

MISE EN ÉVIDENCE DE FAILLES À L'AIDE DE MESURES GÉOMAGNÉTIQUES ET D'ÉMANATION RADON DANS LA RÉGION DE STOLZEMBOURG, ÉISLÈK, GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Steve BORNAIN¹, Antoine KIES¹ & Michel EVERAERTS²

(5 figures)

1. *Laboratoire Physique des Radiations, Centre Universitaire de Luxembourg, 162A rue de la Faïencerie, L-1511 Luxembourg, Grand-Duché de Luxembourg*
2. *Observatoire Royal de Belgique, 3 avenue Circulaire, B-1180 Bruxelles, Belgique*

ABSTRACT. Fault detection by means of geomagnetic surveys and radon emissions in the vicinity of Stolzenbourg, Oesling, Grand Duchy of Luxembourg. Many structural and mineralogical data have been collected in the old copper mine near Stolzenbourg, north of Vianden. The mineralization follows strike-slip faults with a North-South orientation (oriented dip $60^{\circ}/270^{\circ}$), and is rejected by inverse faults with an East-West orientation (oriented dip $80^{\circ}/350^{\circ}$). The observation of the faults is only possible inside the mine, as nothing is visible at the surface. The study of the superficial traces of these faults by means of two geophysical techniques, magnetic measurements and the use of radon as a tracer gas, can be correlated. It is thus possible to show that lineaments oriented North-South, NW-SE and East-West exist and that some of them can be considered as fault traces. Radon measurements give aligned anomalies which could correspond with the fault trace.

KEYWORDS : faults, geophysical prospecting, geomagnetism, radon, Luxembourg.

RESUME. La région de Stolzenbourg, située au Nord de Vianden, est connue pour son ancienne mine de cuivre dans laquelle beaucoup de données structurales et minéralogiques ont pu être collectées. La minéralisation se retrouve suivant des failles de décrochement d'orientation Nord-Sud (pendage orienté $60^{\circ}/270^{\circ}$) et est rejetée par des failles inverses d'orientation Est-Ouest (pendage orienté $80^{\circ}/350^{\circ}$). Cependant l'observation de ces failles n'est possible qu'à l'intérieur de la mine, rien n'étant visible à l'affleurement en surface. L'étude de la trace de ces failles en surface par deux techniques géophysiques (mesures du champ magnétique et utilisation du radon comme gaz traceur) donne des résultats intéressants. Ainsi il a été possible de montrer que des linéaments d'orientation Nord-Sud, NO-SE et Est-Ouest existent et peuvent être les traces de failles sur le terrain. La prospection radon a donné des anomalies alignées qui pourraient correspondre à une faille.

MOTS CLÉS : failles, techniques géophysiques, géomagnétisme, radon, Luxembourg.

1. Introduction

Contrairement aux régions avoisinantes (Ardenne, Eifel) très peu d'informations sur le contexte structural et sur les minéralisations sont disponibles pour les Ardennes luxembourgeoises (Éislèk). Celles-ci sont constituées de sédiments éodévonien plissés parmi lesquels prédominent les schistes bien stratifiés avec des bancs de grès quartzitiques et des quartzophyllades. La région étudiée est la région NE du territoire du Luxembourg située sur le versant ouest de la vallée de l'Our et plus précisément aux alentours du village de Stolzenbourg connu pour sa mine de cuivre. Elle est implantée sur l'unité lithostratigraphique des Schistes de Stolzenbourg datée de l'Emsien inférieur.

Elle est formée essentiellement de roches à grains fins dans lesquelles sont intercalés des bancs gréseux massifs (Fig. 1). Le filon minéralisé exploité dans cette mine a un pendage orienté de $60^{\circ}/270^{\circ}$ et est d' à un remplissage de faille. Il est rejeté, à certains endroits, par des failles non minéralisées possédant un pendage orienté de $80^{\circ}/350^{\circ}$. Les failles minéralisées sont probablement des failles de décrochement, observation de stries sub-horizontales, tandis que celles non minéralisées sont inverses avec un rejet du filon variant de 10 à 50 centimètres (Lucius, 1950 ; Antun, 1968 ; Faber et Philippo, 1998 ; Bornain, 1999).

