

## LE RADON EN PROSPECTION MINIÈRE, APPLICATION À LA RECHERCHE DES MINÉRALISATIONS DE LA PROVINCE CUPROCOBALTIFÈRE DU SHABA (CONGO)

Jean-Marie CHARLET<sup>1</sup> & Kayembe MAKABU<sup>2</sup>

**RESUME.** Les propriétés du radon susceptibles d'être mises à profit en prospection minière sont rappelées. Elles permettent de rechercher les gisements cachés ou profonds d'uranium ou de toutes substances minérales associées à l'uranium. Elles sont basées sur la migration sélective du radon vers la surface en relation soit avec des zones fracturées, soit avec un gaz porteur lié à des processus biochimiques d'oxydo-réduction des minerais primaires (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,...).

Les techniques radon peuvent être appliquées à différents stades de la prospection minière.

Dans une phase de reconnaissance générale, on utilisera le radon dans les eaux souterraines à partir des sources, des puits,... Dans une phase plus détaillée de prospection on utilisera le radon dans les sols.

Les différentes méthodes instantanées ou intégrées sur une certaine période de mesure (de quelques jours à quelques semaines) sont discutées. Des techniques simples et peu coûteuses ont été développées à la Faculté Polytechnique de Mons. Les détecteurs peuvent être lus en utilisant un scintillateur de terrain dont dispose la plupart des compagnies minières pour la prospection radiométrique pédestre.

Après avoir rappelé quelques études de cas on présentera une application récente aux minéralisations cuprocobaltifères du Shaba dans lesquelles l'uranium est associé (gisement de Lwiswishi).

Les recherches préliminaires sur le site de Lwiswishi montrent la possibilité de distinguer des concentrations uranifères d'origine pédologique dans les profils latéritiques et des concentrations plus profondes liées à des minéralisations à Cu-Co-U dans la série des Mines. La méthode pourrait être utilisée dans la sélection des sites avant une campagne de forages ou dans la recherche, en sondages, des témoins de proximité d'une minéralisation.

**MOTS-CLES.** Radon, uranium, exploration minière, Shaba (Congo).

**ABSTRACT.** Radon in mineral prospecting, applied to the copper-cobalt mineral deposits of Shaba (Congo).

The properties of radon which can be used in mining exploration are recalled. They allow to search the hidden or deep deposits of uranium or raw materials associated with uranium. They are based on the selective migration of radon to the ground surface in relation either with fractured zones, or with a carrier gas linked with biochemical processes (oxydo-reduction) of primary minerals (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,...).

The radon methods can be applied for different stages of exploration.

In a reconnaissance phase radon in underground waters from springs, wells, .... In a more detailed phase radon can be investigated in soils.

The different methods, instantaneous or integrated during a certain period (a few days to a few weeks) will be discussed. Simple and low cost techniques have been developed at the "Faculté Polytechnique de Mons". The detectors can be read by a portable scintillator that many mining companies use for land radiometric prospecting. After having recalled some case studies a new application is proposed copper-cobalt mineralizations of Shaba in which uranium is associated (Lwiswishi deposit).

Preliminary investigations on the Lwiswishi site show the possibility to distinguish uraniferous concentrations linked with pedology in the lateritic profiles and deeper concentrations linked with Copper-Cobalt-Uranium mineralizations. The method could be used in the selection of sites for a drilling survey or in borehole examination for proximity indication of mineralizations.

**KEY WORDS.** Radon, uranium, mining exploration, Shaba (Congo).

<sup>1</sup> Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain 9 - B-7000 Mons.

<sup>2</sup> Faculté Polytechnique, Université de Lubumbashi, BP 1825 - Lubumbashi, Congo.

# 1. LES TECHNIQUES GAZ EN EXPLORATION MINIÈRE

## 1.1. INTRODUCTION

Parmi les produits de désintégration de l'uranium, le radon et l'hélium, gaz rares peuvent migrer facilement et constituer ainsi des indicateurs de la présence de minéralisations cachées. Le radon, en raison de sa radioactivité ou de celle de ses descendants solides peut être détecté facilement et à de faibles concentrations dans les sols ou les eaux. De nombreux travaux ont ainsi été effectués sur le radon à l'époque où la recherche de nouveaux gisements était un objectif prioritaire de l'industrie nucléaire, plus particulièrement lorsque la prospection s'est orientée vers la recherche de gisements ne présentant pas d'indices de surface.

Avec le support de l'Agence de l'Energie Nucléaire (AEN) et de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) des groupes de travail furent créés et les résultats des recherches firent l'objet de publications et synthèses dans les congrès internationaux (symposium de l'IAEA, 1972-1973 et 1976 et de l'AEN, 1982).

C'est dans ce contexte qu'en 1977 nous proposons une méthode originale basée sur la mise en évidence d'un effet de dose dans les minéraux des formations de couverture, effet de dose en relation avec la migration du radon (Charlet *et al.*, 1977) ; l'effet de dose étant révélé par le biais de la thermoluminescence du quartz et des feldspaths, minéraux fréquents dans les formations superficielles. Cette recherche a été soutenue par les Communautés européennes et a fait l'objet de tests sur différents sites de la COGEMA et de Total Compagnie Minière. Une synthèse de ces travaux a été présentée à Mons au Colloque international sur la géochimie des gaz en 1990.

Ce sont encore les méthodes radon qui nous ont permis de découvrir les minéralisations uranifères de la région de Bièvre dans le Dévonien inférieur de l'Ardenne méridionale. Un exposé complet de la méthodologie développée, depuis la prospection radiométrique autoportée (Charlet *et al.*, 1983) jusque la réalisation de sondages (Dejonghe *et al.*, 1992) a été présenté par l'un de nous au cours du 2ème colloque international sur la géochimie des gaz en 1993 à Besançon.

Avec la crise que connaît depuis plusieurs années l'industrie minière de l'uranium, les recherches sur le radon se sont d'avantage orientées vers les problèmes environnementaux et la prévision des risques géologiques (voir p. ex les actes du Colloque international sur la géochimie des gaz rares en 1990 à Mons et en 1993 à Besançon).

Toutefois le radon est susceptible de trouver en prospection minière de nombreuses et nouvelles voies d'applications. Elles sont basées sur son comportement dans la géosphère (Ball *et al.*, 1991) et pour lequel deux grands ensembles de facteurs vont jouer : les sources possibles de radon et les processus de transport vers la surface.

