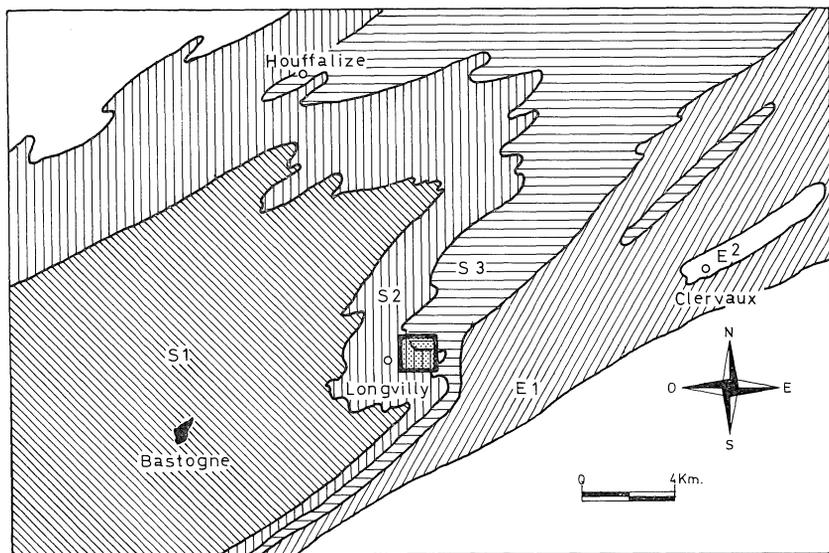
(*) Communication présentée le 4 juillet 1972. Manuscrit déposé le 27 août 1972.

(**) Université de Louvain, Institut Géologique, 6, St-Michelstraat, B-3000 Louvain, Belgique.

sont visibles le long de la route de Clervaux peu après le village de Longvilly. Un troisième terail se trouve dans les bois derrière le poste frontière.

Le relief de la région est faiblement ondulé. Le terrain prospecté (Fig. 2) culmine à 490 m au NW et descend en pente douce vers le sud et l'est où le ruisseau d'Allerborn coule à une altitude de 440 à 430 m.

La région de Longvilly (Fig. 1) est située dans les séries quartzophylladeuses et phylladeuses du Siegenien moyen et du Siegenien Supérieur (ASSELBERGHS, 1946



 Site d'échantillonnage.

Fig. 1. — Croquis géologique de la région de Longvilly (Bastogne) suivant E. ASSELBERGHS (1946). On remarquera que le site d'échantillonnage comprend essentiellement du Siegenien moyen (S 2) avec, cependant, du Siegenien Supérieur (S 3) dans la partie NE ainsi qu'au bord SE.

et ANTUN, 1971). Ces deux assises font partie du prolongement de l'anticlinorium de Bastogne et constituent la zone où ce dernier se perd dans les ondulations du flanc sud du massif de Stavelot.

Une mise au point sur la description du gisement de Longvilly, sur l'historique de son exploitation et sur son cadre géologique a été faite récemment par LEGRAND (1970) lequel donne également une bibliographie (*) sur le sujet. Nous nous bornerons à en rappeler l'essentiel. Le filon de galène est lié à une faille située essentiellement dans les phyllades siliceux de la base du Siegenien supérieur. Cette faille est verticale et concorde en gros avec la direction des couches. A l'ouest, le filon donne lieu à quelques ramifications dans le Siegenien moyen constitué en majeure partie de quartzophyllades et de grès parfois fossilifères. La figure 2 montre la projection verticale en surface du filon, lequel affleurerait à l'est et a été exploité jusqu'à plus de 150 m de profondeur à l'ouest.

(*) Nous remercions Monsieur DELMER, Directeur du Service Géologique de Belgique, pour les documents (rapports de l'Administration des Mines etc...) qu'il nous a fournis au sujet de l'ancienne mine de Longvilly.

Nous avons encore trouvé, dans des terrils ou ce qu'il en restait, des échantillons de galène et de blende qui présentent souvent une structure bréchiforme bien visible. La minéralisation de galène est accompagnée de blende et de pyrite avec également du quartz et de la calcite. L'épaisseur du filon varie de 5 à 35 cm. Lors de l'exploitation de la galène au siècle dernier, on récupérait également l'argent dont la concentration était évaluée à 30 gr par tonne de galène. Actuellement, la mine sert de galerie drainante pour approvisionner en eau les communes des environs.