Au nord de cette région, la formation du Quartzite de Berlé constitue une formation repère qui a permis de

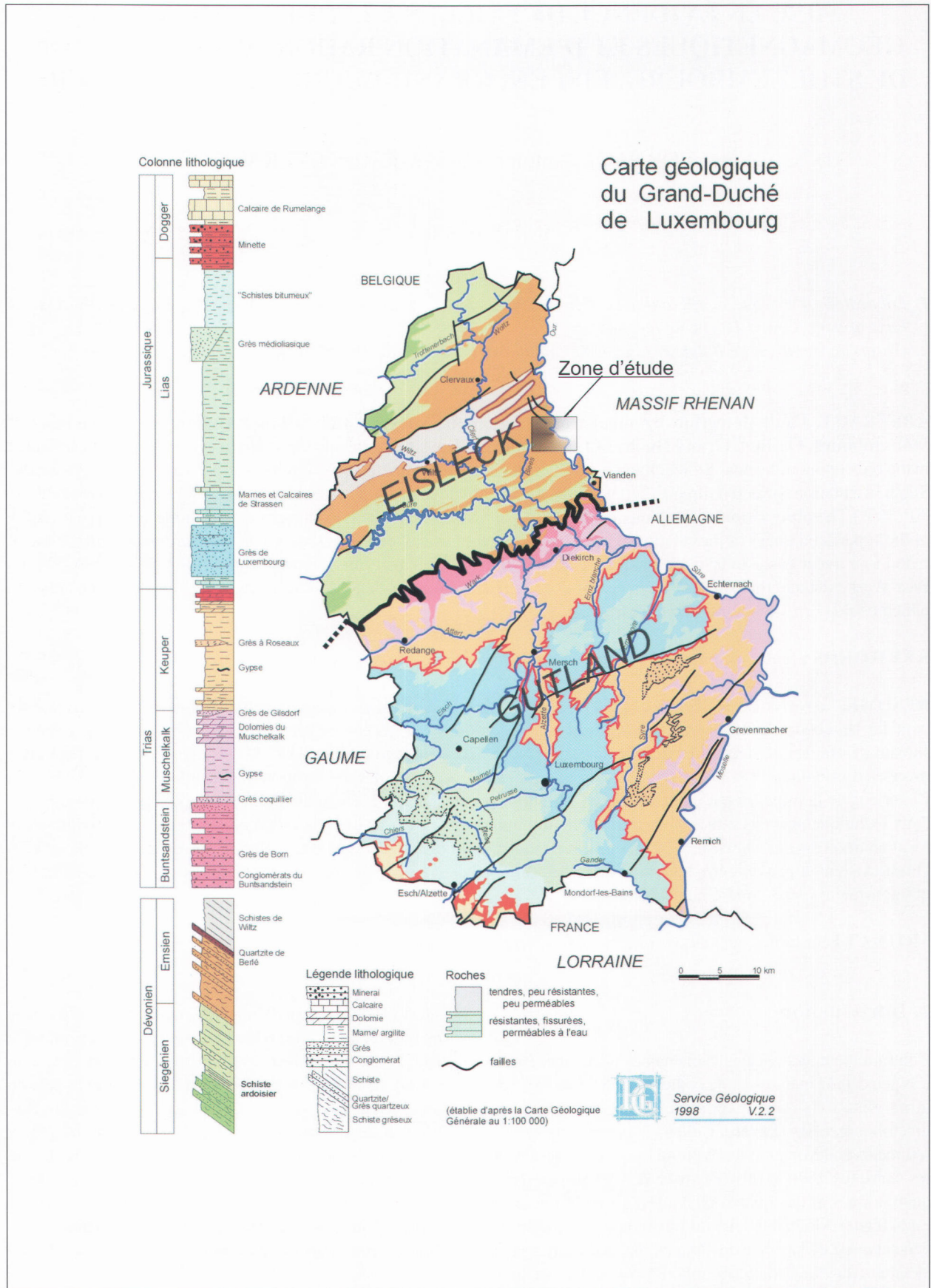


Figure 1. Carte géologique du Grand-Duché de Luxembourg et localisation de la zone d'étude (carré gris transparent à l'est d'Eisleck).
 Geological map of Grand-Duchy of Luxemburg and localisation of study area (grey-shaded zone east of Eisleck).

cartographier des failles d'orientation différente. Au sud de cette région, des failles sont également présentes dans le mésozoïque (Fig. 1).