Le radon 222, le seul isotope susceptible de présenter un intérêt en raison de sa demi-vie (3,8 jours) est un produit de désintégration de l'U238. Aussi, les méthodes radon sont applicables dans l'exploration de toute substance minérale associée à l'uranium. De nombreux cas peuvent être cités : phosphates, terres rares, niobium-tantale, beryllium,... C'est dans la même optique que nous proposons l'utilisation des techniques radon pour la prospection des minéralisations de l'arc cuprocobaltifère du Shaba-Zambie.

Les processus de migration du radon dans la géosphère sont complexes (Ball *et al.*, 1991) et font intervenir :

- le facteur d'émanation, quantité de radon qui s'échappe de la roche et qui dépend de l'état cristallin du minéral porteur, de la granulométrie, de la porosité,...
- le transport vers la surface favorisé par la fracturation et qui dépend également des conditions hydrogéologiques ou de la présence d'un gaz porteur tel que le CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,...

C'est ainsi que les techniques radon ont été proposées pour la prospection de gisement où l'uranium n'est pas nécessairement associé aux minéralisations mais qui sont liés à la fracturation (Ball *et al.*, 1985 ; Charlet, 1990).

D'autres gaz parfois utilisés en prospection proviennent de l'oxydation des minerais sulfurés et peuvent jouer le rôle de fluide porteur pour le radon (Ball, 1991 ; Rice et Sharp 1976).

## 1.2. LES TECHNIQUES RADON

Les techniques radon peuvent être appliquées à différents stades de la prospection minière.

Dans une phase de reconnaissance générale ou de prospection dite "stratégique" on utilisera le radon dans les eaux souterraines en échantillonnant les sources, les puits,...

Dans une phase plus détaillée de prospection tactique on utilisera le radon dans les sols.

Deux catégories de mesures doivent donc être discutées visant à la détermination des concentrations en radon dans les sols et les eaux.

Nous écarterons les techniques qui tout en étant précises ou très sensibles sont trop longues et trop sophistiquées et qui sont surtout utilisées par les laboratoires qui se préoccupent de la physique du radon ou des problèmes environnementaux.

Pour les mesures du **radon dans le sol** on peut utiliser :

- des méthodes instantanées émanométriques qui consistent à prélever par pompage le gaz du sol et à l'envoyer dans une chambre d'ionisation ou un scintillateur au sulfure de zinc. Le CEA avait développé un émanomètre particulièrement robuste et efficace (EPP 10) qui malheureusement n'est plus sur le marché

- des méthodes intégrées qui consistent à placer dans le sol un détecteur (charbon actif, détecteur solide de traces,...) qui sera lu après récupération.

Cette deuxième catégorie de méthodes a l'avantage de permettre l'intégration de la dose radon sur une certaine période afin d'atténuer l'effet des variations journalières et météorologiques. La période optimum d'implantation du détecteur dans le sol est lié au principe physique sur lequel celui-ci est basé. On peut, soit utiliser les dégâts produits dans la matière par les particules alpha (détecteurs solides de traces comme les films kodak ou le CR39), soit l'absorption du radon sur un support (charbon actif, plastiques, plaque de Rutherford,...) qui laisse, après désintégration, des descendants solides émetteurs de rayonnement gamma ou de particules alpha. Dans le premier cas, la période d'implantation peut être longue (quelques semaines) : la saturation n'étant pas atteinte pour les doses généralement mesurées et seule une forte densité de traces peut gêner la lecture. Dans le second cas la saturation est obtenue après un temps qui dépend de la demi-vie du radon et/ou de ses descendants solides.

Dans le cas du charbon actif l'enregistrement sur une station continue de mesure a montré (Charlet *et al.*, 1990) que la période d'implantation recommandée en tenant compte de la demi-vie du radon (plusieurs semaines) était trop longue et que la saturation était atteinte après quelques jours (équilibre lié au recul du noyau émetteur lors de l'émission d'une particule alpha). Pour des raisons de compétition entre le radon et d'autres gaz, on n'a pas intérêt à prolonger la durée d'implantation au-delà de la saturation.

Pour les mesures de **radon dans l'eau**, on peut utiliser comme pour les mesures dans le sol, des méthodes instantanées ou intégrées. Dans le cadre de la prospection minière, les méthodes les plus simples et rapides sont basées sur le coefficient de partage du radon entre l'eau et les liquides organiques.

Toute opération de prélèvement ou de stockage des détecteurs doit être effectuée dans des flacons en verre à bouchon rodé pour éviter les pertes de radon.

Dans le cas de la méthode instantanée, l'échantillon prélevé est soumis en laboratoire à une extraction liquide-liquide, le comptage s'effectuant par gammamétrie sur les descendants du radon concentré dans le liquide organique (Quinif *et al.*, 1984). La méthode développée à Mons a fait l'objet d'un test de validation et de calibration sur une série de

prélèvements et de mesures réalisés en commun avec l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie de Bruxelles (Doremus, 1985; Kotzmann-Routier, 1992).

La méthode intégrée que nous appliquons est largement inspirée des travaux de Pochet (1982) qui nous ont conduit à la mise au point de détecteurs passifs en milieu saturé (Doremus *et al.*, 1988).

La méthode consiste à immerger dans l'eau un flacon en polyéthylène contenant un liquide organique et d'attendre l'établissement d'un équilibre entre les deux fluides. Le tracé de courbes expérimentales d'équilibre en laboratoire et sur le terrain a montré que la saturation n'est atteinte qu'après 10 à 15 jours, ce qui fixe la période d'implantation que l'on peut recommander (Kotzmann-Routier, 1992).

Les détecteurs peuvent être utilisés dans des zones marécageuses ou dans des puits et sondages dans lesquels un véritable log radon peut être réalisé suivant la verticale.

## 2. APPLICATION DES MÉTHODES RADON À LA PROSPECTION DES MINÉRALISATIONS CUPROCOBALTIFÈRES DU SHABA

### 2.1. INTRODUCTION

En 1990, nous proposons d'utiliser les propriétés de mobilité de l'uranium ou de ses descendants dans la prospection des gisements cuivre-cobalt du Shaba (Makabu *et al.*, 1990). Une étude du comportement des radioéléments dans quelques profils latéritiques des environs de Lubumbashi (Makabu *et al.*, 1990) a mis en évidence deux types d'anomalies :

- des anomalies uranifères localisées dans l'environnement immédiat de concentrations cuprocobaltifères comme à Lukuni
- des anomalies en uranium et (ou) thorium liées à une concentration pédologique de ces radioéléments dans les cuirasses latéritiques.

Si dans un premier temps une prospection radiométrique classique est utile, elle ne permet cependant pas de différencier avec certitude les "bonnes" anomalies des "fausses" anomalies (non liées aux minéralisations).