MODE D'ÉCHANTILLONNAGE

Nous avons prélevé 323 échantillons de sol sur une surface de $1,5 \times 1,5$ km². Le réseau d'échantillonnage est représenté à la figure 2. Les points échantillonnés aux nœuds des mailles carrées sont distants les uns des autres de 100 m. A l'aplomb du filon, on a choisi un pas de maille égal à 50 m au lieu de 100 m.

Les échantillons de sol ont été recueillis au moyen d'une tarière à une profondeur qui varie selon les cas d'environ 30 à 50 cm. Nous nous sommes efforcés d'éviter de prélever dans l'horizon A humifère pour atteindre l'horizon B dans sa fraction la plus riche en colloïdes argileux et autres.

MÉTHODOLOGIE ANALYTIQUE

Les échantillons de sol sont d'abord séchés à 80° C pendant 24 heures environ puis *tamisés* (*). La fraction qui passe à travers un tamis de 80 « mesh » est retenue pour l'analyse. Pour *mettre en solution* (*) les échantillons tamisés, nous avons utilisé l'attaque acide. Dans un bécher en téflon, on pèse 1 g d'échantillon auquel on ajoute 3 ml d'HCl concentré, 2 ml d'HNO³ fumant et 1 ml d'HF à 50 %. On évapore à sec sur plaque chauffante. Le résidu est repris avec 8 ml d'HClO⁴ à 10 % et porté à 25 ml dans un flacon jaugé. Le tout est centrifugé et le liquide surnageant est retenu pour l'analyse par *spectrophotométrie d'absorption atomique* (**). Pour le plomb, nous avons utilisé la raie de longueur d'onde 2.833 Å et pour le cuivre celle de 3.247 Å. Dans les deux cas, on s'est servi du brûleur « hetco » et d'un mélange de gaz hydrogène-air avec un appareil « Jarrel-Ash ».

A partir des résultats de mesures avec des solutions connues de plomb et de cuivre, nous déterminons l'équation de la *droite de régression de l'étalonnage* avec son coefficient de corrélation ainsi que les écarts des points d'analyse avec leurs valeurs correspondantes sur la droite de régression. Nous pouvons ainsi estimer la qualité de l'étalonnage avec comme conséquences éventuelles soit de recommencer l'étalonnage soit de ne pas tenir compte objectivement de points aberrants. Nous nous servons alors de l'équation de régression pour calculer les concentrations (x) en ppm des échantillons de sol à partir de leurs valeurs (y) d'absorption atomique. Tous ces calculs sont effectués rapidement au moyen du calculateur de table Hewlett-Packard, modèle 9100B. Nous avons pu ainsi éviter la méthode graphique habituelle qui est longue, fastidieuse et qui comporte des risques d'erreurs non négligeables

(*) Nous remercions le Professeur J. LAMBERT pour l'aide qu'il nous a apportée au Laboratoire d'Écologie des Prairies à Michamps ainsi que Monsieur H. ZEEGERS, expert de l'O.N.U. en Haute-Volta, pour ses judicieux conseils.

(**) Nous remercions le Professeur J. DE CUYPER pour nous avoir permis d'utiliser l'appareil du Laboratoire de Traitement des Minerais ainsi que les membres de son laboratoire et en particulier Mr VANDENBERG pour leurs précieux conseils.

tout en gardant l'avantage de pouvoir visualiser l'étalonnage qu'offre la méthode graphique.

Les résultats analytiques pour le plomb et le cuivre sont estimés être reproductibles à environ 20 % près des valeurs mesurées.

A chaque échantillon, correspond une carte perforée dans laquelle on consigne son numéro, ses coordonnées géographiques, ses teneurs en éléments en traces métalliques, sa capacité d'échange ionique, etc... Ainsi, le traitement des résultats comme par exemple les calculs des moyennes mobiles, des histogrammes, des droites cumulées de fréquences et des différentes corrélations peuvent être réalisés avec souplesse et rapidité au moyen d'un ordinateur.

Le choix des méthodes utilisées dépend des objectifs visés, c'est-à-dire :

- la détection et l'analyse des éléments en traces *solubles*, car ces éléments en traces solubles ont une aire de dispersion plus étendue que les métaux lourds liés aux minéraux utiles et sont, par conséquent, de meilleurs traceurs en prospection géochimique.
- la *reproductibilité* plus que l'exactitude, car ce sont les variations des teneurs en éléments en traces et non les teneurs réelles des échantillons de sol, d'alluvion ou de roche qui importent en prospection géochimique.
- le haut *rendement* nécessaire; ainsi 350 mises en solution environ et plus de 700 analyses ont dû être réalisées pour ce travail.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Cartographie des isoteneurs et profil géochimique