Le but de ce travail est d'établir le lien entre les familles de failles cartographiées dans la région étudiée et autour de celle-ci, et les linéaments mis en évidence par différentes méthodes géophysiques.

Les résultats de cette étude devraient servir comme données supplémentaires pour l'élaboration de la nouvelle carte géologique du Grand-Duché de Luxembourg.

2. Techniques géophysiques

Parmi les nombreuses techniques géophysiques existantes, celles qui semblent les plus adaptées au problème posé et à la topographie de la région cible sont : les mesures du champ magnétique et la mesure de l'activité du radon contenu dans l'air du sol. Les anomalies mises en évidence par une activité élevée du radon dans le sol peuvent correspondre à la présence de failles (Zhu et al., 1999). Dans le futur, l'étude sera complétée par d'autres méthodes de prospection géophysique telles que la gravimétrie et la spectrométrie gamma in-situ.

2.1. Le magnétisme

Le magnétomètre à protons utilisé est le GA 856 construit par Geometrics appartenant au département de géophysique de l'IRM (Institut Royal Météorologique de Belgique). Son principe repose sur la mesure de la fréquence de précession des protons préalablement polarisés dans une direction normale au champ magnétique terrestre (Telford et al., 1990).

Après avoir prospecté le terrain d'étude avec le magnétomètre à protons, les données brutes ont dû subir deux corrections : une correction pour les variations

diurnes et une correction des variations du champ dues à l'activité humaine. La première consiste en l'élimination des variations diurnes dues à l'activité solaire. Les valeurs du champ de référence ont été fournies par la station de mesure de l'IRM basée à Manhay. Cette station de mesure a été choisie car elle est la plus proche du terrain d'étude. La différence entre ce champ de référence et le champ mesuré sur le terrain permet d'obtenir des valeurs représentant d'éventuelles anomalies. La seconde correction permet d'éliminer les anomalies parasites produites par exemple par les clôtures et les lignes à haute tension recensées sur le terrain lors de ce levé.

L'interdistance entre chaque point de mesure est fonction de la dimension des structures à cartographier. Sur le terrain, ces structures possèdent une échelle de quelques mètres (5 à 20 mètres) : l'interdistance est fixée à 10 mètres sur les profils. La distance entre les différents chemins lorsque c'était possible a été maintenue à 25 mètres. Cependant, à certains endroits, cette interdistance n'a pu être gardée à cause de la nature du terrain (topographie accidentée, inaccessibilité, Ö). Afin de ne pas dégrader, lors de l'établissement de la carte, les données acquises, un maillage de 25 mètres lors du krigeage a été choisi. Ceci implique que le long des chemins et entre les chemins situés à moins de 25 mètres, l'aliasing provoque du bruit lors de l'interpolation. Toutefois, dans certains cas, lorsque l'interdistance entre les chemins est de plus de 50 mètres, l'aliasing peut apparaître (exemple aux coordonnées 79000-115200, entre 77900-116500 et 78000-117800) (Telford, 1990).

Le premier traitement a été de localiser les valeurs des amplitudes des anomalies recherchées. Pour ce faire, l'établissement d'un histogramme sur les données brutes a été établi (Fig. 2). Comme constaté sur cette figure, les valeurs sont comprises entre -184 nT et -280 nT. Les anomalies significatives se trouvent dans une gamme de 96 nT. Pour optimiser la lisibilité de la carte, la définition