En vue de distinguer les anomalies-sols, d'origine superficielle, pédologique et les anomalies liées à des minéralisations en position plus distale ou profonde, la thermoluminescence des quartz de néoformation des profils latéritiques a fait l'objet d'une étude présentée au cours du Colloque international Cornet (Charlet *et al.*, 1994). La thermoluminescence permet de mettre en évidence une dose d'irradiation éventuellement fossile liée à la migration de l'uranium ou de ses descendants solides ou gazeux (Charlet *et al.*, 1987). Elle reste cependant une

méthode qui exige une assez longue préparation de l'échantillon, un appareillage faisant appel à une technologie développée (compteur de photons,...) ainsi qu'une source radioactive artificielle d'assez forte intensité (quelques curies).

Dans le cadre d'un accord de collaboration entre la Faculté Polytechnique de Mons et l'Université de Lubumbashi, il a été possible de réaliser en mai 1995 une campagne de mesures destinées à tester des méthodes radon classiques plus simples et moins coûteuses.

## 2.2. LA ZONE TEST

Le gisement cuprocobaltifère de Lwiswishi, d'accès facile, à 15 km de Lubumbashi, a été sélectionné pour évaluer les méthodes radon. Exploité pour le cuivre il présente dans sa partie centrale des minéralisations uranifères largement exprimées avec des plages d'uraninite parfois centimétriques associées aux sulfures de cuivre et cobalt. Il constitue le thème d'une étude très détaillée, sujet de thèse de Loris,

dont les résultats préliminaires furent présentés à Mons au cours du Colloque international Cornet (Loris *et al.*, 1994).

Le gisement de Lwiswishi appartient à l'arc métallifère du Shaba-Zambie (fig. 1 et fig. 2). Les minéralisations stratiformes à cuivre-cobalt et auxquelles l'uranium est souvent associés (Ngongo-Kashisha, 1975) sont localisées à la base du Katanguien (Proterozoïque supérieur), dans la série des Mines (Roan moyen) sous forme de deux corps minéralisés dont l'épaisseur peut atteindre une dizaine de mètres. Une synthèse géologique et métallogénique a été publiée par François en 1987 et une récente mise au point des nombreux travaux effectués sur cette importante province métallifère a été présentée par François au cours du Colloque international Cornet en 1994 ainsi que dans le volume "Journal of African Earth Sciences, 1994".

La tectonique de ces gisements est très complexe. C'est grâce à cette tectonique tangentielle et extrusive que le Roan minéralisé du Katanguien inférieur (série des Mines) apparaît en écaïlles reposant sur le Kundelungu du Katanguien moyen et supérieur

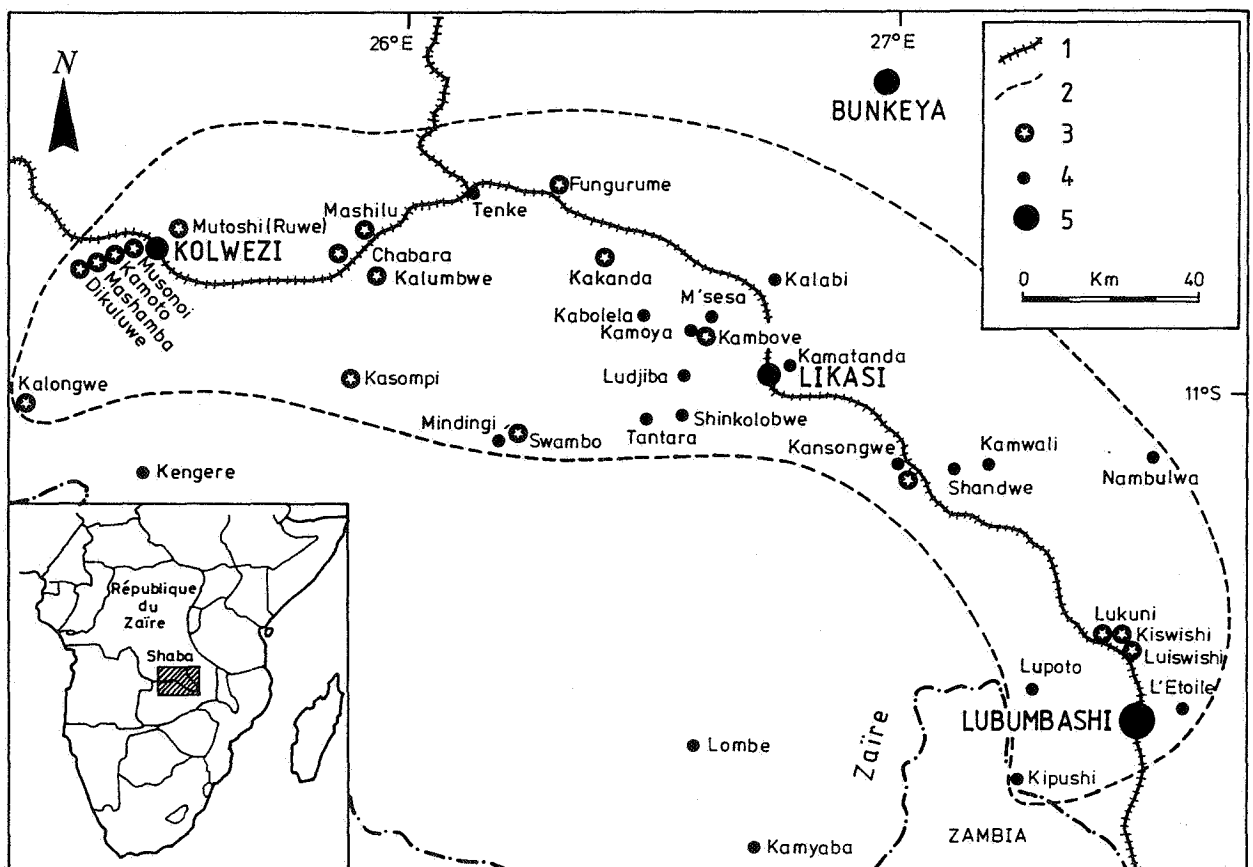
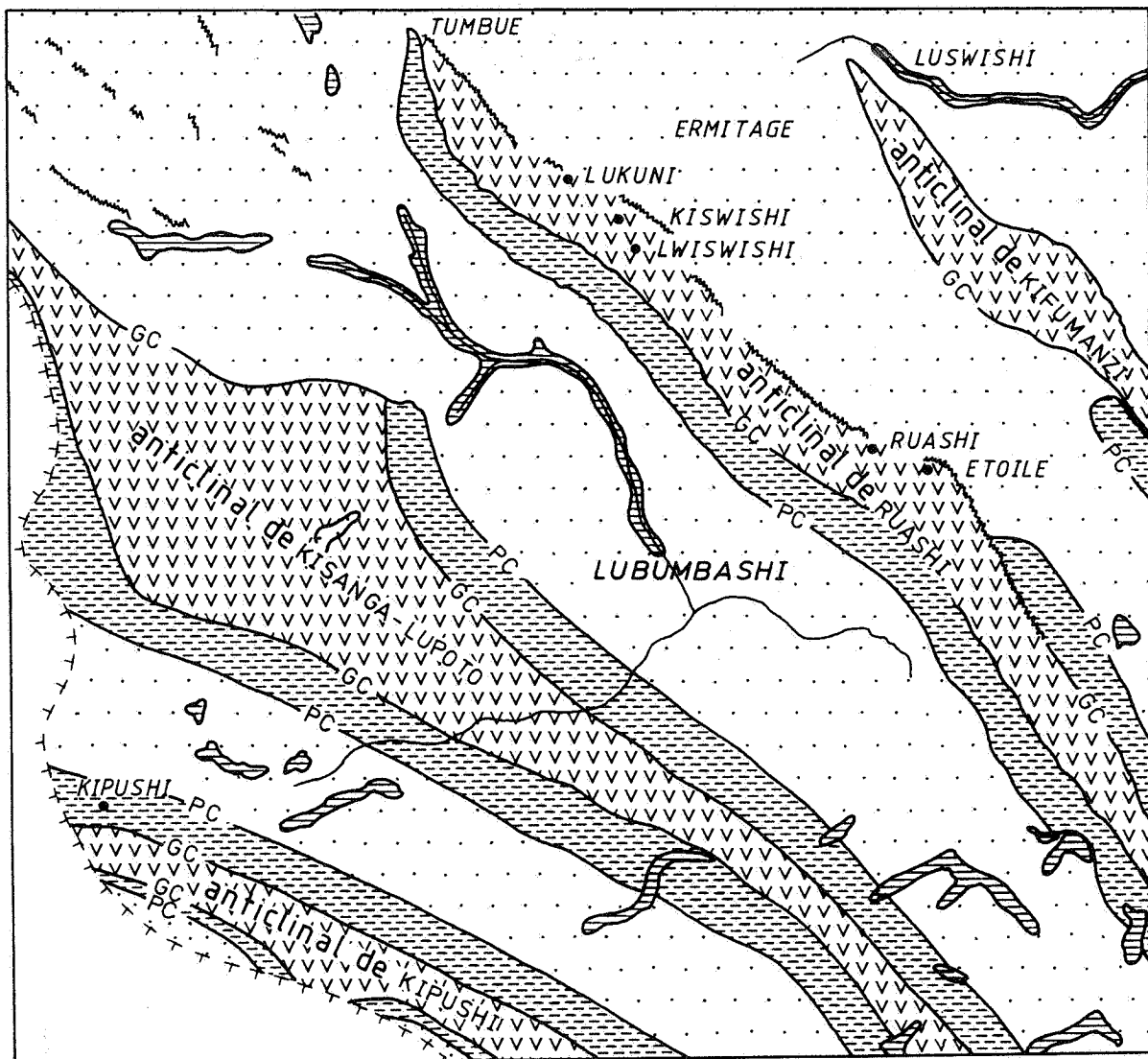