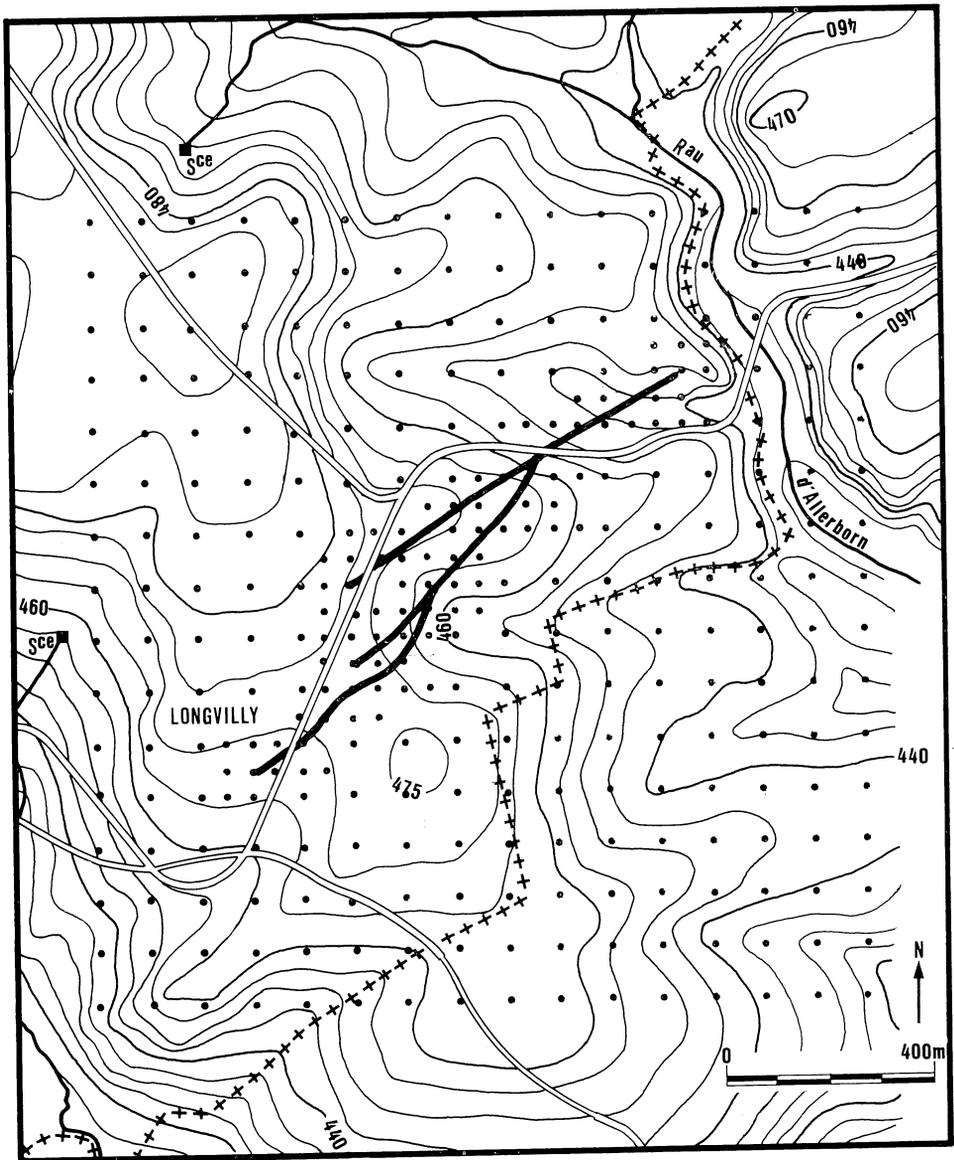
Les résultats sont montrés à la figure 3 qui représente la cartographie des isoteneurs (moyenne mobile) du cuivre et du plomb dans les sols de la zone prospectée.

Les moyennes mobiles sont obtenues en effectuant des moyennes successives, par exemple d'ouest en est et du nord au sud (Fig. 2), des teneurs en Pb et en Cu de 9 échantillons compris chaque fois dans une maille dont le pas est égal à 200 m. Cette maille qui sert au calcul de la moyenne mobile est déplacée dans les deux directions de 100 en 100 m de telle façon que dans le réseau, les moyennes mobiles soient distantes les unes des autres d'un pas égal à 100 m.

Les courbes d'isoteneur présentées à la figure 3 ont été tracées manuellement sans aucune estimation par la méthode des moindres carrés (« trend surface analysis ») ou par krigeage universel. Les valeurs d'isoteneur consignées à la figure 3 (10, 15, 20, 25, 30 ppm pour le cuivre et 40, 60, 80, 100, 200, 300 ppm pour le plomb) sont significativement différentes étant donné le degré de reproductibilité analytique égal à $\pm 10\%$.