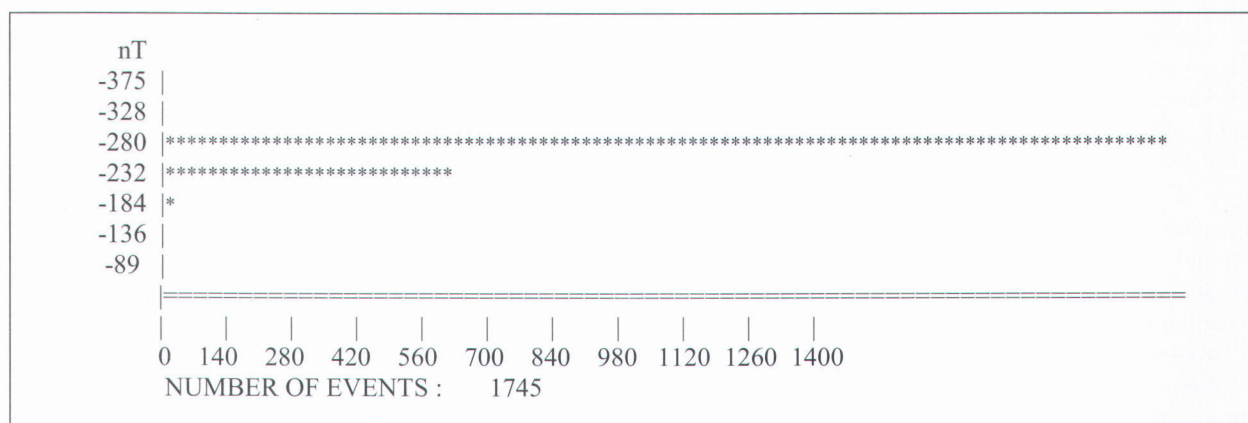


Figure 2. Histogramme des données magnétiques brutes (axe X : nombre de données, axe Y : valeur des amplitudes en nT)
Histogram of raw magnetic data (X-axis : number of events, Y-axis : range value)

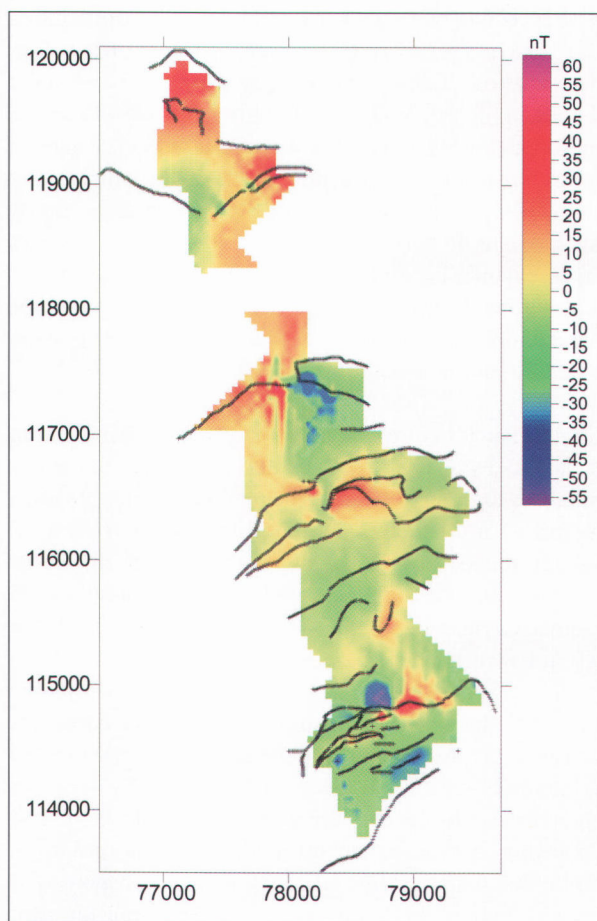


Figure 3. Carte du champ total réduit au pôle (coordonnées Gauss-Luxembourg, axes exprimés en mètre ; maillage 25m, interdistance entre points de mesure sur les chemins 10m, méthode d'interpolation : krigeage avec rayon de recherche de 35m). Les +++ correspondent aux points de mesure. Echelle : 1cm -> 590m.

Map of total field reduced to the pole (Gauss-Luxembourg coordinates, axis in meters, cell size 25m, data spacing on the tracks 10m, interpolated method : kriging with a search radius of 35m). The +++ correspond to the measurement points. Scale : 1cm -> 590m.

de nouveaux maxima et minima a été nécessaire. Cette étape correspond au déplacement des bornes. Elle a l'avantage de mettre en évidence les anomalies de faible amplitude. Sur cette base une carte montrant les anomalies de champ total a pu être obtenue.