Figure 1. L'arc cuprocobaltifère du Shaba-Zambie (partie Shaba), répartition des concentrations uranifères

1. route
2. limite de l'arc Shaba-Zambie
3. mine ou prospect contenant de l'uranium
4. mine ou prospect sans uranium
5. villes principales



**Figure 2.** Esquisse géologique des environs de Lubumbashi (d'après Intiomale, 1969)

1. alluvions
2. Kundelungu supérieur
3. Petit conglomérat, base du Kundelungu supérieur
4. Kundelungu inférieur
5. Grand conglomérat, base du Kundelungu inférieur
6. Roan
7. failles

(François, 1973). Le gisement de Lwiswishi appartient à une série de petits gisements qui jalonnent l'anticlinal faillé de Ruashi (fig. 2).

On peut y rencontrer dans deux carrières principales (carrière 1 à l'Est et carrière 2 à l'Ouest) la série des

Mines minéralisée, orientée approximativement E-W avec un pendage moyen de 20°S.

Elle repose sur les formations des RAT lilas, stérile et appartenant au Roan inférieur. C'est dans la partie centrale de la carrière 1 que l'on observe les

minéralisations uranifères associées au Cu-Co, largement exprimées dans des lentilles à magnésite au sein des RAT grises. Les résultats d'un levé radiométrique complet réalisé par Loris et d'autres collègues a été présenté au cours du colloque international Cornet (Charlet *et al.*, 1994). Un profil type situé à l'extrémité orientale de l'exploitation est donné à la fig. 3.

Il montre la brutale augmentation de la radioactivité à la base des RAT grise (roche argilo talqueuses) et la présence de plusieurs anomalies importantes dans une série globalement enrichie en uranium : anomalie principale au sein des RAT grises, anomalie secondaire au sommet des roches siliceuses feuilletées (RSF) et dans les BOMZ (unité lithologique "black ore mineralized zone" entre les schistes dolomitiques inférieur et supérieur). Les teneurs atteignent 25 ppm environ dans les dolomites stratifiées (D strats, RSF) dans les roches siliceuses cellulaires (RSC) généralement considérées comme stériles entre les deux corps minéralisés en Cu-Co et dans les schistes dolomitiques (SD).

La carrière 2 était considérée comme non uranifère. Une reconnaissance à l'aide d'un scintillateur nous a cependant montré l'existence de quelques anomalies, principalement au niveau des RAT grises ou dans certaines tranchées creusées dans les formations latéritiques de couverture.

### 2.3. L'IMPLANTATION DES PROFILS RADON ET LA MÉTHODOLOGIE

Deux profils ont été réalisés perpendiculairement à la direction des couches, les détecteurs étant implantés tous les 10 mètres. Le profil 1 est situé au droit du front oriental de la première exploitation au niveau du profil radiométrique présenté à la figure 3. Les formations appartenant au Roan inférieur et moyen sont subaffleurantes et ont été reconnues par une série d'anciennes tranchées.

Le profil 2 est situé au droit de front oriental de la carrière 2 où la série des Mines affleure depuis les RSF jusqu'aux SD. Une couverture d'épaisseur variable mais qui ne dépasse pas quelques mètres est constituée de formations latéritiques à granules d'oxyhydroxydes de fer.