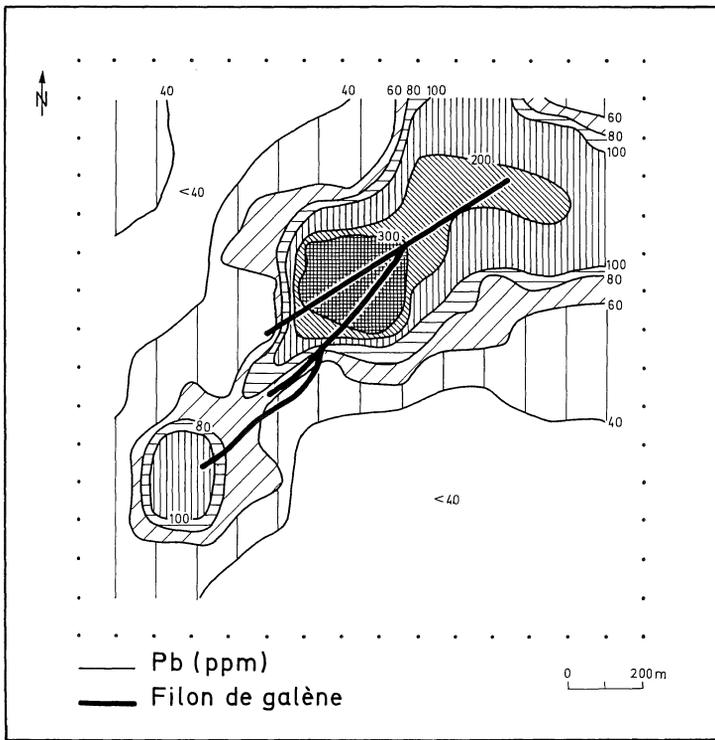
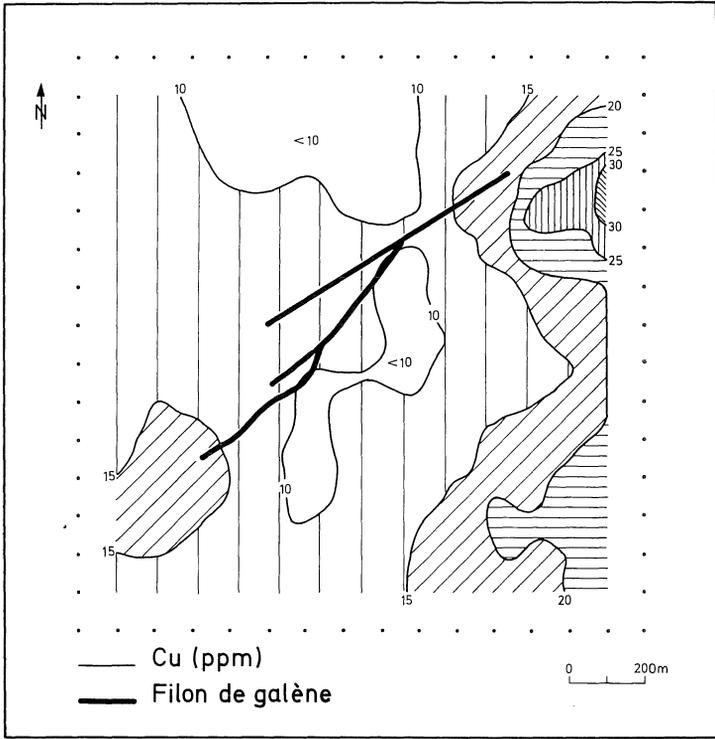
La carte des isoteneurs (Fig. 3) montre une relation géographique remarquable entre la teneur en plomb dans les sols et la minéralisation sous-jacente figurée par la trace en surface de la projection verticale du filon de galène.

La distribution du plomb dans les sols se répartit de manière symétrique de part et d'autre du filon, à l'exception toutefois, de sa partie NE. La symétrie de répartition peut s'expliquer par une migration du plomb dans les fractures de la faille *verticale* où est logé le filon de galène. Dans la partie NE, le plomb a pu être entraîné dans les sols par un effet de *drainage* vers l'est en direction du ruisseau d'Allerborn. L'anomalie moins marquée et plus irrégulière dans la partie SW de la prospection



- | | |
|--|--|
|  Tracé du filon |  Courbe de niveau |
|  Site d'échantillonnage |  Cours d'eau |
|  Route |  Frontière |

Fig. 2. — Situation géographique, tracé du filon de galène et site d'échantillonnage dans les sols du terrain prospecté.



s'explique soit par l'enfouissement plus profond du filon à cet endroit ou soit parce que la nature de la fracture favorise moins la migration du plomb dans cette partie SW de l'anomalie. Il serait sans doute plus judicieux d'attendre les résultats de la prospection d'autres éléments comme par exemple le zinc ou le mercure, si ce dernier peut être détecté, avant de tenter une interprétation plus fine de l'auréole anormale du plomb dans les sols au voisinage du filon de galène.