Les anomalies présentes sur cette carte ne sont pas à l'aplomb de ce qui les crée : le champ magnétique ayant une déclinaison et une inclinaison sous nos latitudes. Afin de pallier à ce problème et de remettre les anomalies au-dessus des corps qui les provoquent, la réduction au pôle a été appliquée. Les paramètres de la transformation ont été pour l'inclinaison 66° Nord et 2° Ouest pour la déclinaison. La réduction au pôle proprement dite a été réalisée par la méthode de Baranov et Naudy (1964). En

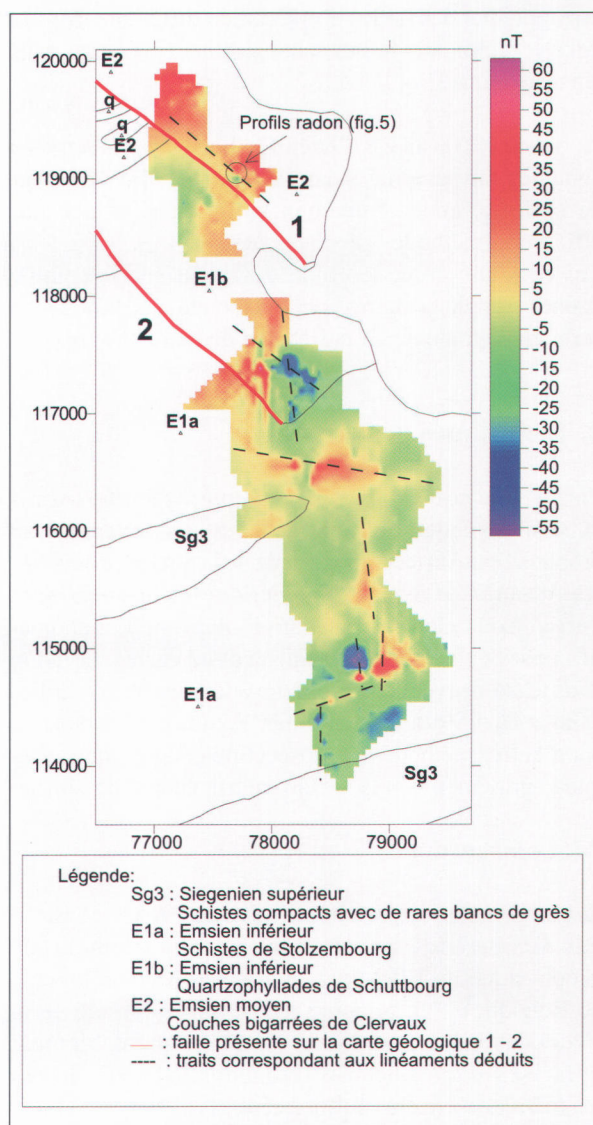


Figure 4. Carte du champ total réduit au pôle superposée à la carte géologique. Echelle : 1cm -> 590m.

Map of total field reduced to the pole map superposed on the geological map. Scale : 1cm -> 590m.

pratique, la carte des anomalies spatiales a été transformée dans le domaine de Fourier, l'opération mathématique correspondante à la réduction au pôle a été appliquée et les données obtenues ont ensuite été reconverties dans le domaine spatial. Le domaine de Fourier a été utilisé car il permet de réaliser des opérations compliquées de manière simple (multiplication, division). Après l'application de ce traitement, une nouvelle carte du champ total réduit au pôle a pu être obtenue et présente un certain nombre d'anomalies (Fig. 3).

La zone la plus négative (≤ -50 nT) est liée au site de la mine aux coordonnées 78600-114900 et montre une direction préférentielle Nord-Sud (Fig. 4). La zone négative comprise entre 78500-117000 et 78200-117500 possède

une orientation NO-SE. Une faible zone négative située à 79000-114400 est associée avec une ancienne galerie d'exploration caractérisée par une minéralisation en cuivre et barytine. Néanmoins, cette galerie n'a pas donné d'anomalie importante sans doute à cause de la faible épaisseur des filons de cuivre (< 10cm).

Pour les anomalies positives, quatre orientations ont été mises en évidence.