En outre, quelques détecteurs ont été implantés au fond de la carrière 1 dans une zone fréquemment noyée et où des dépôts alluvionnaires très radioactifs reposent sur les RAT lilas.

En 1995, le gisement faisait l'objet d'un travail artisanal assez intense pour l'exploitation de la malachite, ce qui a permis d'obtenir l'aide des équipes de creuseurs pour la pose des détecteurs, leur surveillance pendant la durée d'implantation et leur récupération.

La campagne de mesure a été effectuée les 29 et

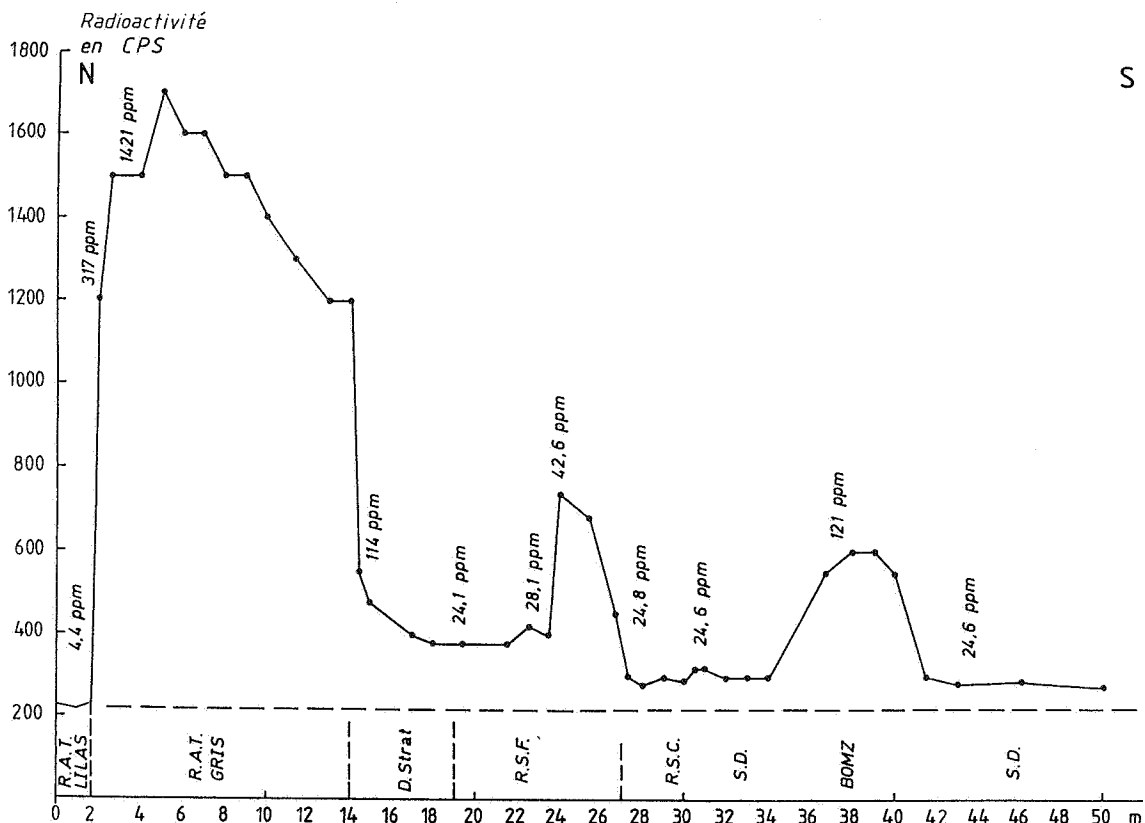


Figure 3. Profil radiométrique type du gisement de Lwiswishi. Les teneurs en uranium (exprimées en ppm) résultent d'une analyse sur la chaîne de spectrométrie gamma de laboratoire. Explication des termes lithostratigraphiques dans le texte

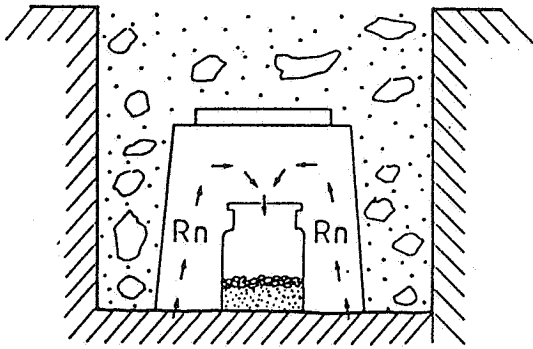


Figure 4. Schéma d'un détecteur au charbon actif ; explications dans le texte

30 mai 1995, pendant la saison sèche, sous des conditions météorologiques très stables. Les mesures ont été réalisées selon le dispositif schématisé fig. 4. Dans un flacon de verre à col large et bouchon rodé, on introduit 5 gr de charbon actif et 5 gr de silicagel (afin d'atténuer l'effet de l'humidité).

Le flacon est fermé hermétiquement par un joint de graisse au silicone. Après avoir enlevé le bouchon le détecteur est placé dans un trou de 0,50 m de profondeur et recouvert d'un pot en plastique faisant office de cloche à radon. Une mesure de radioactivité totale fond de trou a été effectuée avant l'implantation du détecteur. Lors de la récupération, 24 heures plus tard, le détecteur est scellé afin d'éviter les pertes en radon. Le comptage des descendants solides,

émetteurs de rayonnement gamma a été réalisé directement sur le terrain à l'aide d'un scintillateur digital GIS-5 (Scintrex) en faisant la moyenne de trois mesures de 30 secondes. Le bruit de fond du GIS-5 mesuré à Lubumbashi a été de 230 cps et a été ramené à une valeur moyenne de 50 cps en protégeant le détecteur du rayonnement cosmique par quelques briques de plomb. Le comptage a été répété le 2 juin à la Faculté Polytechnique de Mons sur une chaîne classique de spectrométrie gamma avec des temps de comptage de 400 sec (bruit de fond moyen de 20,5 cps). Pour ce comptage effectué 72 heures après la récupération, on a appliqué une correction (en  $e^{\lambda t}$ ) pour tenir compte de la décroissance radioactive du radon.

La corrélation entre les lectures effectuées directement sur le terrain avec un scintillateur utilisé pour la prospection radiométrique classique et les lectures effectuées sur une chaîne de spectrométrie gamma est excellente ( $r^2 = 0,990$ ) avec une large répartition des points sur la droite de corrélation (fig. 5).