La figure 3 montre que les *teneurs en cuivre* varient peu dans les sols de la partie prospectée. Contrairement au plomb, la minéralisation n'affecte pas la distribution du cuivre dans les sols. Il existe une élévation des teneurs en cuivre vers le bord est du réseau de prospection où les concentrations passent rapidement de 10 à plus de 20 ppm. Si on se reporte à la figure 1, on remarque que le bord NE du site d'échantillonnage ainsi qu'une petite partie du bord SE comprennent du Siegenien supérieur. Il est dès lors possible que cette zone relativement plus riche en cuivre puisse s'expliquer par un *effet lithostratigraphique*. Il faudrait alors que les roches du Siegenien supérieur soient plus riches en cuivre que les roches du Siegenien moyen. Toutefois, cette corrélation lithostratigraphique demande à être confirmée par un plus grand nombre de données en étendant la prospection géochimique des sols vers l'est et par des analyses du cuivre dans les roches des assises S2 et S3.

La figure 4 présente un *profil géochimique du Pb et du Cu* suivant une ligne NS

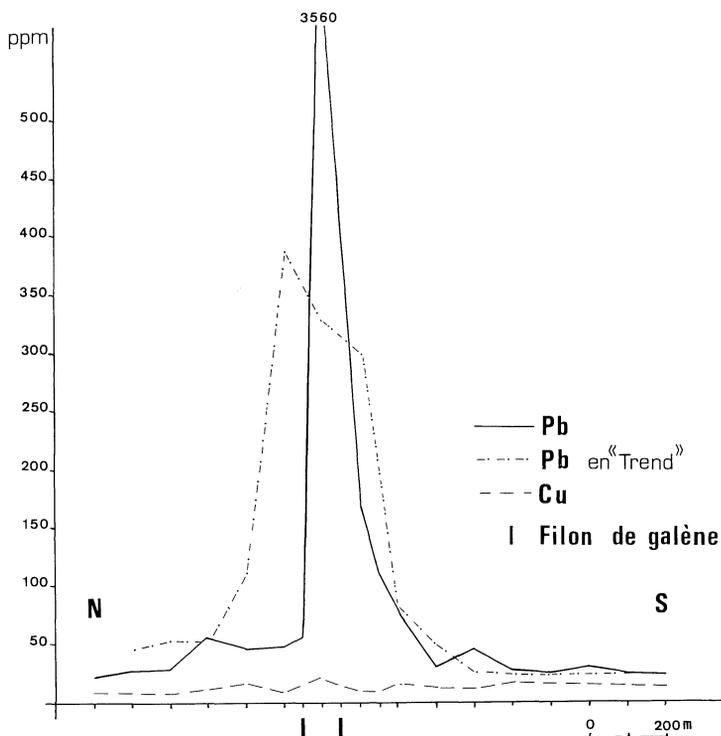


Fig. 4. — Profils géochimiques du plomb et du cuivre suivant une direction NS au centre du terrain prospecté.

Fig. 3. — Cartes des isoteneurs (ppm) en moyennes mobiles du cuivre et du plomb dans les sols.

de 1,5 km de long passant par le centre (8^{me} colonne) du terrain prospecté. La présentation de ce profil est complémentaire de celle de la cartographie des isoteneurs quant à l'exposé des résultats. Ce profil offre l'avantage sur la cartographie de donner des résultats bruts et évite les inconvénients qu'offre la technique de la moyenne mobile. En effet, si celle-ci met mieux en évidence la tendance du système en éliminant les variations locales, elle masque cependant les valeurs les plus hautes et les plus petites lesquelles peuvent présenter de l'importance. L'emploi des moyennes mobiles peut aussi créer des artéfacts qui n'ont rien à voir avec la réalité comme par exemple le déplacement de pics, domes etc... Ainsi, la figure 4 fait apparaître un pic avec une teneur en plomb égale à 3.560 ppm ou 0,356 % en poids. Si ce pic est un indice d'une teneur assez élevée en plomb dans des sols au voisinage de la minéralisation, il faut se garder d'attacher trop d'importance à sa valeur absolue pour des raisons évoquées dans le paragraphe de la méthodologie analytique, entre autres, parce que cette concentration d'environ 0,4 % pondéral de plomb se rapporte à une fraction du sol qui passe à travers un tamis de 80 « mesh ».