Une première orientation est NO-SE et se retrouve très clairement dans le Nord du terrain d'étude entre 77500-119000 (anomalie de 15 à 20 nT) et 77250-119250 (anomalie de 5 à 10 nT). Une seconde orientation est Nord-Sud. Elle est présente sous forme de petits linéaments parallèles entre eux aux coordonnées 79000-115200 (anomalie 20 à 25 nT), entre 77900-116500 et 78000-117800 (anomalie 5 à 40 nT) mais également par une anomalie de 15 à 20 nT plus marquée encore aux coordonnées 78500-115400 et 78500-115750. Une troisième orientation est Est-Ouest, et est apparente entre 78000-116250 et 79250-116250 (anomalie entre 30 et 35 nT). Une quatrième orientation est NE-SO et est visible entre 78400-114400 et 78800-114500 (anomalie 5 à 20 nT).

Les anomalies négatives et positives se présentent sous forme de linéaments. Pour les anomalies négatives, les linéaments correspondent sur le terrain aux failles minéralisées (la mine de cuivre correspondant typiquement à une anomalie négative). Ces linéaments sont orientés Nord-Sud ou NO-SE comme les failles minéralisées. Quant aux anomalies positives, leurs linéaments correspondent sur le terrain à des failles non minéralisées rejetant la minéralisation (phénomène observable dans les différentes galeries étudiées, Bornain, 1999).

Pour le linéament Est-Ouest, il faut noter que dans la mine, de petites failles non minéralisées d'orientation Est-Ouest recoupent la minéralisation. Il est probable que le linéament situé aux coordonnées 77500-116600 et 79000-116300 correspond à une faille plus importante que celles observées au sein de la mine, même si ces dernières ne sont pas exprimées par des linéaments, ce qui peut résulter de leur caractère mineur. Le linéament NO-SE (77250-119500 et 78100-118800) se situe à proximité de la faille 1 cartographiée sur la Carte Géologique. Malgré cette légère différence de position due à la différence d'échelle entre les cartes (la carte géologique digitalisée du Grand-Duché de Luxembourg possède une échelle de 1 : 50000 ; ceci implique qu'un trait de 1 mm correspond à une distance de 50 m sur le terrain), il est raisonnable de penser que ce linéament correspond à cette faille. Les linéaments Nord-Sud représentent des failles d'orientation Nord-Sud et donc parallèles aux failles minéralisées mais comblées par un remplissage d'argile. En terme minier ces failles

portent le nom de 'plate bande' ^a. Avec l'interprétation faite pour les trois orientations des linéaments précédents, le linéament NE-SO peut également être corrélé à une faille non minéralisée d'orientation NE-SO. Il est également à noter que pour la faille 2, aucun linéament n'est proche du tracé de celle-ci.

La conclusion qui peut être tirée de ce qui précède est que sur ce terrain, les linéaments associés aux anomalies négatives représentent des failles minéralisées et les linéaments associés aux anomalies positives des failles non minéralisées.

2.2. Radon

Aux environs des anomalies magnétiques mises en évidence dans le Nord du terrain d'étude aux coordonnées 78000-118800, quatre profils radon orientés Est-Ouest ont été réalisés.

Chaque profil a consisté en l'échantillonnage de l'air du sol à une profondeur de 1 mètre, les points d'échantillonnage étant alignés et distants de 2 mètres. La longueur des profils varie entre 30 et 50 mètres. Les concentrations en radon de l'air du sol ont été mesurées dans des cellules de scintillation. Le relevé d'un même profil a été réalisé en un intervalle de temps de 3 heures, ainsi les influences atmosphériques, quoique généralement faibles, ont pu être minimisées.

Sur chaque profil réalisé, une anomalie importante a été constatée (Fig. 5). Il est connu que les anomalies peuvent se trouver à l'aplomb de faille (Pane, 1995). Dans le cas présent ces anomalies montrent un alignement parallèle au linéament NO-SE, ce qui confirmerait la présence de la faille 1 (voir ci-dessus et Fig. 4).