Parallèlement à l'utilisation des détecteurs au charbon actif des détecteurs solides de traces nucléaires ont été implantés sur les mêmes sites. Des plaquettes de CR39 de 3cm X 1cm ont été fixées sur le fond des pots de plastique qui recouvrent les détecteurs solides. La révélation des traces a été effectuée à Mons par attaque à NaOH.

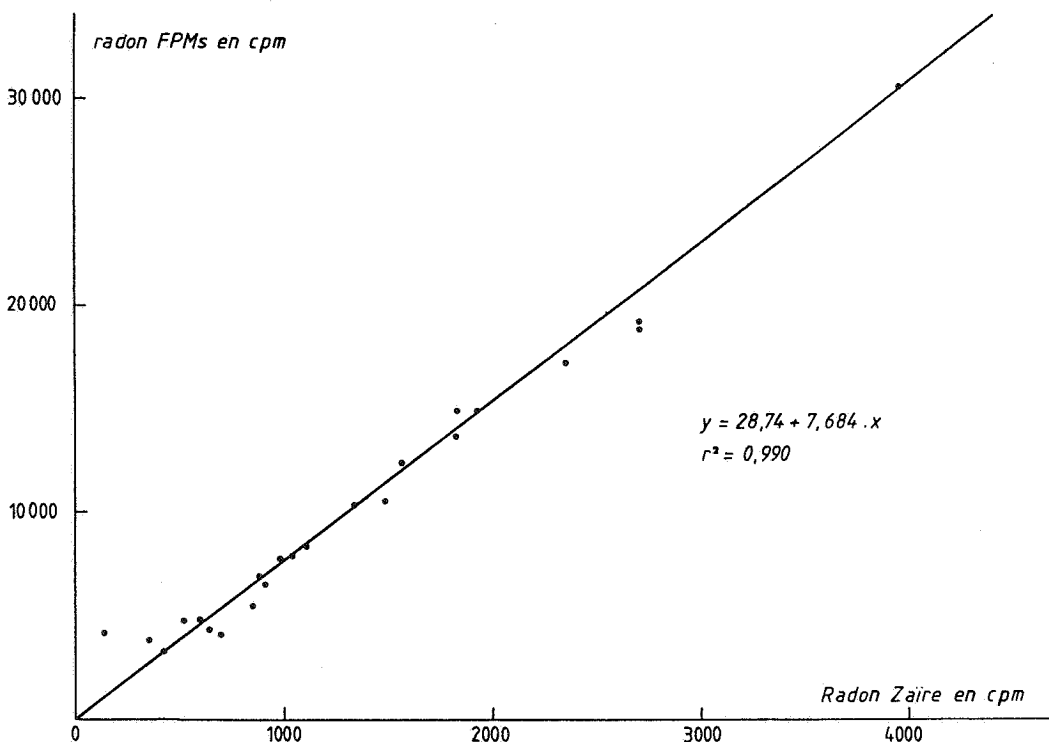


Figure 5. Droite de corrélation entre les taux de comptage mesurés sur le terrain (radon Congo) et au laboratoire de la Faculté Polytechnique de Mons (FPMs).

Les taux de comptage sont exprimés en coups par minute (cpm).

Le principal problème a été posé par la formation de gouttelettes d'eau de condensation empêchant ces endroits d'être atteints par les particules alpha. Il y a lieu également de noter sur ces films la présence de nombreuses rayures liées à la manipulation de ces détecteurs dans une atmosphère poussiéreuse. Pour faciliter la lecture de ces films et éliminer les artefacts, un traitement à l'analyseur d'images devrait être effectué à la Faculté Polytechnique de Mons.

## 2.4. LES RÉSULTATS

Le profil 1 réalisé au droit de la zone minéralisée (fig. 6) montre comme pour le profil radiométrique (fig. 4) une montée rapide de la concentration en radon à la base de la série des Mines. L'allure du profil est analogue à celle du profil de radioactivité "fond de trou" avec une forte anomalie au niveau des RAT grises, des anomalies plus faibles au niveau du sommet des RSF et des BOMZ. Le coefficient de corrélation est bon ( $r^2=0,768$ ), les valeurs de radioactivité anormalement élevées dans les premiers points de mesures situés sur les RAT lilas étant liés probablement à la présence de colluvions en bas de pente. On peut noter, que l'utilisation des techniques radon amplifie considérablement les anomalies que

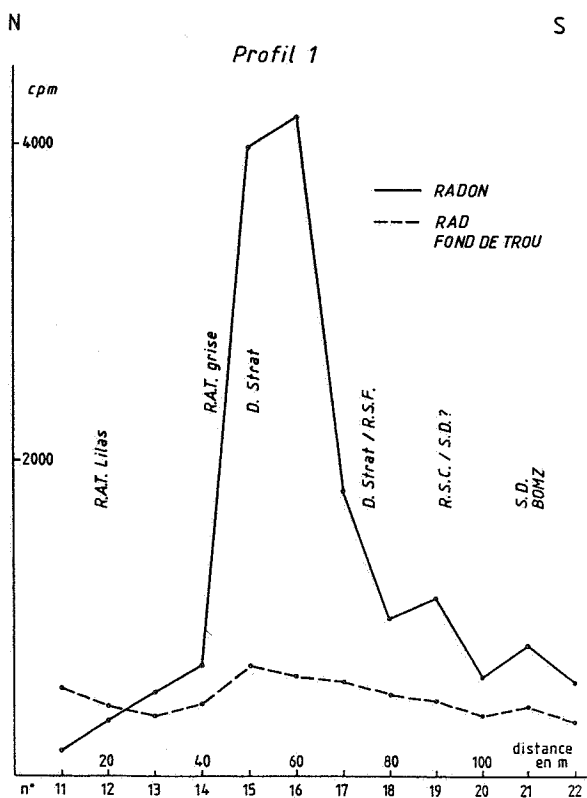


Figure 6. Profil 1, comparaison des concentrations en radon et de la radioactivité "fond de trou". Les mesures sont exprimées en unités arbitraires (coups par minute; cpm).