Remarquons aussi que le profil pour les teneurs non traitées montre que l'élévation de ces teneurs se situe à l'aplomb du filon. Le profil du plomb en « trend » qui a un pouvoir de résolution plus petit (400 m au lieu de 200 m environ) que celui des valeurs non traitées encadre cependant mieux le filon. Rappelons que le terme « trend » est pris dans un sens descriptif (MILLER & KAHN, 1967) et signifie qu'on a employé la technique de la moyenne mobile sans vouloir faire d'estimation interpolatoire par les moindres carrés ou par le krigeage. Les résultats montrent d'ailleurs que ces méthodes statistiques d'estimation ne semblent pas indispensables pour la cartographie des résultats de cette étude. Cela est dû probablement au fait que le réseau très serré de l'échantillonnage fournit une résolution du système telle que toutes les valeurs entre les points d'échantillonnage soient réelles.

B. Aspect statistique

Les distributions de fréquences pour les teneurs en cuivre et en plomb de 323 sols prospectés de la région de Longvilly sont montrées à la figure 5 sous forme d'histogrammes d'abscisse arithmétique et à la figure 6 sous forme de fréquences cumulées d'abscisse logarithmique.

Comme le montrent l'histogramme et la bonne linéarité de la ligne de fréquences cumulées jusqu'à la brisure à 98,5 % de fréquences, la *distribution des teneurs en cuivre est lognormale*, pour les 323 échantillons analysés. Comme pour le cuivre des alluvions de la vallée de la Lomme (MARTIN, LECOMTE et SONDAG, 1971), la lognormalité nous donne des indications sur la nature des mécanismes qui régissent la dispersion du cuivre dans les milieux de surface. L'explication thermodynamique par l'effet proportionnel ou la loi d'action de masse trouve une nouvelle confirmation par la lognormalité des résultats.

A partir de la figure 6, nous pouvons calculer les paramètres caractéristiques de la distribution lognormale des teneurs en cuivre c'est-à-dire le bruit de fond ou la moyenne géométrique b pour 50 % de fréquences cumulées ainsi que $\pm 2S$ pour 97,5 % et 2,5 % de fréquences cumulées, S étant l'écart type ou la déviation standard.

$$\begin{aligned} b &= 13 \text{ ppm Cu} \\ b - 2S &= 6 \text{ ppm Cu} \\ b + 2S &= 29 \text{ ppm Cu (seuil)} \end{aligned}$$

Le seuil ou « threshold » est défini conventionnellement par la valeur $b + 2S$ au-dessus de laquelle les teneurs sont considérées comme des anomalies géochimiques. L'analyse statistique confirme la tendance observée à la figure 3 qui donne la cartographie des isoteneurs en cuivre. Sur cette carte de la figure 3, on peut donc considérer que la petite surface entourée de la courbe d'isoteur 30 représente une anomalie géochimique pour l'ensemble de la population. Suivant la logique de la prospection géochimique, cette anomalie pourrait correspondre à une minéralisation discrète en cuivre avec la présence par exemple de chalcopyrite dans la roche sous-jacente.

La distribution des teneurs en plomb dans les sols de Longvilly est hétérogène. Comme le montrent les figures 5 et 6, deux populations paraissent se superposer. Une de ces deux populations a son origine dans la distribution régionale du plomb à partir de la roche minéralisée constituée essentiellement de Siegenien moyen et l'autre se superpose à la première sous l'influence du filon de galène.