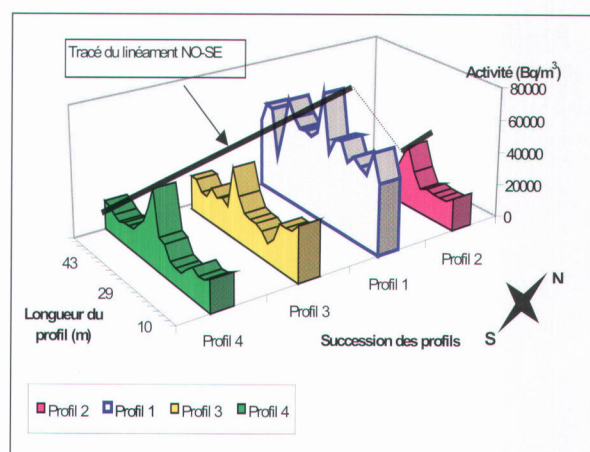


Figure 5. Succession des profils radon.
Succession of radon profiles.

3. Conclusion générale

Il a été montré dans ce travail et dans le cas de cette zone d'étude qu'une relation claire peut être établie entre les failles minéralisées et les anomalies négatives d'orientation Nord-Sud et NO-SE et également entre les failles non minéralisées et les anomalies positives d'orientation Est-Ouest, NE-SO, NO-SE et Nord-Sud.

La prospection radon donne des anomalies qui se situent géographiquement à l'endroit de la faille portant le numéro 1 sur la Carte Géologique digitalisée du Grand-Duché de Luxembourg, faille mise en évidence lors de la prospection magnétique.

Cette prospection confirme le lien entre les anomalies radon et les failles, de plus ces anomalies peuvent être utilisées pour valider les failles détectées par le magnétisme.

La complémentarité des différentes méthodes a donc été démontrée et a permis d'améliorer les connaissances des tracés de failles de la région de Stolzembourg.

4. Remerciements

Les auteurs remercient D. Laduron (UCL) pour ses remarques émises lors de l'évolution de cette étude et de la mise au point de ce manuscrit, J. Rasson (Institut Royal Météorologique de Belgique basé à Dourbes) pour avoir prêté le magnétomètre à protons et avoir fourni les valeurs permettant de corriger les fluctuations journalières du champ magnétique, J.M. Charlet et O. Kaufmann pour également avoir prêté leur magnétomètre à protons, S. Philippo et M. Schneider (Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg) pour l'aide scientifique et logistique, les re-lecteurs Th. Camelbeeck et M. Sintubin pour leurs commentaires constructifs.

5. Bibliographie

ANTUN, P., 1968. *Die Stölzemburger Kupfererzgänge : Erwägungen zu ihrer Geologie, Mineralogie und*

Ausbeutbarkeit. Note interne. Bibliothèque de Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg, Grand-Duché de Luxembourg, 28 pages.

BARANOV, V. & NAUDY, H., 1964. Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, 29 : 67-69.

BORNAIN, S., 1999. *Etude de la minéralisation filonienne de cuivre de Stolzembourg (Vianden, Grand-Duché de Luxembourg)*. Mémoire de fin d'étude, Université Catholique de Louvain, Belgique, 100 pages.

FABER, A. & PHILIPPO, S., 1998. *Mir gin op d'Grouf*. Brochure du Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg, Grand-Duché de Luxembourg, 31 pages.

LUCIUS, M., 1950. *Geologie Luxemburgs, Das Oesling*. Publication IV du Service Géologique de Luxembourg, Grand-Duché de Luxembourg, 174 pages.

PANE, M.B., 1995. Le radon : traceur des circulations fluides dans les aquifères karstiques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 320, série II a, Paris, France, 7 pages.

TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E., 1990. *Applied Geophysics : Second Edition*. Cambridge University Press, United Kingdom, 770 pages.

SERVICE GEOLOGIQUE DE LUXEMBOURG, 1996. *Carte Géologique du Grand-Duché de Luxembourg*, Service Géologique du Grand-Duché de Luxembourg.

ZHU, H.C., CHARLET, J.M., TONDEUR, F., 1999. Indoor radon levels in relation to geology in southern Belgium, *Il Nuovo Cimento C (Geophysics and Space Physics)*, V22C, n°3-4, p. 353-358.

Manuscrit reçu le 14.08.2002 et accepté pour publication le 06.11.2002