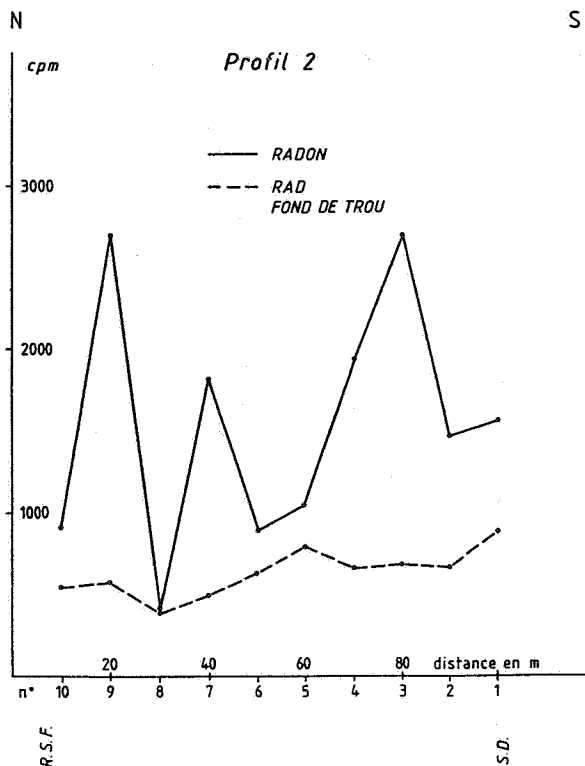


Figure 7. Profil 2, comparaison des concentrations en radon et de la radioactivité "fond de trou".

Les mesures sont exprimées en unités arbitraires (coups par minute ; cpm).

l'on pourrait mettre en évidence par une prospection radiométrique classique.

Le profil 2 réalisé au droit d'une exploitation considérée comme non minéralisée en uranium montre également (fig. 7) de fortes anomalies radon qui ne sont pas corrélables avec la radioactivité "fond de trou" (coefficient  $r^2=0,227$ ). La destruction de cette corrélation montre que la source radon est plus profonde ou plus distale et est un indicateur de la présence d'anomalies uranifères sous-jacentes. Cette déduction à partir de l'examen du profil radon a été confirmée par la découverte d'une anomalie uranifère (à 260 ppm en uranium métal) dans une minéralisation à malachite-hétérogenite que nous avons pu extraire sous une couverture latéritique de plusieurs mètres, au fond d'une ancienne tranchée de prospection.

Lorsque l'on considère l'ensemble des mesures en incluant celles réalisées dans la carrière 1, on constate l'absence de corrélation entre les mesures radon et les mesures de radioactivité "fond de trou" ( $r^2=0,021$ ). Cette chute de coefficient de corrélation est principalement due aux points 23 et 24 situés au fond de la carrière 1 et où la forte anomalie radiométrique est essentiellement superficielle et liée à l'alluvionnement dans une zone périodiquement inondée.



Stations	1	2	3
Profil 1			
11	156	4219	566
12	356	3950	450
13	530	4865	375
14	702	4044	465
15	3972	30588	700
16	4160	35082	630
17	1826	15015	600
18	990	7697	530
19	1108	8353	470
20	638	4396	385
21	848	5414	440
22	594	4875	340
Profil 2			
1	1568	12402	890
2	1480	10571	660
3	2696	18895	690
4	1936	14838	670
5	1046	7791	790
6	892	6995	640
7	1834	13758	580
8	426	3303	430
9	2696	19254	570
10	908	6476	535
23	2366	17252	1650
24	1340	10142	950

**Tableau 1.** 1. Lecture Radon-Congo en coups par minute ou cpm (corrige du bruit de fond): mesures réalisées sur le terrain

2. Lecture Radon-FPMs en coups par minute ou cpm (corrige du bruit de fond et de la décroissance radioactive : mesures réalisées à la Faculté Polytechnique de Mons

3. Radioactivité fond de trou en cps (coups par seconde)

Remarque : les valeurs plus élevées des taux de comptage en 2 sont liées à de meilleures conditions de mesures (scintillateur de 2" X 4").

En conclusion, nous avons pu mettre en évidence deux types de comportement:

- dans le cas où il n'y a pas de formation superficielle de couverture (carrière 1) le profil radon s'est montré corrélable avec la radioactivité fond de trou ou avec les profils radiométriques réalisés sur les fronts d'exploitation. Toutefois, le radon amplifie les anomalies de radioactivité de surface

- dans le cas où il y a une couverture de formations superficielles, le profil radon n'est plus corrélable avec la radioactivité fond de trou. La source radon est alors soit essentiellement superficielle, soit plus profonde. Dans ce deuxième cas elle est un indicateur d'anomalies uranifères sous-jacentes dont la présence fut confirmée dans ce travail par l'examen d'anciennes tranchées de prospection.

### 3. CONCLUSIONS

Les méthodes radon peuvent être largement utilisées en prospection minière non seulement dans la prospection de l'uranium mais également de toutes

substances associées à celui-ci. En outre, elles permettent de mettre en évidence soit des accidents structuraux susceptibles d'être minéralisés, soit des anomalies en gaz liés à l'oxydation des sulfures.

Le radon peut être facilement détecté sur le terrain grâce à sa radioactivité ou à celle de ses produits de désintégration par des méthodes instantanées ou intégrées.

Le test effectué sur le site de Lwiswishi (Congo) a montré que l'on pouvait obtenir d'excellents résultats par une méthode simple et peu coûteuse, ce qui est important pour les pays en développement. On peut en outre utiliser pour la lecture un scintillateur de terrain dont dispose la plupart des compagnies minières pour la prospection radiométrique pédestre.

Les études préliminaires sur le site de Lwiswishi ont montré la possibilité de distinguer des anomalies radiométriques superficielles et plus profondes. On pourrait ainsi différencier les "fausses anomalies" radiométriques liées à des concentrations uranifères d'origine pédologique dans les profils latéritiques et les "anomalies radiométriques vraies" liés à des minéralisations à Cu-Co-U dans la série des Mines. On sait en outre que les minéralisations stratiformes du Shaba sont associées à des roches particulièrement perméables comme les RSC (roches siliceuses cellulaires) souvent fracturées et accompagnées de brèches, facteurs susceptibles de favoriser la migration du radon ou de tout autre gaz porteur provenant de l'oxydation des minéralisations sulfurées.

La méthode pourrait être appliquée pour un meilleur choix des sites en vue d'y implanter une campagne de forages ou la recherche, en sondages, des témoins de la proximité d'une minéralisation.

Une telle proposition rejoint ainsi l'objectif que le Professeur I. De Magnée poursuivait lorsque en 1950 il préconisait déjà l'utilisation de la radioactivité pour "la solution de problèmes géologiques au Congo".