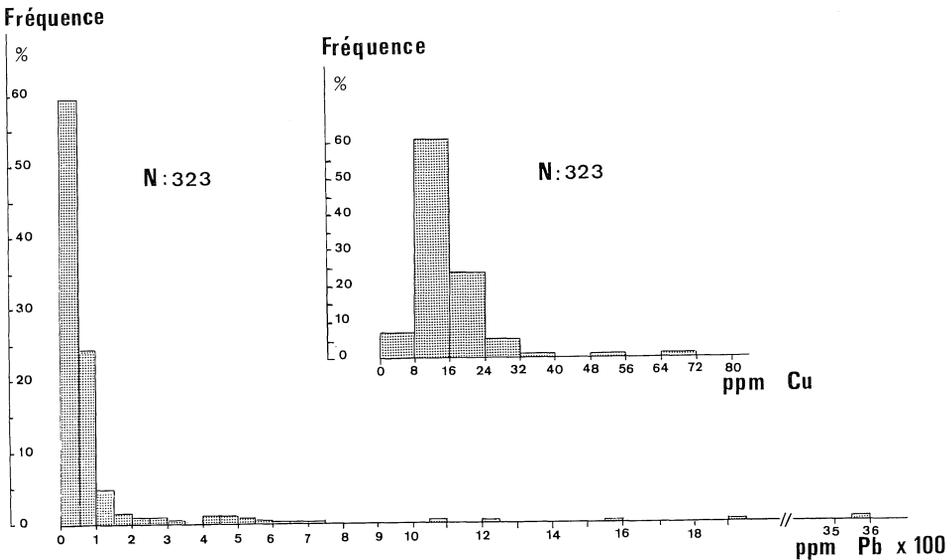


Fig. 5. — Histogrammes de fréquences des teneurs en cuivre et en plomb pour 323 (N) échantillons de sols.

La séparation de la population totale en deux populations élémentaires suivant la technique de LEPELTIER (1969) a montré que la population qui correspond à des fréquences cumulées inférieures à 93 % restait complexe et toujours influencée par la minéralisation du filon de galène. C'est pourquoi, pour les teneurs en plomb des sols de Longvilly, il nous est impossible de discuter du type de distribution ainsi que des paramètres caractéristiques qui y seraient liés.

Du point de vue pratique, il est toutefois intéressant de noter l'ordre de grandeur des concentrations en plomb des sols de Longvilly au voisinage de la minéralisation. Ces teneurs en plomb varient d'environ 60 ppm à plus de 3000 ppm et elles concordent assez bien avec celles (190 à 5400 ppm) citées par KULMS et FRIEDRICH (1969) qui ont effectué une prospection géochimique dans des sols de l'ancienne région

minière de Bleialf/Eifel, lesquels recouvrent également des formations du Dévonien inférieur.

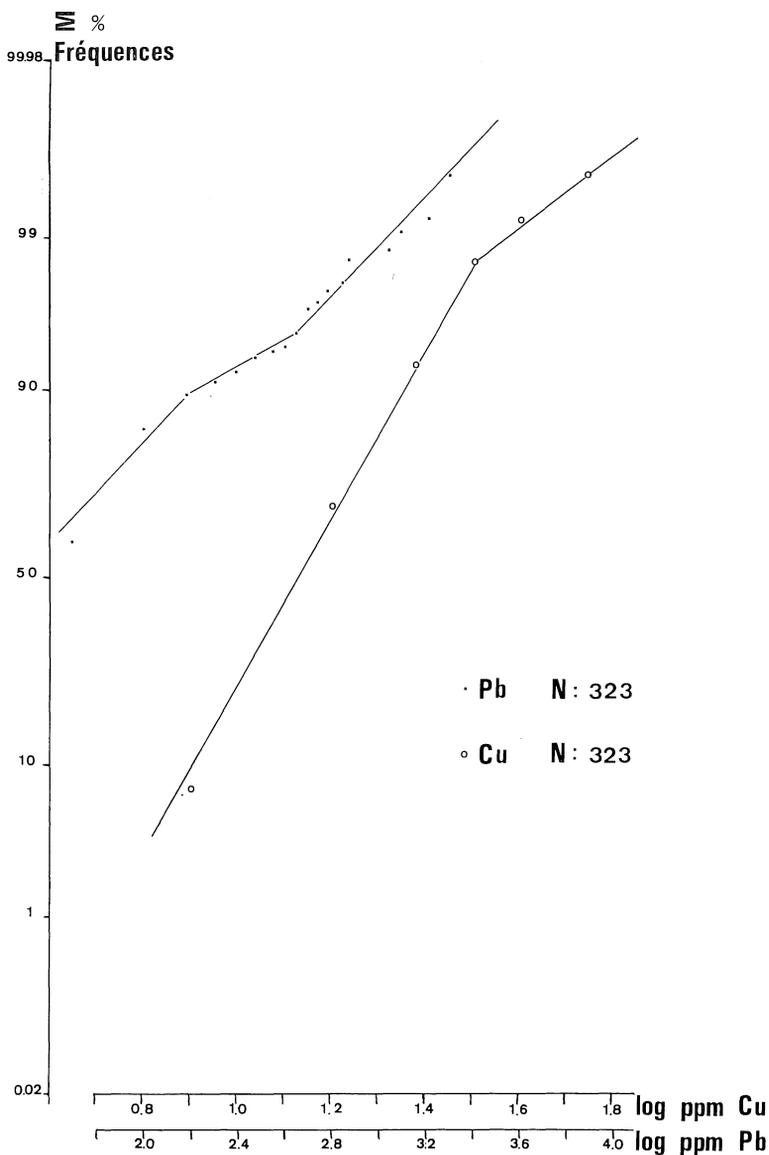


Fig. 6. — Distribution des fréquences cumulées pour les teneurs en cuivre et en plomb des 323 (N) échantillons de sols.

CONCLUSIONS

Ce travail met en évidence que la prospection géochimique d'éléments en traces solubles, comme par exemple le plomb, dans les sols peut être utilisée avec succès

pour la *prospection de minéralisations du type de Longvilly* dans les formations quartzophylladeuses du Cambrien et du Dévonien inférieur de l'Ardenne. La cartographie des isoteneurs ainsi que le profilage géochimique du plomb dans les sols ont montré une anomalie géochimique liée au filon de galène logé dans une faille.

Même si la minéralisation offre peu d'intérêt économique, une telle méthode de prospection offre l'avantage de pouvoir détecter en surface les *failles* par la minéralisation qui souvent les accompagne. La géochimie de surface peut ainsi apporter des informations pour la géologie structurale par la mise en évidence de failles même si celles-ci ne se manifestent pas en surface.

Il est possible que la distribution des teneurs en cuivre soit influencée par une minéralisation ou par un *effet lithostratigraphique*. Ceci demande cependant confirmation par l'extension de la prospection dans les sols à l'est de la région étudiée.

Le caractère lognormal de la distribution des teneurs d'éléments en traces dans les sols de Longvilly a été vérifié pour le cuivre. Il se pourrait que, comme pour les alluvions de la vallée de la Lomme (MARTIN, LECOMTE et SONDAG, 1971), la *loi d'action de masse* puisse expliquer le mécanisme qui régit la dispersion du cuivre dans les milieux de surface. La trop grande complexité de la distribution statistique des teneurs en plomb dans les sols n'a pas permis de tenter la confirmation de cette hypothèse thermodynamique pour le plomb.

Du point de vue tactique, la prospection géochimique de la région de Longvilly avec une minéralisation reconnue va nous servir à *optimiser l'échantillonnage dans les sols*, c'est-à-dire à définir statistiquement un pas optimal pour la maille d'un réseau géochimique du même type.

Du point de vue stratégique, en vue de la *découverte de nouveaux filons* éventuellement présents dans la région de Longvilly, les résultats de ce travail suggèrent de continuer la prospection détaillée des sols suivant une direction SO-NE de part et d'autre du réseau déjà prospecté. Il semble cependant plus judicieux de pratiquer d'abord la prospection géochimique systématique des éléments en traces solubles dans les alluvions de la région. Ainsi, des anomalies en plomb et en zinc que nous venons de mettre en évidence dans les alluvions du ruisseau d'Allerborn auraient conduit à la découverte du filon de galène de Longvilly si cela n'avait déjà été fait, par hasard au siècle dernier, par un habitant de la région.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le FONDS NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE pour l'appui accordé à cette recherche par l'octroi d'un crédit au titre « Crédit aux Chercheurs » dont a bénéficié l'un des auteurs (H. MARTIN). Les deux autres auteurs F. SONDAG et P. LECOMTE bénéficiaient d'une bourse de spécialisation de l'I.R.S.I.A.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTUN, P., 1971. — Le prolongement de la zone métamorphique de Bastogne au Grand-Duché de Luxembourg. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. **94**, pp. 153-163.
- ASSELBERGHS, E., 1946. — L'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines. *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, t. **14**, 423 pp.
- KULMS, M., & FRIEDRICH, G., 1969. — Geochemische Untersuchungen der Böden im Lagerstättengebiet Bleialf/Eifel. *Geol. Mitt.*, **10**, **4**, S. 305-332, Aachen.

- LEGRAND, R., 1969. — L'ancienne mine de Longvilly. Prof. Paper, *Serv. Géol. de Belgique*, n° 13, pp. 1-6.
- LEPELTIER, C., 1969. — A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Econ. Geol.*, pp. 538-550.
- MARTIN, H., LECOMTE, P. et SONDAG, F., 1971. — Distribution du cuivre dans les alluvions et les roches de la vallée de la Lomme (de Recogne à Grupont) : application de la théorie géochimique du bassin versant. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 94, pp. 277-293.
- MILLER, R. L. & KAHN, J. S., 1967. — Statistical analysis in the geological sciences. J. WILEY Ed., 483 pp.