### 4. RÉFÉRENCES

- BALL, T.K, NICHOLSON R.A, & PEACHY, D., 1985. Gas geochemistry as an aid to detection of buried mineral deposits. *Institution of Mining and Metallurgy, Transactions Section B*, 94: 181-188.
- BALL, T.K, CAMERON D.G, COLMAN, T.B & ROBERTS, P.D., 1991. Behaviour of radon in the geological environment : a review. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24: 169-182.
- CHARLET, J.M., DUPUIS, C. & QUINIF, Y., 1977. Application de la thermoluminescence à la prospection des gisements d'uranium cachés. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 284: 1447-1449.
- CHARLET, J.M., DEJONGHE, L., DEWITTE, S.M., DRUMEL, B., HENRY, J., HERBOSCH, A., LEFIN,

- J.P. & MARTIN, H., 1983. Reconnaissance survey for uranium in the Belgian Paleozoic. *Prof. Paper, Service géologique de Belgique*, 196, 189 p.
- CHARLET, J.M., QUINIF, Y. & LAIR Ph., 1987. Thermoluminescence in Mineral and Energetic Ressources exploration, some cases of applications. *Bull. Soc. belge Géol.*, 96/1: 15-21.
- CHARLET, J.M., 1992. De l'exploration minière à l'environnement, le radon, outil commun d'investigation. *In: Actes du 1er colloque international sur la géochimie des gaz (Mons, 1990). Mémoires pour servir à l'explication des cartes géologiques et minières de la Belgique*, 32: 7-16.
- CHARLET, J.M., DOREMUS, P. & QUINIF, Y., 1995. Radon methods used to the discovery of uranium mineralizations in the lower Devonian of the Ardenne Massif (Belgium). *In: Actes 2ème colloque international sur la géochimie des gaz, Besançon (1993). Gas geochemistry, Sciences Reviews (Ed. Dubois, C.)*, 1-18.
- CHARLET, J.M., QUINIF, Y. & LORIS, N.B.T, 1994. The Lwiswishi deposit, radiometry of the host rocks, relation to the U-Mineralizations. *In: Résumé des Communications, Colloque international Cornet, Faculté Polytechnique de Mons*, 17.
- DEJONGHE, L., DOREMUS, P., CHARLET, J.M., JODART, C. & QUINIF, Y., 1992. Sondages dans le Dévonien inférieur de la zone anticlinale de l'Ardenne (Commune de Bièvre, Province de Namur). *Prof. Paper, Service géologique de Belgique*, 251, 95 p.
- de MAGNEE, I., 1950. Possibilités d'utilisation de la radioactivité pour la solution de problèmes géologiques au Congo. *In: 50ème anniversaire du CSK, Congrès d'Elisabethville. Sect Géologie*, 12 p.
- DOREMUS, P., 1985. Les anomalies uranifères dans le Gedinnien inférieur de l'anticlinal de l'Ardenne (Oizy, Belgique) : prospection, sédimentologie, tectonique et géochimie. Doctorat d'Université, Lille, 352 p.
- DOREMUS, P., QUINIF, Y. & CHARLET, J.M., 1988. Mise au point d'un détecteur passif du radon 222 en milieu saturé. Premiers résultats. *Ann. Soc. géol. Nord, Lille*, 57: 211-219.
- FRANCOIS, A., 1973. L'extrémité occidentale de l'arc cuprifère shabien. Etude géologique. Doc. département géologique de la Gecamines, Likasi, République du Zaïre, 65 p.
- FRANCOIS, A., 1987. Synthèse géologique sur l'Arc cuprifère du Shaba (Rép du Zaïre). *Bull. Soc. belge Géol.*, vol hors série, 15-55.
- FRANCOIS, A., 1994. Etude géologique de l'arc cuprifère du Shaba. Progrès réalisés entre 1950 et 1980. *In: Résumé des communications, Colloque international Cornet, Faculté Polytechnique de Mons*. 25.
- IAEA, 1972. Uranium exploration methods. Proc. Panel Vienna, Vienna (1973): 237-247.
- IAEA, 1976. Exploration for uranium deposits. Proc. Symposium Vienna, 185-239.
- INTIOMALE, M.M., 1982. Le gisement Zn-Pb-Cu de Kipushi (Shaba, Zaïre). Thèse. Sci, UCL, 300 p.
- Journal of African Science, 1994. Special issue : Neoproterozoic Belts of Zambia, Congo and Namibia, 19/4: 247-313.
- KOTZMANN-ROUTIER, V., 1992. Etude spatio-temporelle des concentrations en radon dans les aquifères du Bassin de Mons et de ses abords (Hainaut occidental, Belgique). Doctorat en géologie appliquée, Faculté Polytechnique de Mons, 263 p.
- LORIS, N.B.T, CHARLET, J.M., PECHMANN, E., QUINIF, Y., CHABU, M. & CLARK, C., 1994. Caractéristiques minéralogiques, cristallographiques, physico-chimiques et âges des minéralisations uranifères de Lwiswishi (Shaba, Zaïre). *In: Résumé des Communications, Colloque international Cornet, Faculté Polytechnique de Mons*. 42.
- MAKABU, K., CHARLET, J.M., DOREMUS, P. & QUINIF, Y., 1990. Comportement des radioéléments dans les formations latéritiques des environs de Lubumbashi (Shaba, Zaïre). Application à la prospection des gisements Cu-Co-U. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 113/2: 315-327.
- MAKABU, K., TSHIDIBI, N. & CHARLET, J.M., 1994. La thermoluminescence du quartz de quelques formations latéritiques du Shaba. Intérêt dans la prospection indirecte des minéralisations Cu-Co-U. Colloque international Cornet, Faculté Polytechnique de Mons (à paraître dans les actes du colloque).
- NGONGO-KASHISHA, 1975. Sur la similitude entre les gisements uranifères (type Shinkolobwe) et les gisements cuprifères (type Kamoto) au Shaba. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 98: 449-462.
- OCDE, 1982. Les méthodes de prospection de l'uranium. Compte-rendu du symposium de Paris, 493-571.
- POCHET, R., 1982. Dosimétrie de l'hélium et du radon dans l'eau et dans les sols saturés non consolidés. *In: Uranium Exploration Methods, OCDE*, 505-516.
- QUINIF, Y., DOREMUS, P., BOUKO, P. & CHARLET, J.M., 1984. Une méthode d'analyse du radon 222 dans les eaux naturelles. Application à la prospection de l'uranium (région d'Oizy, Belgique). *C.R. Acad. Sci.*, série D, 299/17: 1187-1190.
- RICE, R. & SHARP, G.J., 1976. Copper mineralisation in the forest of Coed-y-Brenin. *Institution of Mining and Metallurgy Transactions, Section B*, 85: 1-13.

Manuscrit reçu le 12.10.1995 et accepté pour publication le 5.12.1995.